

Miljøprojekt Nr. 705 2002
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening.

Rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af termisk Jordbehandlingsanlæg

M. Andersson, C. Helvind, L. Holtegaard og J. Nielsen
Rambøll

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
1.1 FORMÅL OG STRATEGI	12
1.2 LÆSEVEJLEDNING	12
2 FULD-SKALA FORSØG MED TERMISK JORDBEHANDLING	13
2.1 TERMISK JORDBEHANDLINGSANLÆG	13
2.2 BEHANDLEDE JORDTYPER	15
2.3 UNDERSØGELSESPROGRAM	17
2.3.1 <i>Undersøgelseprogram: Batch 1, fyldjord</i>	17
2.3.2 <i>Undersøgelseprogram: Batch 2, lerjord</i>	18
2.3.3 <i>Resultatbearbejdning</i>	19
3 UNDERSØGELSESRISULTATER	21
3.1 RESSOURCEFORBRUG VED BEHANDLINGEN	21
3.2 RENSNING FOR OLIE OG TJÆRESTOFFER	22
3.3 BEHANDLINGENS GENERELLE EFFEKT PÅ JORDEN	23
3.4 EFFEKT PÅ TILGÆNGELIGHED AF TUNGMETALLER	26
3.5 MASSESTRØMSANALYSE	30
3.5.1 <i>Bly</i>	31
4 MILJØVURDERING AF TERMISK JORDBEHANDLING	33
4.1 MILJØPÅVIRKNINGER VED JORDBEHANDLINGEN	33
4.1.1 <i>Beskrivelse af metode</i>	33
4.1.2 <i>Diskussion af metode</i>	34
4.2 OVERORDNET OPGØRELSE AF MILJØPÅVIRKNINGER	35
4.3 DETALJERET OPGØRELSE AF MILJØPÅVIRKNINGER	37
4.3.1 <i>Normaliserede miljøbelastninger</i>	37
4.3.2 <i>Vægtede miljøbelastninger</i>	38
4.4 SAMMENLIGNING MED ALTERNATIVE JORDBEHANDLINGSMETODER	40
4.4.1 <i>Biologisk jordbehandling</i>	40
4.4.2 <i>Termisk desorption</i>	42
4.4.3 <i>Kontrolleret deponering</i>	44
4.4.4 <i>Vurdering af miljøpåvirkninger ved jordbehandlingsmetoderne</i>	45
5 ØKONOMISK VURDERING AF TERMISK JORDBEHANDLING	47

6	KONKLUSIONER	49
6.1	RESSOURCEFORBRUG OG YDEEVNE	49
6.2	BEHANDLINGENS EFFEKT PÅ JORDENS FORURENINGSGRAD	49
6.3	BEHANDLINGENS GENERELLE EFFEKT PÅ JORDEN	50
6.4	MILJØVURDERING AF TERMISK DESORPTION	50
6.5	ØKONOMISK VURDERING AF TERMISK DESORPTION	51
7	REFERENCER	53

Bilag 1	Prøveudtagning: Omfang, metoder og analyseprogram
Bilag 2	Metodebeskrivelse og resultater af statistisk databehandling.
Bilag 3	Miljøteknisk beskrivelse og Miljøgodkendelse
Bilag 4	Oversigt over kemiske analysedata
Bilag 5	Geotekniske analyser
Bilag 6	Tyndslib: Metode og resultater
Bilag 7	Kemisk analyse af returvand fra scrubbere
Bilag 8	Kemisk analyse af filterstøv
Bilag 9	Emissionskontrol
Bilag 10	Chromatogrammer fra GC-MS full scan
Bilag 11	Resultatet fra kolonne udvaskningsforsøg
Bilag 12	Thomas H. Christensen: "Aspekter omkring tungmetaller i gennemførte forsøg med rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening" 14. december 2001.

Forord

Miljøstyrelsen og Miljøkontrollen har i samarbejde med RGS90 Jordrens udført et kontrolleret fuld-skala forsøg med termisk behandling af jord med blandingsforureninger. Forsøget er udført på et semi-mobilt anlæg til termisk desorption.

Projektet omhandler en række forsøg til afprøvning af et semi-mobilt anlæg til termisk rensning af forurenede jord under Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram. Anlægget er drevet af RGS 90 Jordrens og forsøget er udført og afrapporteret af RAMBØLL.

Projektarbejdet har været ledet af en styregruppe bestående af:

Berit Haahr Hansen, Miljøkontrollen (formand)
Annette Bech Nielsen, Miljøkontrollen
Bjørn Jensen, DHI Vand & Miljø (faglig sekretær)
Sandie Andersen, RGS 90 Jordrens
Frank Laursen, RGS90 Jordrens
Inger Asp Fuglsang, Miljøstyrelsen.

Projektet er igangsat i foråret 2001.

Sammenfatning og konklusioner

Et anlæg til termisk jordbehandling har i perioden november 2000 til marts 2001 været opstillet hos RGS90 Jordrens. Miljøstyrelsen og Miljøkontrollen har i samarbejde med RGS90 Jordrens udført et kontrolleret forsøg som har til hensigt at dokumentere metodens effektivitet, at belyse forandringer i jorden som følge af behandlingen samt at foretage en miljømæssig og økonomisk vurdering af rensningsmetoden.

Anlægget har i driftsperioden behandlet jord forurenet med tjære og tungtkogende olieprodukter. Anlægget er baseret på termisk desorption, hvor jorden kortvarigt opvarmes i en rotéovn til 550-600 °C. De udviklede dampe af olie/tjærestoffer destrueres i en efterbrænder og røggas herfra renses i en gasscrubber før udledning. Anlægget er dimensioneret til en kapacitet på ca. 15 ton pr. time, men har i produktionsperioden udvist en kapacitet på 8-9 ton pr. time.

Forsøget er udført som to døgnkørsler med anlægget. Ved første døgnkørsel er behandlet en tungmetalforurenet fyldjord mens der ved anden døgnkørsel er behandlet en lerjord fra intakte jordlag. Begge jordtyper er forurenet med både olie- og tjæreprodukter.

Jordprøver udtaget både før og efter behandling af jorden er undersøgt for indhold af olie- og tjærestoffer samt tungmetaller. Der er udført udvaskningstest på prøver af den tungmetalforureneede fyldjord mhb. på at belyse mulighederne for at genanvende den behandlede jord, ligesom en række kemiske og fysiske parametre er undersøgt for at beskrive generelle forandringer af jordens karakteristika.

Anlæggets produktionskapacitet og ressourceforbrug er registreret i forbindelse med begge døgnkørsler.

Rensningen for olie- og tjærestoffer i det termiske jordbehandlingsanlæg er meget effektiv. Der er ved de to forsøgskørsler konstateret rensningsgrader større end 96% for alle de undersøgte stoffer. Effektiviteten er i begge forsøgskørsler størst overfor olieprodukter, hvor reduktionen af total kulbrinter er større end 99%. Overfor tjærestoffer er der i lerjorden fra intakte jordlag fjernet mere end 99% (målt på enkeltkomponenter), mens rensningsgraden i den muldholdige fyldjord er lidt lavere. I begge jordtyper efterlades der spor af fluoranthen ved behandlingen (<0,1 mg/kg TS).

Ved termisk behandling af jord med kviksølvforbindelser fordamper disse. Kviksølv dampene passerer uhindret gennem røggasrensningerne og det undersøgte anlægget kan, selv ved behandling af jord med meget lavt kviksølvindhold, ikke overholde de opstillede emissionskrav.

Den termiske behandling har en markant effekt på jordens fysisk-kemiske egenskaber. Efter behandling fremstår jorden sortfarvet og grynet, og mikroskopiering af jordprøver viser en gennemgribende tilsodning af alle partikler i jordmatricen.

Screening-analyser af den behandlede jords indhold af upolære stoffer bekræfter den dannede sods pyrogene oprindelse, og indikerer samtidigt, at den dannede sod primært skal tilskrives aflejring af forbrændingsrester af ovns fyringsolie, og kun sekundært pyrolyse af jordens indhold af organisk stof.

Selvom jordens indhold af carbonatsalte er uforandret observeres en stigning i jordens pH-værdi. Jordens evne til at binde kationer (CEC) reduceres, hvilket dog antageligt skyldes, at CEC-målingerne forstyrres af det lag af sod, som omslutter jordpartiklerne.

Den generelle udvaskning af tungmetaller fra jorden falder markant som følge af behandlingen. Undtaget herfra er udvaskningen af arsen, som tredobles. Arsen adskiller sig fra øvrige tungmetaller ved overvejende at forekomme som anioner, hvis opløselighed stiger med pH-værdien. Reduktionen i tilgængeligheden af øvrige tungmetaller skal antageligvis henføres til det lag af sod, som omslutter jordpartiklerne, og som kan reducerer hastigheden af ionbytningsprocesserne ved partikeloverfladen. Længerevarende udvaskning af behandlet jord i en kolonne viser fortsat faldende udvaskning af tungmetaller, hvorfor reduktionen anses at være blivende inden for de tidshorisonter, som kan modelleres med denne type tests.

Forbruget af fyringsolie er stort ved termisk behandling. Der er i dette forsøg observeret et olieforbrug på 30 l pr. ton behandlet fyldjord og 47 l pr. ton behandlet lerjord. For hele driftsperioden på 3 mdr. er målt et olieforbrug på 53 l pr. ton jord, inklusive forbruget i forbindelse med indkøring og periodisk opstart og nedlukning. Energiforbruget pr. døgn modsvarer årsforbruget for to danske én-familieshuse.

Omkostningerne ved termisk behandling på det aktuelle anlæg ligger i størrelsesordenen 775 kr/ton. Heraf udgør energi- og vandforbruget ca. 300 kr/ton. Behandlingsomkostningerne for lerjord er ca. 80 kr højere end for sandet fyldjord. Den behandlede jord har næppe for nærværende nogen egentlig markedsværdi, som kan styrke konkurrenceevnen for termisk jordbehandling.

Blandingsforurenet jord er således ikke "rent" efter termisk behandling. Der er imidlertid observeret en markant reduktion i indhold af carcinogene PAH-forbindelser og en generel reduktion i frigivelsen af tungmetaller. Metoden anses derfor velegnet til behandling af jord forurenet med såvel tungmetaller som tjæreforbindelser i det omfang der foreligger kontrollerede anvendelsesmuligheder, f.eks. i vejanlæg o.lign., hvor arealanvendelsen ikke er følsom.

Summary and Conclusions

A facility for off-site treatment of contaminated soil by Low Temperature Thermal Desorption (LTTD) has been tested in the period January-March 2001. The test has been performed by the Danish EPA and the Environmental Protection Department of the City of Copenhagen in cooperation with the company RGS90 Jordrens.

The scope of the test is three-fold:

- To investigate the effect of low temperature thermal desorption on heavy oil and tar components in different types of soils
- To highlight changes in the soil that might affect the possibilities for reuse of the treated soil with special regard to geotechnical characteristics and leaching of heavy metals.
- To perform an economic and environmental evaluation of low temperature thermal desorption

The test has been performed on a semi-mobile treatment facility with a nominal capacity of 15 tons pr. hour. In the process, contaminated soil is heated in a fuel-oil heated rotary kiln to a temperature of approx. 550-600 °C. Residence time in the kiln is approx. 15 minutes. Flue gas is cleaned in a bag filter, evaporated tar and oil components are destructed in an afterburner and the gas is cleaned in a two-step gas scrubber. Filter dust and effluent water from the scrubbers are recycled to the treated soil.

The tests have basically been performed as 24 hrs continuous runs, where different types of soils have been treated. Prior to the test runs, the soil has been sieved through a 40 mm rotary screen in order to remove rocks and to create a homogenous batch of soil for the test.

Two soil types have been tested. Batch no. 1 is a clayish fill soil with a pronounced content of organic matter, whereas batch no. 2 is a clayish soil containing less organic matter. Batch no. 1 is regarded to be a typical representative of surplus soil from rural construction works, and is contaminated with heavy metals as well as tar and oil components. Batch no. 2 is solely contaminated with tar and oil components.

Before and after treatment of the two batches, a large number of soil samples have been taken. Soil characteristics have been measured through sieve tests and compacting testing. The analytical programme comprises general chemical soil parameters such as TOC, carbonate content, pH and CEC, as well as environmental screening for heavy metals, tar components and mineral oils. Changes in the leaching of heavy metals from the soils have been studied through batch-tests and column-test.

Economic and environmental performance of the facility has been investigated during the test runs by monitoring the consumption of oil, electricity and water, and through sampling and analysis of flue-gas and discharge water.

The findings of the tests can be summarized as follows:

- Efficiency with regard to removal of organic contaminants is very high. A 96-99% reduction of contaminant levels is observed on both tar and oil components.
- After treatment, the soil particles have been completely covered with soot. GC-MS analysis of the soil reveals that the formed soot is of pyrogenic origin, but it cannot be conclusively established whether soot-formation is a result of inadequate combustion of fuel oil in the kiln or a result of pyrolysis of natural organic components in the soil itself.
- Although the general effect on the physical characteristics of the treated soil appears to be pronounced, only minor changes in the geotechnical properties of the soil can be detected.
- Leaching of heavy metals is generally reduced as a result of the treatment. Leaching of lead, copper, zinc and cadmium is initially reduced by 37 - 97%. In opposition, leaching of barium and arsenic is increased as a result of the treatment. Column tests show that these effects are lasting over a very long period of time. Changes in leaching pattern is believed to be caused partly by increased pH values in the soil and partly by the physical changes, where soot-covering and aggregation of soil particles reduce the dissolution rates along the particle surfaces.

From an environmental perspective, low temperature thermal desorption is a very resource-consuming process, where approx. 45 kg of fuel oil is spent on each ton of contaminated soil. The environmental benefit, on the other side, is a product with low levels of organic contaminants and a general reduced level of heavy metal leaching. It is therefore a suitable treatment method for non-volatile organic persistent contaminants, given possibilities for a controlled reuse is present.

The cost of low temperature thermal desorption treatment has in the test runs been in the magnitude of 100 EUR pr. ton, of which fuel oil consumption has been approx. 35%. It should be noted that the oil consumption during the test has varied with up to 50%, depending on moisture and organic contaminant contents in the treated soil.

1 Indledning

Fra byområder fremkommer årligt store mængder overskudsjord fra bygge- og anlægsprojekter. Overskudsjorden er oftest forurennet i mere eller mindre grad. Store dele af overskudsjorden er forurennet med flere forureningskomponenter dvs. blandingsforureninger. Denne jordforurening er oftest opstået ved enten spild eller atmosfærisk nedfald. Forureningen af jorden fra disse arealer er derfor ofte sammensat af både olie/tjærekomponenter og tungmetaller.

Ved udvikling af rensningsmetoder er det ønskeligt, at der lægges vægt på at der skal indføres renere teknologi for at undgå affald og for at fremme genanvendelse/nyttiggørelse af slutproduktet. Forudsætningen herfor er at der på markedet er veldokumenterede og kommercielt tilgængelige rensningsteknikker til rådighed, som kan nedbringe jordens indhold af olie/tjæreprodukter, og som kan stabilisere jordens øvrige indhold af miljøfremmede stoffer, herunder i særdeleshed frigivelsen af tungmetaller.

RGS90 Jordrens har i perioden november 2000 til april 2001 haft et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg opstillet på sine arealer i København. Anlægget ejes af det franske selskab Tradeco.

Miljøkontrollen og Miljøstyrelsen har i samarbejde med RGS90 gennemført et kontrolleret fuld-skala forsøg med anlægget, hvor metodens rensningseffekt, miljøbelastning og økonomi er undersøgt.



1.1 Formål og strategi

Forsøg med termisk jordrensning iværksættes med henblik på at dokumentere behandlingsanlæggets virkningsgrad og karakterisere restproduktets anvendelsesmuligheder. Undersøgelserprogrammet sigter i særdeleshed imod:

- At dokumentere jordbehandlingsanlæggets rensningseffekt overfor forskellige jordtyper forurenet med PAH-forbindelser og tunge olieprodukter
- At belyse forandringer af den behandlede jord af betydning for produktets genanvendelse herunder i særdeleshed geotekniske egenskaber, frigivelse af tungmetaller og/eller uorganiske salte samt eventuel påvirkning fra forbrændingsprocessen.
- At skabe grundlag for en økonomisk og miljømæssig vurdering af den termiske behandlingsmetode

Forsøget er udført som to døgnkørsler med anlægget, hvor der over en periode på ca. 24 timer er behandlet en mængde jord, hvis indhold af miljøfremmede stoffer er veldokumenteret. Med henblik på at udbrede undersøgelsens gyldighed er der gennemført batchforsøg, hvor behandlingsanlæggets ydeevne er undersøgt henholdsvis for en typisk blandingsforurenet fyldjord (batch 1) og for en olie/tjæreforurenet lerjord (batch 2).

Det bærende element i undersøgelsen af selve jordbehandlingen er registrering af udvalgte nøgleparametre før og efter jordbehandling. Undersøgelsens konklusioner er valideret ved at underkaste måleresultaterne statistiske tests.

Vurdering af de miljømæssige forhold omkring behandlingsmetoden tager metodisk afsæt i Banestyrelsens LIFE-projekt "Miljørigtig oprensning af jord og grundvand" /1/.

1.2 Læsevejledning

Omstændighederne ved de gennemførte forsøg er beskrevet i kapitel 2. Det termiske jordbehandlingsanlægs indretning og funktion er beskrevet i afsnit 2.1, den behandlede jord er beskrevet i afsnit 2.2 og en samlet oversigt over det gennemførte prøvetagnings- og analyseprogram fremgår af afsnit 2.3.

Resultater vedrørende rensningseffekt og andre forandringer af den behandlede jord er præsenteret i kapitel 3, afsnit 3.1 til 3.3. I afsnit 3.4 og 3.5 er præsenteret øvrige registreringer af massestrømme og ressourceforbrug ved behandlingen.

En miljøvurdering af den termiske jordbehandling fremgår af kapitel 4 og kapitel 5 indeholder en oversigt over de økonomiske ressourcer anvendt ved behandlingen.

Undersøgelsens konklusioner sammenfattes og diskuteres i kapitel 6.

Bilagsmaterialet omfatter beskrivelser af anlæggets indretning og drift, samt rapporter om udførte tests og analyser, som har resulteret i egentlige vurderinger eller grafisk fremstillede data. Øvrige resultater af kemiske analyser er opsummeret på tabelform i bilag 4.

2 Fuld-skala forsøg med termisk jordbehandling

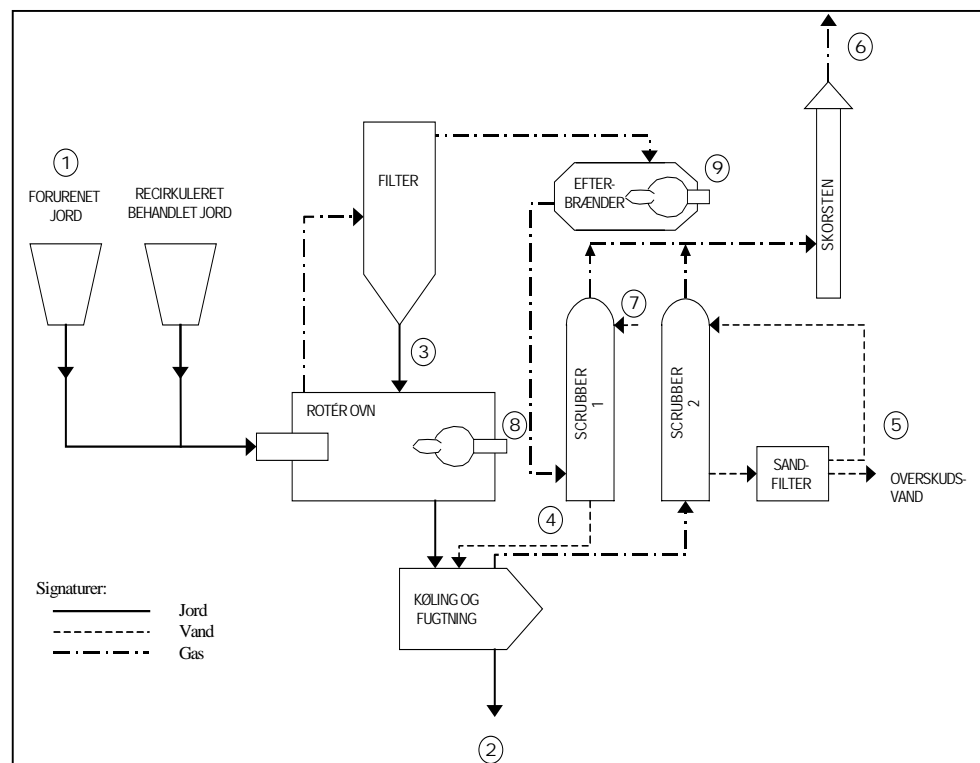
2.1 Termisk jordbehandlingsanlæg

Til behandling af jord forurenet med olie og tjærestoffer er benyttet et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg, der behandler jorden ved termisk desorption. Princippet i anlægget er at jorden opvarmes til ca. 550°C i en rotéovn, hvorved de flygtige forureningskomponenter fordampes. Den dannede røggas, indeholdende de fordampede stoffer, renses efterfølgende først i røggasfiltre og efterfølgende i en efterbrænder. Røggassen vaskes i en røggasscrubber før udledning.

Anlægget er dimensioneret til at behandle 10-15 ton jord pr. time med et indgangsvandindhold på ca. 10%

I figur 2.1 er vist en principskitse af anlægget. Et detaljeret procesdiagram fremgår af den miljøtekniske beskrivelse af anlægget, som er vedlagt som bilag 2

FIGUR 2.1: PRINCIPSKITSE FOR TERMISK JORDBEHANDLINGSANLÆG. NUMMERERINGS- ENHEDER HENFØRER TIL PRØVEUDTAGNINGSSTEDERNE (SE AFSNIT 2.3)



Forud for behandling sigtes den forurenede jord over et 40 mm sold, hvorved sten og evt. bygningsaffald frasorteres. Forurenede jord kan ved indføding om

nødvendigt blandes med recirkuleret behandlet jord for at nedbringe forureningsgraden og/eller vandindholdet. Jorden fødes derpå via en skruetransportør direkte ind i rotéovnen.

Rotéovnen opvarmes i den forreste del indirekte med røggasser fra anlæggets efterbrænder. Ved den indirekte opvarmning fordampes vand og letfordampelige stoffer fra jorden, og nogle af de letfordampelige stoffer nedbrydes.

Den bageste del af rotéovnen er direkte opvarmet af en oliebrænder. Under ovenns rotation omrøres og opvarmes den forurenede jord kortvarigt til en temperatur på ca. 550°C, hvorved tjærestoffer og andre tungere kulbrinter desorberer og fordampes. Grundet iltunderskuddet i ovnen vil der foruden fordampningen ske pyrolyse af organisk materiale.

Ved pyrolyse nedbrydes organisk materiale under iltfrie forhold til gasformige komponenter (bl.a. CO, H₂, CH₄ og andre kulbrinter), små mængder væske og et fast restprodukt (koks) indeholdende bundet kulstof og aske /2/.

Jordens temperatur kan under behandling justeres ved ændring af gennemføringshastigheden og/eller justering af rotéovnens brænder. Den optimale temperatur afhænger blandt andet af forureningens sammensætning, idet temperaturen skal overstige kogepunktet for enhver af de indeholdte, forurenende stoffer for at sikre fordampning. Ved tilstedeværelse af tungmetaller i jorden vil høje temperaturer kunne bevirke fordampning af disse, hvilket kan komplicere den efterfølgende røggasrensning.

Efter varmebehandlingen forlader jorden rotéovnen gennem en ventilanordning for at forhindre luftindtrængning. Den behandlede jord køles derpå med vand fra vådprocessen. Samtidig sker en fugtning for at begrænse støvgener, inden jorden forlader anlægget med en temperatur på ca. 80°C.

Røggasser og fordampede stoffer frigjort i rotéovnen køles via et rørsystem til under 200°C og ledes derpå gennem et posefilter, hvor støv filtreres fra og recirkuleres til rotéovnen. For at begrænse dioxindannelse i røggassen er der stillet krav om, at røggastemperaturen inden posefiltret skal være under 200°C /3/. Efter passage af posefiltret opvarmes røggasser og fordampede stoffer i en varmeveksler og afbrændes i en oliefyret efterbrænder ved 850-1100°C.

Ved forbrænding er der i efterforbrændingszonen, hvor temperaturen er relativ lav, risiko for dioxindannelse ved såkaldt de novo syntese. De novo syntese af dioxiner sker overvejende i forbindelse med oxidativ nedbrydning af chlorholdige organiske strukturer /4/. For at forhindre de novo syntese af furaner og dioxiner stilles krav om, at efterbrændertemperaturen holdes over 1050°C, med mindre det er dokumenteret, at den indfødte jord ikke indeholder dioxin eller stoffer, der kan ligge til grund for dioxindannelse. I tilfælde heraf holdes temperaturen på minimum 850°C /3/. Dannelse af furaner og dioxiner søges desuden forhindret ved at filtrere rotéovnens røggasser før indføring i efterbrænderen, idet furaner og dioxiner dannes på blandt andet sodpartikler /4/. Tillige bratkøles røggasserne fra efterbrænderen.

Efterbrænderens afgas varmeveksles med indgangsgassen og anvendes herefter til opvarmning i rotéovnens forreste del. Inden udledning passerer røggasserne scrubber 1, hvor sure komponenter som HCl, HF og SO₂-

forbindelser udskilles under tilsætning af NaOH i vandig opløsning. Vandet genanvendes til køling og fugtning af den behandlede jord.

I forbindelse med køling af den behandlede jord frigives vanddamp. Da der kan være rester af forureningskomponenter heri, passerer dampen scrubber 2 inden udledning. Vandet fra scrubber 2 recirkuleres til scrubberen efter passage af sandfilter. Eventuelt overskudsvand som følge af kondensering i scrubberen, opsamles og bortskaffes som spildevand.

2.2 Behandlede jordtyper

Der er i de to forsøgs kørsler behandlet to forskellige jordtyper forurenet med blandingsforurening. Jorden er udvalgt blandt de jordpartier som over en periode er indvejet til jordrensning hos RGS 90 Jordrens. Den ene jordtype, benævnt batch 1, er en typisk fyldjord fra byområder mens den anden, benævnt batch 2, er en lerjord fra intakte jordlag med et lavt indhold af organisk stof.

Kornstørrelsesfordelingen i de to jordtyper er opsummeret i tabel 2.1. Det fremgår, at batch 2 har et højere indhold af ler og et lavere indhold af sand end batch 1. Batch 2 vil ved geoteknisk prøvebeskrivelse karakteriseres som en sandet moræneler. Kornkurver for de to jordtyper er vedlagt i bilag 5.

TABEL 2.1: KORNSTØRRELSESFORDELING AF DEN UBEHANDLEDE JORD

	Batch 1 %	Batch 2 %
Ler	6,5	9,0
Silt	14,8	18,4
Sand	78,7	72,6

For begge jorde er en række jordbundsparametre blevet bestemt. Resultatet er opsummeret i tabel 2.2.

TABEL 2.2: JORDBUNDSANALYSER AF DEN UBEHANDLEDE JORD

	Enhed	Gennemsnit/ median	Batch 1	Batch 2
Total kulstof	g/100 g	Median	4,76	3,50
pH	-	Gennemsnit	7,72	7,94
CaCO ₃	g/100g	Median	8,15	6,10
Total CEC	mækv/100g	Gennemsnit	6,35	6,00

Indholdet af organisk kulstof i batch 1 er noget højere end i batch 2, svarende til fyldjordens indhold af plantefragmenter og humusstoffer. Fraset et let forhøjet indhold af carbonat ses der herudover ikke markante forskelle i de to jordtypers karakteristika.

Kationsbytningskapaciteten (CEC) er et udtryk for, hvor mange kationer jorden er i stand til at binde på partikeloverfladen. CEC afhænger af indholdet af organisk kulstof i jorden og til dels fraktionen af ler /16/.

Jorden i de to batches er forurenet både med olie- og tjærekomponenter. I tabel 2.3 kan ses niveauet for forureningerne. Her er angivet medianværdier for alle komponenter.

TABEL 2.3: KONCENTRATIONSMEANER FOR OLIESTOFFER OG TJÆREKOMPONENTER

	Batch 1	Batch 2
Oliekomponenter		
C ₅ -C ₁₀ kulbrinter	15	3,45
C ₁₀ -C ₂₅ kulbrinter	2500	300
C ₂₅ -C ₃₅ kulbrinter	1400	280
Total kulbrinter	3900	650
Tjærekomponenter		
Fluoranthen	2,5	1,1
Benz(b+j+k)fluoranthen	2,9	1,3
Benz(a)pyren	1,6	0,76
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1	0,43
Dibenz(a,h)antracen	0,23	0,11
Sum 7 PAH'er	8,5	4,3
Note: Koncentrationer i mg/kg TS		

Batch 1 er kraftigst forurenede både med hensyn til olie- og tjærekomponenter. Begge batches klassificeres som klasse 4-jord med hensyn til oliekomponenter i henhold til de sjællandske amters vejledning i håndtering af forurenede jord /6/.

Jorden i batch 1 er foruden olie og tjære også forurenede med tungmetaller, koncentrationniveauet for disse er angivet som medianværdier i tabel 2.4. Jorden i batch 2 er ikke tungmetallforurenede /7/, koncentrationer målt i batch 2 er ligeledes angivet i tabel 2.4.

TABEL 2.4: KONCENTRATIONSMEANER FOR TUNGMETALLER

Tungmetaller	Batch 1	Batch 2	Klasse 1
Arsen	7,1	1,9	20
Bly	300	26	40
Cadmium	1,4	0,20	0,5
Chrom	30	9,2	500
Kobber	440	18	500
Kviksølv	1,2	0,095	1
Nikkel	22	8,4	30
Zink	770	78	500
Note: Koncentrationer i mg/kg TS			

Til sammenligning er i tabel 2.4 angivet kriterierne for Klasse 1-jord på Sjælland og Lolland/Falster /6/. Disse ses for batch 1 at være overskredet for tungmetallerne: Bly, cadmium, kviksølv og zink. Med anvendelse af disse kriterier, er jorden i batch 1 en klasse 3-jord mht. til tungmetaller /6/.

Batch 1 er altså en blandingsforurening med olie- og tjærekomponenter i klasse 4 og tungmetaller i klasse 3 i henhold til Sjællandsvejledningen. Batch 2 er hovedsageligt forurenede med oliekomponenter, og klassificeres herudfra som klasse 4 i henhold til Sjællandsvejledningen.

2.3 Undersøgel sesprogram

Undersøgel sesprogrammet er generelt tilrettelagt med henblik på at dokumentere forandringer i jordens forureningsgrad, tungmetalbinding og geotekniske egenskaber i forbindelse med den termiske behandling. Disse forandringer dokumenteres ved analyse af et antal prøver, som er tilstrækkeligt stort til at opnå statistisk signifikans i undersøgelsens konklusioner.

Undersøgel serne er udført i to omgange. De første undersøgel ser fandt sted i februar/marts 2001 og supplerende undersøgel ser er udført i oktober/november 2001.

Til brug for en miljøvurdering af rensningsteknikken er tillige registreret forbrug af el, olie, vand mv. under forløbet af de to døgn, hvor de to batches er behandlet. Endvidere er der i forbindelse med behandlingen analyseret prøver af spildevand og røggas fra anlægget.

Prøver er udtaget forskellige steder i anlægget. Prøveudtagningsstederne er markeret og nummeret på principskiten i figur 2.1.

TABEL 2.5: OVERSIGT OVER PRØVEUDTAGNINGSSSTEDER

Punkt nr.	Beskrivelse	Bemærkning
1	Råjord før behandling	Prøven er udtaget fra soldet i forbindelse med sigtning af jorden
2	Færdigvare efter termisk behandling	Prøven udtaget direkte fra transportbånd fra anlægget
3	Filterstøv fra posefiltre	Udtages fra snegl, som returnerer støv fra røggasfilter til rotéovn
4	Returvand, scrubber 1	-
5	Spildevand	Prøven udtaget fra recirkulationsvand i scrubber 2.
6	Røggas	-

Der er ved valg af prøveudtagningssteder gjort følgende antagelser og tilnærmelser:

- Der er ikke taget prøver af filterslammet fra de sandfiltre som filtrerer returvandet i scrubber 2. Affaldsmængden antages at være neglignibel ved miljøvurderingen.
- Spildevandet fra anlægget fremkommer ved at der efter behov lænses vand fra en lagertank til returvand fra scrubber 2. Prøver af returvandet fra scrubber 2 antages at have et indhold af miljøfremmede stoffer, som modsvarer spildevandets.

Oversigt over prøveudtagning og analyseprogram fremgår af bilag 1.

2.3.1 Undersøgel seprogram: Batch 1, fyldjord

Undersøgel ser af forandringer i tungmetalindhold og -frigivelse er koncentreret omkring batch 1, som jf. forrige afsnit, fremstår som en blandingsforurenede fyldjord. Analyse af prøver udtaget i forbindelse med termisk behandling af batch 1 fremgår af tabel 2.6.

TABEL 2.6:OVERSIGT OVER ANALYSEPROGRAM, BATCH 1, FYLDJORD

Emne	Parametre	Bemærkninger
Olieprodukter	Total kulbrinter <C ₁₀ , C ₁₀ -C ₂₅ og >C ₂₅	Rå- og færdigvare
Tjærestoffer	Fluoranthen Benz(b+j+k)fluoranthen Benz(a)pyren Indeno(1,2,3-cd)pyren Dibenz(a,h)antracen	Rå- og færdigvare
Tungmetaller	As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn	Rå- og færdigvare, filterstøv og spildevand
Udvaskningstest - batch	Cl, SO ₄ , pH samt As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Na, Ni og Zn	Rå- og færdigvare
Udvaskningstest - kolonne	Cl, pH, ledningsevne samt As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Na, Ni og Zn	Færdigvare
Jordkvalitet	Total kulstof, (TOC) pH Kationbytningskapacitet (CEC) Carbonatindhold	Rå- og færdigvare
Geotekniske egenskaber	Sigtekurve Komprimeringsforsøg Glødetab	Rå- og færdigvare
GC-MS full scan	Tjærestoffer, screening	Færdigvaren sammenholdt med standard sod

I forbindelse med behandlingen af batch 1 er der tillige udført emissionskontrol af anlæggets luftafkast. Kontrollen omfatter tungmetallerne Pb, Cd og Hg samt gasserne CO, CO₂, NO_x, SO₂ og HCl. Emissionskontrol omfatter også dioxin-analyse af røggsprøve.

Anlæggets forbrug af el, vand og fyringsolie er registreret i forbindelse med behandlingen af batch 1.

Af fire jordprøver udtaget hhv. før og efter behandling af jorden er fremstillet tyndslib til mikroskopiering. Tyndslibene er fremstillet med henblik på at fremkomme med en kvalitativ beskrivelse af eventuelle forandringer af jordens mikrostruktur ved den termiske behandling.

2.3.2 Undersøgelseprogram: Batch 2, lerjord

Forsøg med termisk behandling af lerjord fra intakte jordlag (batch 2) er udført med henblik på at dokumentere anlæggets ydeevne overfor en jordart, som forventeligt frembyder større problemer, både hvad angår den mekaniske håndtering af jorden og hvad angår rensningseffekt.

Undersøgelsesprogrammet som er gennemført i forbindelse med denne forsøgskørsel, omfatter derfor alene prøveudtagning med henblik på analyse for indhold af olieprodukter, tjærestoffer og chromatografering af færdigvare,

som angivet i tabel 2.6. Udover dette er batch 2 analyseret for tungmetalindhold, for at følge processens påvirkning på indhold af disse.

Herudover er forbruget af el, fyringsolie og vand registreret som under behandlingen af batch 1.

2.3.3 Resultatbearbejdning

Undersøgelsens konklusioner understøttes af statistisk analyse af de fremkomne resultater. For hver enkelt af de målte parametre undersøges det, hvorvidt en observeret ændring som følge af den termiske behandling kan antages at være signifikant, eller hvorvidt den kan tilskrives tilfældige variationer i prøvematerialet.

Den statistiske fordeling af de enkelte sæt af målinger fastlægges på grundlag af optegning af histogrammer, beregning af middelværdi, spredning og medianværdier samt generel vurdering af variabelens fysisk-kemiske afhængighed og størrelsesforhold.

Herefter foretages statistiske tests, hvor samhörrende sæt af værdier målt hhv. før og efter termisk behandling sammenlignes. Testen resulterer i en sandsynlighed (p-værdi) som udtrykker risikoen for fejlagtigt at konkludere, at to sæt af data tilhører samme fordeling; dvs. risikoen for fejlagtigt at konkludere, at den pågældende måleparameter ikke påvirkes af den termiske behandling.

Statistisk resultatbearbejdning og detaljeret metodebeskrivelse fremgår af bilag 2.

3 Undersøgelsesresultater

3.1 Ressourceforbrug ved behandlingen

Forbruget af energi, vand og hjælpestoffer ved den termiske behandling er opgjort i tabel 3.1. Opgørelsen hviler på data for hele anlæggets driftsperiode og på data registreret i forbindelse med de to forsøgskørsler udført i forbindelse med denne undersøgelse.

TABEL 3.1: FORBRUG AF ENERGI, VAND OG HJÆLPESTOFFER

		Driftsperioden	Batch 1	Batch 2
Startdato		09-11-00	12-02-01	14-02-01
Slutdato		22-01-01	13-02-01	15-02-01
Driftstimer, i alt		1.010	22,0	21,8
Samlet produktion	ton	6.500	195,2	177,5
Timeproduktion	ton/t	6,4	8,9	8,2
Recirkulationsgrad	%	-	0	13
Samlet elforbrug	kWh	237.000	5.400	5.060
Elforbrug pr. ton	kWh/ton	36	27,7	28,5
Samlet olieforbrug	l	342.500	5.880	8.320
Olieforbrug pr. ton	l/ton	52,7	30,1	46,9
Samlet vandforbrug	m ³	-	-	84
Vandforbrug pr. ton	m ³ /ton	-	-	0,47
NaOH, i alt	l	9.000	-	-
NaOH pr. ton	kg/ton	0,26	-	-
Note: -: Ikke oplyst				

Af opgørelsen fremgår at der i hele driftsperioden har været en lav produktivitet, hvilket resulterer i et forholdsvist stort energiforbrug pr. produceret ton. Afvigelsen skyldes formentlig at energiforbruget ved opstart og nedlukning af anlægget i forbindelse med service o.lign. er indregnet i opgørelsen for hele driftsperioden. Der har ikke været start og stop ved udførelsen af forsøgskørslerne.

I perioden 12-13. februar 2001 var forsøgskørslen uproblematisk mens kørslen i perioden 14-15. februar 2001 var mere problemfyldt. Problemerne bestod først og fremmest i at få den mere klæbrige lerjord til at flyde fra fødekasse til den snegl, som transporterer jorden ind i rotérovnen. Problemerne blev imødegået ved at recirkulere behandlet jord til fødekassen, hvorved jordens flydeevne forbedres.

Det bemærkes, at olieforbruget ved behandling af batch 2 er ca. 50% større end ved behandling af batch 1. Merforbruget er overvejende sket i anlæggets efterbrænder, hvor batch 2's lavere indhold af organiske forureninger ikke yder samme bidrag til brændværdien som ved forbrænding af gaserne udviklet ved behandling af batch 1.

3.2 Rensning for olie og tjærestoffer

Indholdet af olie- og tjærekomponenter er blevet kraftigt reduceret under den termiske behandling. I tabel 3.2 og tabel 3.3 ses mediankoncentrationer før og efter behandling. Rensningsgraden angivet i procent, beregnet ud fra mediankoncentrationerne. Samtlige analyseresultater er opsummeret i bilag 4a og 4b.

TABEL 3.2: BATCH 1: REDUKTION I OLIE/TJÆREKOMPONENTER

	Batch 1 før behandling	Batch 1 efter behandling	Rensningsgrad %
Oliekomponenter			
C5-C10 kulbrinter	15	< 2,5	> 83
C10-C25 kulbrinter	2500	6,1	99,8
C25-C35 kulbrinter	1400	< 25	> 98
Total kulbrinter	3900	6,1	99,8
Tjærekomponenter			
Fluoranthen	2,5	0,09	96,4
Benz(b+j+k)fluoranthen	2,9	0,04	98,6
Benz(a)pyren	1,6	0,02	98,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1	0,03	97,0
Dibenz(a,h)antracen	0,23	< 0,01	> 96
Sum 7 PAH'er	8,5	0,18	97,9
Note: Koncentrationer i mg/kg/TS			

TABEL 3.3: BATCH 2: REDUKTION I OLIE/TJÆREKOMPONENTER

	Batch 2, før behandling	Batch 2, efter behandling	Rensningsgrad %
Oliekomponenter			
C5-C10 kulbrinter	3,45	< 2,5	> 27
C10-C25 kulbrinter	300	< 5	> 98
C25-C35 kulbrinter	280	< 25	> 91
Total kulbrinter	650	< 2,5	> 99
Tjærekomponenter			
Fluoranthen	1,1	0,01	99,1
Benz(b+j+k)fluoranthen	1,3	< 0,01	> 99
Benz(a)pyren	0,76	< 0,01	> 98
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,43	< 0,01	> 98
Dibenz(a,h)antracen	0,11	< 0,01	> 91
Sum 7 PAH'er	4,3	0,01	99,8
Note: Koncentrationer i mg/kg TS			

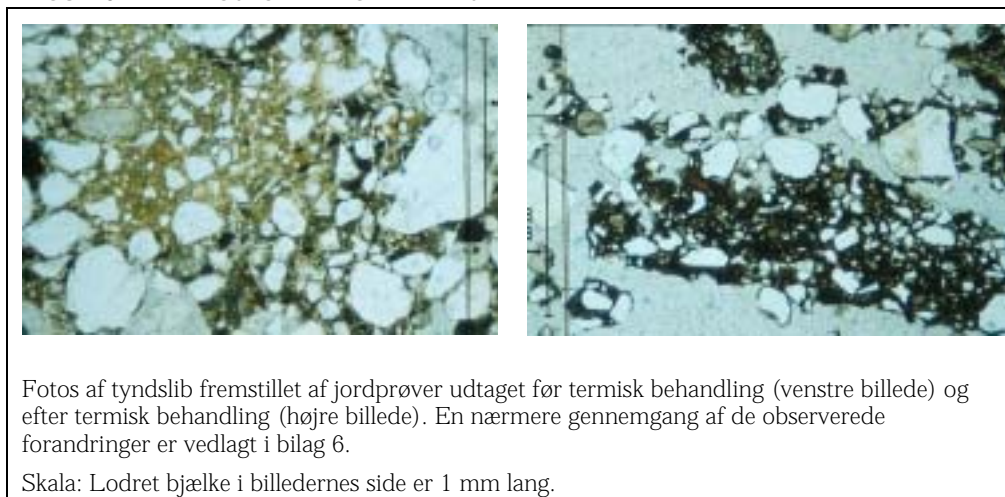
Det ses, at batch 2 ikke indeholder målelige koncentrationer af oliekomponenter efter behandlingen, mens batch 1 har et lavt indhold af C₁₀-C₂₅ kulbrinter. Denne koncentration er under Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier /8/. Batch 2 indeholder kun målelige koncentrationer af tjærekomponenten fluoranthen, mens batch 1 indeholder målelige koncentrationer af næsten samtlige tjærekomponenter. Koncentrationerne af benz(a)pyren og summen af de 7 målte PAH'er er dog under Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier på henholdsvis 0,1 og 1,5 mg/kg TS /8/.

3.3 Behandlings Generelle effekt på jorden

Ved en umiddelbar visuel vurdering af den termisk behandlede jord bemærkes to forhold; for det første sker en markant ændring af jordens farve, som efter behandling fremtræder helt sort. For det andet observeres en tilsyneladende stigning i kornstørrelsen, idet den behandlede jord ved visuel vurdering synes grynet eller groft sandet.

Mikroskopiering af tyndslib fremstillet af prøver udtaget før og efter termisk behandling af jorden er gengivet i figur 3.1. På billedet til venstre ses den tjæreforurenet jord før behandling. Tjæren er indlejret i jordmatricen som sorte "dråber" ved overfladen af de større silt- og sandpartikler. På billedet til højre ses jorden efter termisk rensning. Alle jordpartikler ses nu helt omsluttet af sod, som også visse steder ses at være trængt helt ind i mineralernes gitterstruktur. Der ses derimod ingen tegn på forandring af selve lermineralernes struktur og ingen tegn på dannelse af større amorf aggregater.

FIGUR 3.1: MIKROSKOPIERING AF TYNDSLIB



Den konstaterede tilsodning af den behandlede jord er søgt karakteriseret ved full scan GC-MS analyse af prøver fra både batch 1 og batch 2. Til sammenligning er en dieselsod standard analyseret parallelt med prøverne. Chromatogrammer fra disse analyser er gengivet i bilag 10.

GC MS-analyserne viser, at jordprøver fra begge batches indeholder PAH'er efter behandlingen. Benz(a)pyren findes i begge batches i en koncentration på ca. 0,050 mg/kg TS, dette svarer til ren jord i klasse 1 i henhold til Sjællandsvejledningen /6/. Generelt har jorden fra batch 1 et højere indhold af de 3 til 4 ringede PAH'er der er blevet bestemt i analysen. På chromatogrammet for sod-standardens ses en pukkel af mange toppe i intervallet fra 14-22 minutter, en lignende pukkel er at finde på chromatogrammet for batch 1 prøven. For batch 2 ses i dette interval en del markante toppe, dog er intensiteten ikke så høj at de fremkommer som en pukkel. Det kunne tyde på, at der i de to jordprøver findes stoffer lignende de, der findes i dieselsod.

Gustafsson & Gschwend /18/ beskriver, at man ud fra forholdet mellem methylphenanthren og phenanthren samt mellem methylpyren og pyren kan afgøre om oprindelsen af PAH i jord/sediment er petrogen eller pyrogen. I

tabel 3.4 er disse forhold beregnet for såvel de behandlede jordpartier som for den undersøgte dieselsod standard.

TABEL 3.4: BEREGNING AF FORHOLD MELLE MATHYLEREDE OG UMATHYLEREDE PAH'ER

	Batch 1	Batch 2	Sod	Pyrogen /18/	Petrogen /18/
Methylphenanthren (C_{me-Ph})	0,110	0,021	2600,8		
Phenanthren (C_{Ph})	0,362	0,140	1663,2		
Forhold (C_{me-Ph}/C_{Ph})	0,30	0,15	1,6	ca. 0,50	ca. 5
Methylpyrener (C_{me-Py})	0,197	0,022	245,6		
Pyren (C_{Py})	0,354	0,123	1213,6		
Forhold (C_{me-Py}/C_{Py})	0,56	0,18	0,20	ca. 0,2	ca. 4

De PAH'er der er indeholdt i de to jorde efter behandling ses ud fra denne beregning at være af pyrogen afstamning. Pyrogene PAH'er findes i forbrændingsprodukter og stenkulstjære, mens petrogene PAH'er findes i mineralolier /19/. De PAH'er der er tilbage i jorden er da enten rester af tjære der var i jorden inden behandling eller måske mere sandsynligt er de dannet ved pyrogene processer under behandlingen af jorden.

I det undersøgte anlæg anvendes fyringsolie som brændselskilde i rotérovnen, og den observerede soddannelse anses derfor at skyldes ufuldstændig forbrænding heraf. Denne konklusion understøttes af det forhold, at der ved forsøgs kørsler udført af RGS90 på et gasfyret anlæg opstillet i udlandet, ikke visuelt observeres samme tilsodning af den behandlede jord.

Generelt anses PAH'er for at være cancerogene. Dog er det sådan at PAH'er med kun tre ringe ikke er påvist at være cancerogene, mens PAH'er der er opbygget med benz(a)antracen som grundstruktur er cancerogene /20/. Dette drejer sig om f.eks om PAH'er som benz(a)pyren. Både benz(a)antracen og benz(a)pyren er ved GC-MS analyserne påvist i jorden efter behandling.

Som det fremgår af resultaterne af de udførte GC-MS analyser (bilag 10), er indholdet af disse kritiske PAH-forbindelser fortsat meget lavt i den behandlede jord, den omtalte soddannelse til trods.

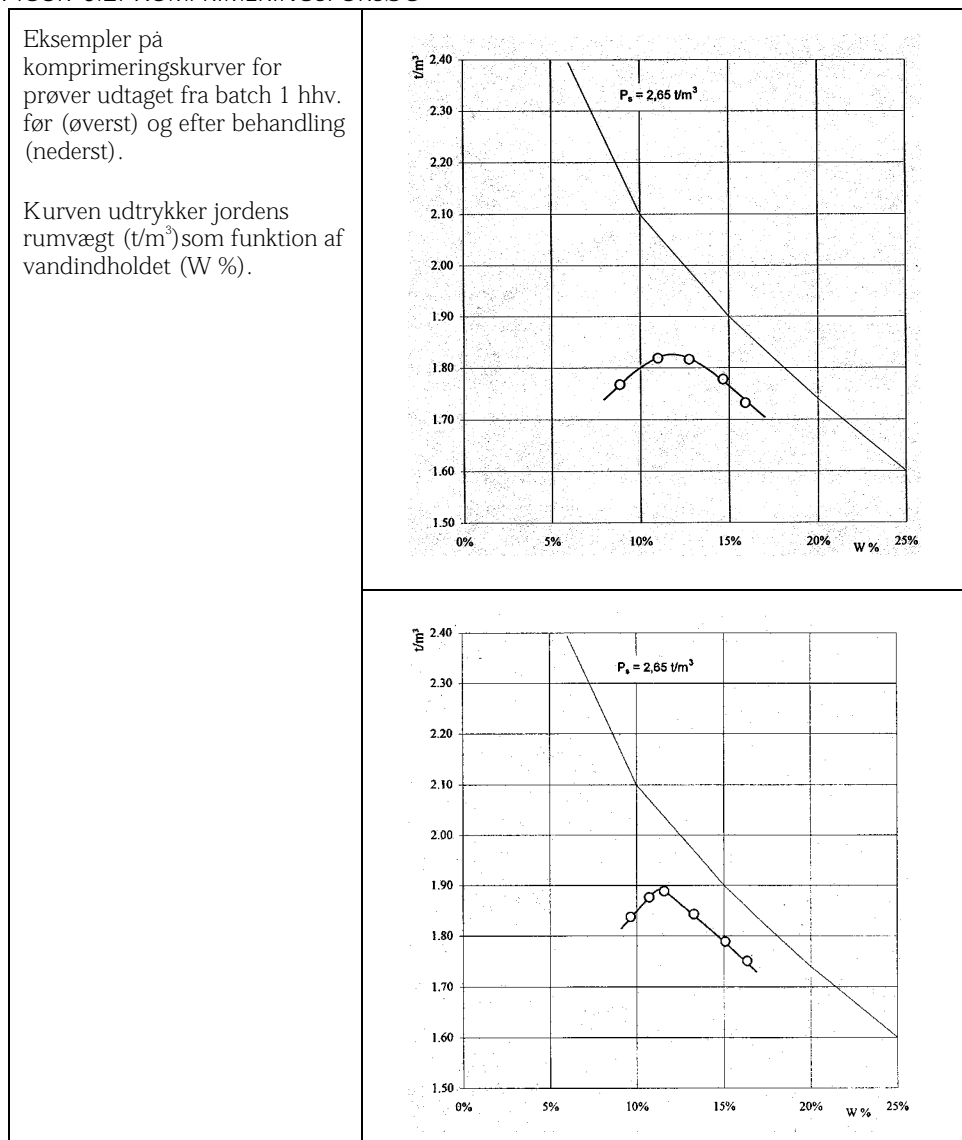
Undersøgelse af ændringer i kornstørrelsesfordelingen i batch 1 understøtter den visuelle vurdering af et mere grovkornet materiale. Kornstørrelsesfordeling før og efter termisk behandling af batch 1 er opsummeret i tabel 3.5. Jordens indhold af lerpartikler er tilsyneladende reduceret signifikant som følge af termisk behandling. Da der ved mikroskopiering af tyndslib ikke er truffet tegn på egentlige forandringer i mineralstrukturen, kan den observerede stigning i jordens kornstørrelse eventuelt tilskrives det forhold, at lerminerallerne er blevet omsluttet af sod. Denne belægning af partiklerne kan have påvirket resultaterne af kornkurvemålingerne, idet disse målinger for de mindste fraktioner foretages ved vandig opslemning af jorden, hvorefter jordpartiklernes sedimentationshastighed måles som udtryk for kornstørrelsesfordelingen. Det må forventes, at partikler dækket af sodkomponenter med lav polaritet vil flokkulere i vandig opslemning, hvorved den målte kornstørrelsesfordeling forskydes mod større partikler.

TABEL 3.5: KORNSTØRRELSE FØR OG EFTER TERMISK BEHANDLING

	Batch 1, før behandling %	Batch 1, efter behandling %
Ler	6,5	3,9
Silt	14,8	15,8
Sand	78,7	80,3

Jordens geotekniske karakteristika er undersøgt ved udførelse af et antal komprimeringsforsøg på prøver udtaget før og efter termisk behandling. Eksempler på typiske resultater er illustreret i figur 3.2.

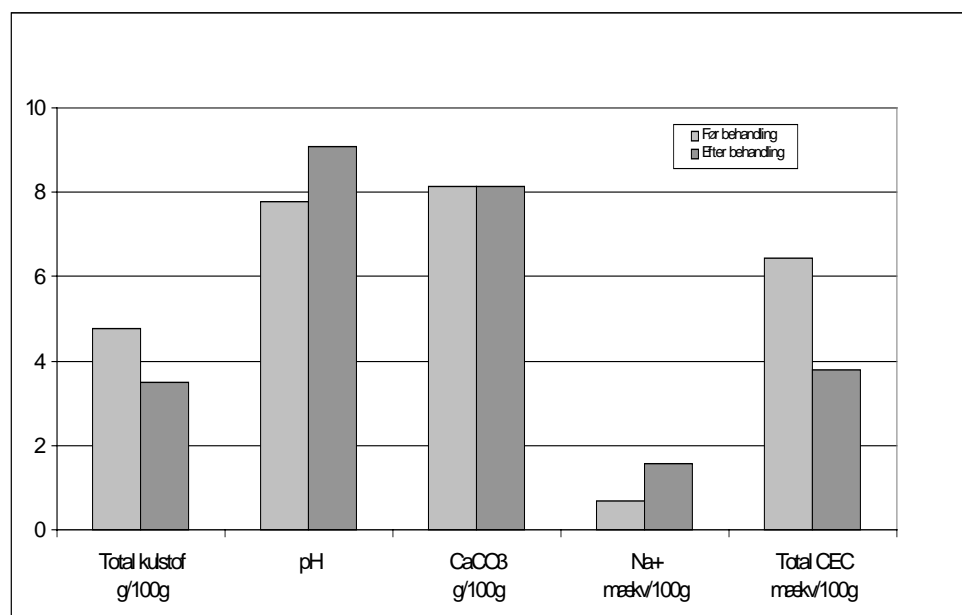
FIGUR 3.2: KOMPRIMERINGSFORSØG



Jordens grundlæggende geotekniske egenskaber forandres mærkbart som følge af den termiske behandling. Den behandlede jord kan komprimeres til en højere rumvægt, men jordens vandindhold er blevet mere kritisk, idet kurveforløbet er blevet stejlere, således at jordens rumvægt reduceres hurtigere, når vandindholdet bevæges bort fra det optimale. De geotekniske analyser er gengivet i fuldt omfang i bilag 5.

Jordbundskemiske forandringer som følge af termisk behandling er undersøgt ved analyse af prøver af batch 1, udtaget hhv. før og efter behandling. Resultaterne er illustreret i figur 3.3.

FIGUR 3.3: JORDBUNDSKEMISKE FORANDRINGER



Reduktion i indhold af totalt organisk kulstof kan dels tilskrives afdampning af tjærestoffer (ca. 30% af reduktionen) og dels pyrolyse af organiske humusstoffer. En signifikant stigning i jordens pH-værdi synes ikke at være relateret direkte til jordens carbonatindhold, som er uforandret efter behandling. Faldet i kationbytningskapacitet (CEC) er markant og kan givetvis relateres til den observerede forøgelse af kornstørrelsen og reduktion i jordens indhold af organisk stof. Hastigheden af ionbytningsprocesserne ved partiklernes overflade må samtidigt forventes at være reduceret som følge af den observerede sodsværtning af jordmatricen.

3.4 Effekt på tilgængelighed af tungmetaller

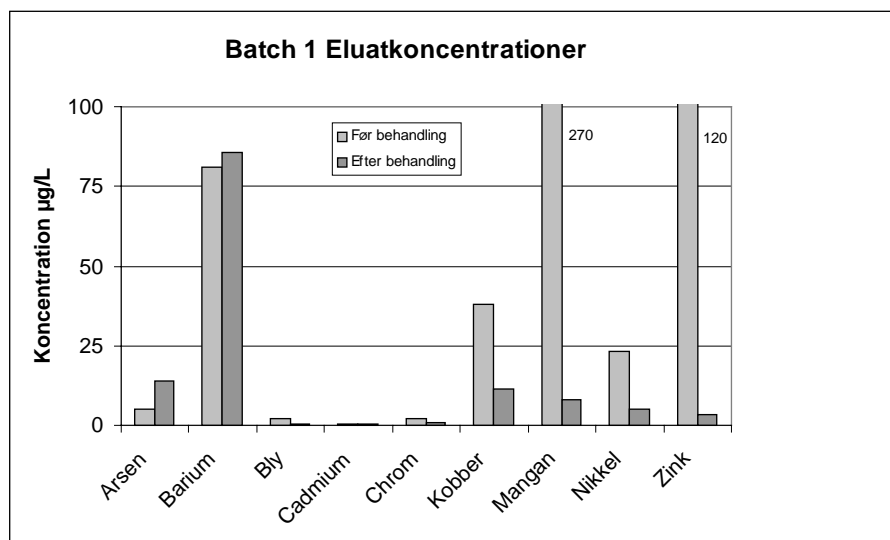
Udvaskning af tungmetaller fra fyldjorden, batch 1, er undersøgt før og efter termisk behandling af jorden. Udvaskningen er bestemt ved batch-udvaskningstest, som angivet i bilag 4. Resultaterne er illustreret i søjlediagrammet, figur 3.4.

Udvaskningstest viser en forøgelse af arsen-udvaskning fra jorden som følge af den termiske behandling. Arsen adskiller sig fra de øvrige tungmetaller ved overvejende at optræde som anioner, hvis mobilitet øges med stigende pH /9/. Derimod ses udvaskningen af alle øvrige tungmetaller at være reduceret signifikant.

Den observerede reduktion i tungmetaludvaskningen kan delvist tilskrives pH-stigningen i jorden, men kan også ses i sammenhæng med de øvrige forandringer, jorden undergår ved termisk behandling. Tilgængeligheden af de metaller, som er sorberet til partikeloverfladen i jordmatricen, kan være nedsat som følge af den gennemgribende sodsværtning. Hertil kommer en måleteknisk usikkerhed ved undersøgelsen, idet eluatprøverne fra

udvaskningsforsøgene vil indeholde en del kolloid materiale, hvori tungmetaller vil være bundet. Det er muligt, at den termiske behandling medfører sammenkitning af kolloider, som således ikke længere vil udvaskes til det eluat, som undersøges for indhold af tungmetaller.

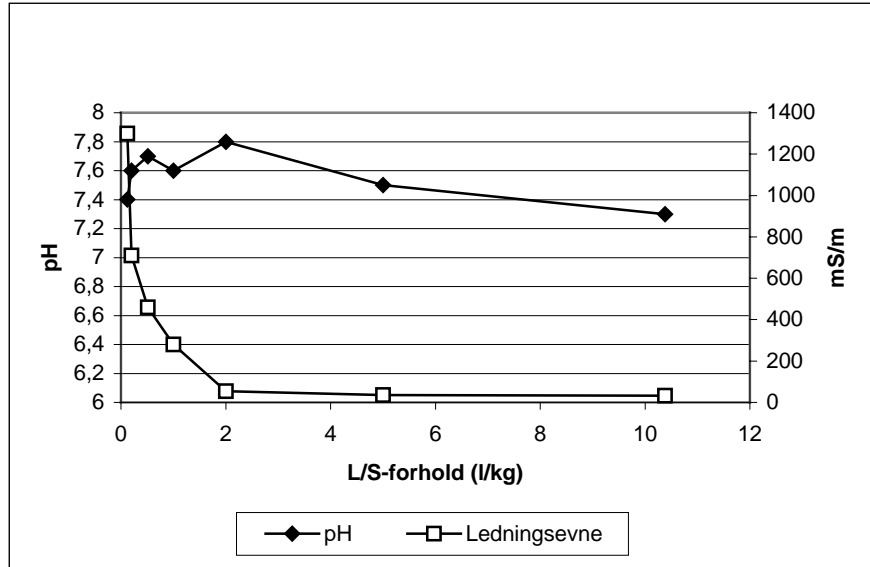
FIGUR 3.4: BATCH 1: UDVASKNING AF TUNGMETALLER VED BATCHFORSØG



For at kunne vurdere den observerede generelle reduktion af udvaskningen af tungmetaller nærmere, er der udført et kolonneudvaskningsforsøg på en jordprøve fra batch 1, som er udtaget efter termisk behandling. Den undersøgte prøve (B1-2-26) er karakteriseret ved et relativt højt indhold af tungmetaller blandt de prøver, som under forsøget er udtaget af den behandlede jord. Prøvens indhold af tungmetaller og dens frigivelse af tungmetaller ved batchudvaskningsforsøg fremgår af oversigten over analysedata, bilag 4. Kolonneudvaskningsforsøget er ført frem til et væske/faststof-forhold på 10 l eluat pr. kg jordprøve. L/S 10 svarer til, at kolonneudvaskningsforsøget modellerer stoffrigivelsen fra jorden over en periode på ca. 180 år, såfremt jorden udlægges i en fyldlagstykkelse på 1 m og udvaskes af en nedbør på 100 mm/år. Kolonneudvaskningsforsøgets udførelse og resultater er beskrevet i detaljer i bilag 11.

Under kolonneforsøget er udtaget i alt 7 eluatprøver. Udvikling i pH og ledningsevne under forsøget fremgår af figur 3.5.

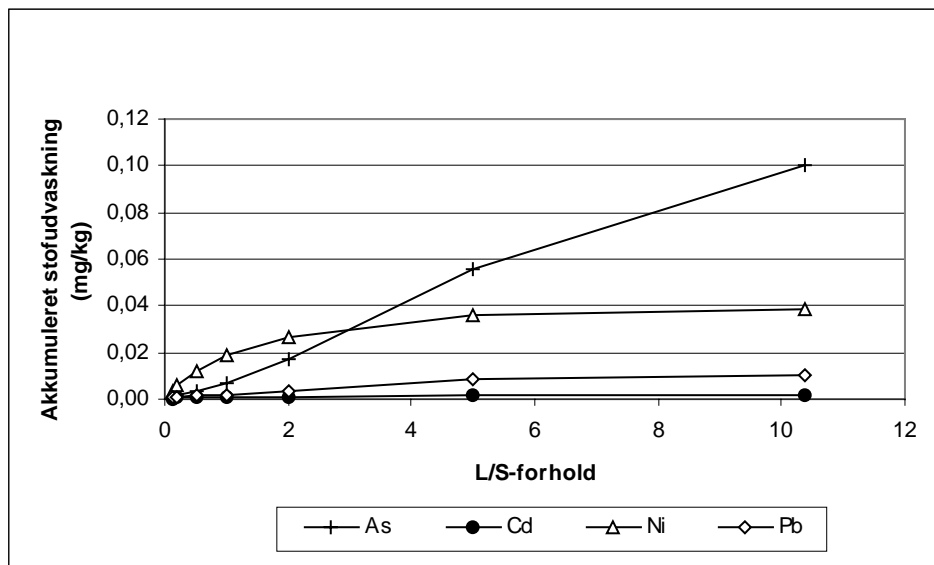
FIGUR 3.5: BATCH 1: PH OG LEDNINGSEVNE I ELUAT FRA KOLONNEFORSØG



Under udvaskningstesten ses en indledende stigning i pH-værdien, som efterfølgende gradvist atter stabiliseres. Det indledende fald i ledningsevne afspejler udvaskning af chlorid, som under behandlingen er tilsat jorden. Der blev ved bestemmelsen af pH i batch 1 efter behandling målt en værdi omkring 9,1 i jorden. Til sammenligning bemærkes det, at der ved det efterfølgende kolonneforsøg blev målt en pH-værdi i området omkring 7,5 i eluatet. Den konstaterede stigning i jordens pH-værdi som følge af den termiske behandling ses således ikke at give anledning til en tilsvarende høj pH-værdi i eluatet fra kolonneforsøget.

Udvaskning af udvalgte tungmetaller under kolonneforsøget er præsenteret i figur 3.6 og 3.7.

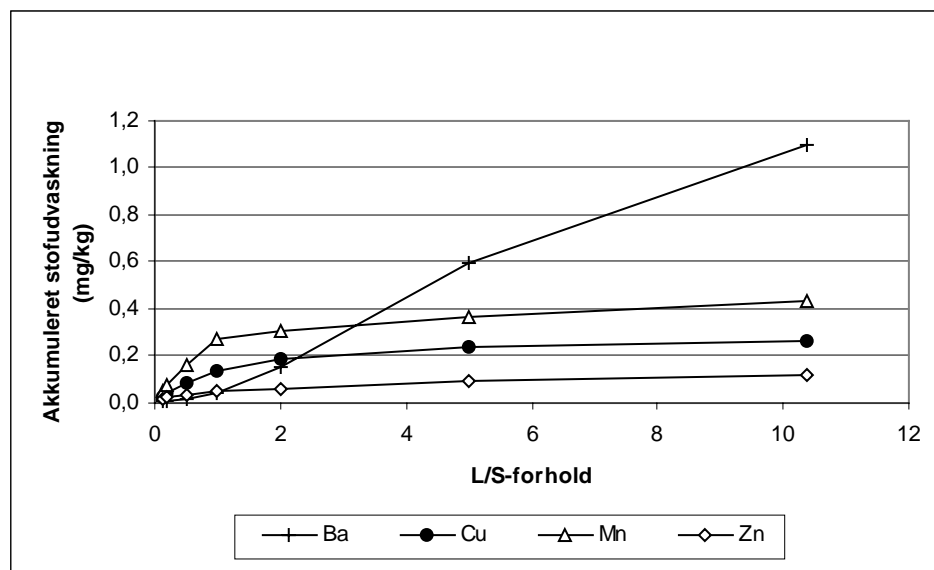
FIGUR 3.6: BATCH 1: UDVASKNING AF TUNGMETALLER VED KOLONNEFORSØG - I



Mens udvaskningen af cadmium, nikkel og bly relativt hurtigt falder, ses en vedvarende frigivelse af arsen fra jorden. Under kolonneudvaskningsforøget er

faktisk konstateret en svagt stigende arsenkoncentrationen i eluatet (se bilag 11).

FIGUR 3.7: BATCH 1: UDVASKNING AF TUNGMETALLER VED KOLONNEFORSØG - II



Tilsvarende resultaterne præsenteret i figur 3.6, ses i figur 3.7 et relativt hurtigt fald i udvaskningen af kobber, mangan og zink (faldende eluatkoncentrationer), mens udvaskningen af barium fra jorden er stabil og og eluatkoncentrationerne svagt stigende. Forøget udvaskning af barium under kolonneforsøget kan eventuelt tilskrives ionbytning med calcium, som tilsættes med elueringsvæsken i form af CaCl_2 .

Kolonneudvaskningsforsøget bekræfter således det billede, som aftegnes af de indledende batchudvaskningsforsøg, som er udført på prøver af den termisk behandlede jord. Der er observeret et umiddelbart fald i udvaskningen af tungemetaller som f.eks. bly, zink og kobber, og denne effekt synes at være vedvarende over den tidsperiode, som simuleres ved kolonneudvaskningsforsøget.

Omvendt øges tilgængeligheden af arsen, en effekt som faktisk forøges i løbet af den tidsperiode, som kolonneforsøget simulerer. Da arsen således reagerer markant anderledes på behandlingen, er i tabel 3.6 fremdraget en række nøgletal, som sammenholdes med arsenkoncentrationer i hhv. jord og eluater, observeret hhv. før og efter termisk behandling.

TABEL 3.6: OVERSIGT OVER OBSERVEREDE ARSEN-KONCENTRATIONER

Jordkoncentration, batch 1	7,1 mg/kg TS
Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterium /8/	20 mg/kg TS
Baggrundsniveau, jord /8/	2-6 mg/kg TS
Eluatkoncentrationer, batch 1:	
- batchudvaskning, før termisk behandling (L/S 2)	5,0 µg/l
- batchudvaskning, efter termisk behandling (L/S 2)	14 µg/l
- kolonneudvaskning, efter termisk behandling, start (L/S 0,12)	10 µg/l
- kolonneudvaskning, efter termisk behandling, slut (L/S 10,38)	14 µg/l
Baggrundsniveau, grundvand /8/	0,1 – 8 µg/l
Typiske perkolatkoncentrationer /9/	20-50 µg/l

Effekten af den termiske behandling illustreres af tallene i tabel 3.6: Jorden i batch 1 er som udgangspunkt ikke karakteriseret som arsen-forurenet, idet jordkoncentrationen overholder gældende kvalitetskriterier. Efter termisk behandling ses en stigende udvaskningen af arsen, som bringer eluatkoncentrationer for såvel batchudvaskning som kolonneforsøg op i nærheden af de koncentrationer, som observeres i perkolat fra f.eks. slaggedeponering /9/.

3.5 Massestrømsanalyse

I forbindelse med undersøgelsen er der målt for en række stoffer i de forskellige strømme ind og ud af anlægget. Stederne i anlægget, hvor der sker massetransport ud eller ind i anlægget, er markeret på figur 2.1. På figuren er endvidere markeret to steder (punkt 3 og 4), som er benyttet til massestrømsanalyse internt i anlægget.

På basis af de målte indhold i jord-, vand- og luftstrømme er der opstillet massebalancer for følgende uorganiske stoffer:

- Bly
- Kviksølv
- Natrium
- Zink

Bly, kviksølv og natrium er valgt, fordi resultaterne fra analyse af jordprøverne viser at indholdet af disse stoffer ændrer sig væsentligt gennem anlægget. Zink er valgt som et af de stoffer, hvor indholdet ikke ændres signifikant gennem anlægget.

Massestrømmen af de 4 stoffer i de 7 markerede punkter er angivet i tabel 3.7 herunder.

Tabel 3.7: Massestrømsanalyse

	Bly	Kviksølv	Natrium	Zink
	g/time	g/time	g/time	g/time
Input				
Jord ind Punkt 1	2.700	11	1.300	6.800
Scrubbevand ind Punkt 7	0,0	0,0	1.300	0,0
Luft ind til ovn Punkt 8	0,0	0,0	0,0	0,0
Luft ind til efterbrænder Punkt 9	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	2.700	11	2.700	6.800
Output				
Jord ud Punkt 2	4.800	0,48	2.900	6.100
Overskudsvand ud Punkt 5	0,2	0,0	0,0	0,3
Røggas ud Punkt 6	0,1	16	0,1	0,1
Total	4.800	16	2.900	6.100

Det ses af tabellen, at der er god overensstemmelse mellem input og output af stofferne kviksølv, natrium og zink, mens der er ikke er balance for bly.

Kviksølv overføres i anlægget næsten fuldstændigt fra jordfasen til gasfasen. Det vurderes, at der er forholdsvis stor fejlmargen ved den opstillede massestrømsbalance for kviksølv, fordi overførslen bl.a. vil være meget afhængig af den aktuelle temperatur i anlægget, og fordi indholdet i røggassen er bestemt ved få målinger.

Natriumindholdet i jorden fordobles gennem anlægget, fordi der tilsættes natriumhydroxid til scrubbevandet for at neutralisere sure komponenter i røggassen.

Zink ændres som ventet ikke gennem anlægget.

Indholdet af bly i jorden fordobles gennem anlægget. Stigningen i blykoncentrationen er markant og statistisk signifikant. En mulig årsag kan være adsorption af bly eller blyholdige partikler til anlæggets konstruktionsmaterialer, som efterfølgende frigiver bly i perioder, hvor der behandles jord med et lavere indhold af bly. Denne mulige forklaring modsiges imidlertid af det forhold, at der i perioden op til testkørslen blev behandlet jord med et lavt indhold af tungmetaller.

3.5.1 Bly

Som følge af den stigning der blev set i blykoncentrationen under behandlingen i anlægget er det valgt at se nærmere på analyserne af bly i de to batches før og efter behandlingen. Mediankoncentrationer for bly er angivet i tabel 3.8.

TABEL 3.8: KONCENTRATIONSMEDEIANER FOR BLY FØR OG EFTER BEHANDLING

Batch og tid	Median (mg/kgTS)	Gennemsnit (ln(mg/kg TS))	Spredning (ln(mg/kg TS))	Stigning (%)
Batch 1 før	300	5,90	0,63	
Batch 1 efter	555	6,30	0,14	85
Batch 2 før	26	3,33	0,35	
Batch 2 efter	47	3,84	0,34	81

Koncentrationen i batch 1 er steget fra 300 mg/kg TS til 555 mg/kg TS, en stigning på 255 mg/kg TS hvilket svarer til 85 % af den oprindelige koncentration. Koncentrationen i batch 2 er steget fra 26 mg/kg TS til 47 mg/kg TS, en stigning på 21 mg/kg TS svarende til 81 %. Den procentvise stigning ses at være ca. den samme.

I fald koncentrationsforøgelsen skulle henføres til bly-afsmitning i anlægget eller bly-tilførsel fra f.eks. det anvendte brændsel, skulle mængdeforøgelsen være af samme størrelsesorden, hvilket ikke er tilfældet.

Det må derfor konkluderes, at den observerede stigning i jordens blykoncentration som følge af termisk behandling nærmere skal tilskrives et analyseteknisk problem. Forholdet er diskuteret indgående i en ekstern resultatvurdering, vedlagt som bilag 12.

4 Miljøvurdering af termisk jordbehandling

4.1 MILJØPÅVIRKNINGER VED JORDBEHANDLINGEN

4.1.1 Beskrivelse af metode

Jordbehandling medfører en række miljøpåvirkninger som enten kan karakteriseres som miljøbelastninger eller miljøgevinster.

Miljøbelastningerne ved den termiske behandling fremkommer i forbindelse med forbrug af energiressourcer til opvarmning og håndtering af jorden, og forbrug af en række hjælpestoffer såsom vand og natriumhydroxid. Jordbehandlingen giver derudover anledning til emission af stoffer til luften, i spildevand og med den behandlede jord.

Formålet med jordbehandlingen er at rense jorden for indhold af oliekomponenter med særlig fokus på indholdet af tung olie og tjære, som udgør en fraktion, som er svær at fjerne ved andre jordbehandlingsmetoder. Oprensningen af forureningen i jorden medfører miljøgevinster idet den rensede jord udgør en mindre risiko og har større anvendelse end den ubehandlede jord.

Ressourceforbruget og emissionerne i forbindelse med jordbehandlingen er i det følgende vurderet for at give et indtryk af miljøbelastningerne ved metoden. Miljøbelastningerne er holdt op mod miljøgevinsterne ved jordbehandlingen for på denne måde at give et indtryk af, hvor meget der vindes ved jordbehandlingen.

Som udgangspunkt for sammenligningen er Banestyrelsens LIFE-model /1/ valgt. LIFE-modellen er opbygget så der kan udføres miljøvurdering på forskellige niveauer svarende til datakendskabet i de forskellige faser i et afværgeprojekt. Modellen kan håndtere afværgeprojekter baseret både på in situ-oprensning og på afgravning med on site- eller ex-site-oprensning.

Det er i nærværende rapport valgt at foretage både en overordnet miljøopgørelse og en detaljeret miljøopgørelse.

Den overordnede opgørelse er tænkt benyttet til indledende miljøvurderinger, hvor datamaterialet og overblikket over materialeforbrug og emissioner er begrænset. Fordelen ved denne opgørelse er, at den opgives i faktiske mængder, som det er nemt at forholde sig til.

Den detaljerede opgørelse er tænkt benyttet til de efterfølgende miljøvurderinger. Databehovet til vurderingen er væsentligt større end til den overordnede opgørelse. Resultaterne af den detaljerede opgørelse vises som henholdsvis normaliserede og vægtede miljøbelastninger, hvilket giver mulighed for at sætte miljøpåvirkningerne i perspektiv med miljøpåvirkninger fra andre samfundsmæssige aktiviteter:

- De normaliserede miljøbelastninger er defineret som de opgjorte miljøbelastninger ved oprensingsmetoden sat i forhold til de samlede årlige miljøbelastninger forårsaget af en gennemsnitsborger. For lokale miljøbelastninger sættes belastningen i forhold til en gennemsnitsdansker, mens det for regionale og globale miljøbelastninger sættes i forhold til en gennemsnitsverdensborger.
- De vægtede miljøbelastninger er for emissioner defineret som de normaliserede miljøbelastninger sat i forhold til miljømålene i national lovgivning eller internationaleaftaler. Vægtningen medfører, at de miljøbelastninger, som der er sat de mest ambitiøse reduktionsmål for, vil veje tungere end de miljøbelastninger, som der er planlagt knap så store reduktioner for. De vægtede ressourceforbrug er defineret som de normaliserede ressourceforbrug sat i forhold til forsyningshorisonten for den betragtede ressource. Vægtningen betyder, at forbrug af de ressourcer, som har den korteste forsyningshorisont vil veje tungere end forbrug af de ressourcer, som har en længere forsyningshorisont.

4.1.2 Diskussion af metode

Banestyrelsens LIFE-model /1/ er baseret på UMIP-modellen /11/ til livscyklusvurdering af produkter men er tilpasset miljøvurdering af afværgeprojekter overfor jord- og grundvandsforureninger. UMIP-modellen vurderes generelt at være grundig og gennemprøvet. Tilpasningen af livscyklusvurderingen fra at kunne anvendes på produkter til at kunne anvendes på afværgeprojekter vurderes ikke at have ændret væsentligt på modellens grundighed. Generelt vurderes opgørelsen af miljøbelastninger i LIFE-modellen derfor at være både grundig og dækkende for de vigtigste processer i afværgeprojektets livscyklus.

Perspektiverne omkring miljøgevinster er udviklet i forbindelse med LIFE-projektet og har således ikke været igennem den samme validering, som opgørelsen af miljøbelastninger har været i forbindelse med UMIP-modellen. Det skal dertil bemærkes, at opgørelsen og værditildelingen af miljøgevinsterne er en vanskelig proces, hvilket blandt andet bunder i, at miljøgevinsterne i mindre grad er kvantificerbare.

Opgørelsen af miljøgevinster i LIFE-modellen i den detaljerede miljøopgørelse er baseret på en "omvendt udledningsbetragtning", forstået således, at gevinsten i forbindelse med oprensning af en forurening opgøres tilsvarende udledning af den samme forurening, men med modsat fortegn. Opgørelsen baseres således på kvantificerbare størrelser, mens ikke-kvantificerbare forhold som f.eks. den psykiske og sociale påvirkning af ejer og naboer til en forurennet grund ikke inkluderes. Modellen inkluderer endvidere ikke på nuværende tidspunkt muligheden for hensyntagen til, om forureningen f.eks. findes i områder med særlige drikkevandsinteresser. En afgørende fordel ved LIFE-modellen er dog, at det er muligt at foretage en konsekvent vurdering af miljøgevinster. Det vurderes, at opgørelsen af miljøgevinster i LIFE-modellen er et godt kompromis som giver en tilstrækkeligt god og dækkende vurdering af miljøgevinsterne i forbindelse med afværgeprojekter og jordrensningsteknologier.

En af ulemperne ved LIFE-modellen er, at den som standard kun indeholder beskrivelser af et begrænset antal afværgete metoder, således at brugeren selv skal indlægge data, såfremt andre afværgete metoder skal vurderes. Da det kan

være krævende at indhente repræsentative data og efterfølgende indlægge dataene i modellen, vil miljøvurdering af alternative afværgemetoder (som termisk desorption) være mere krævende at miljøvurdere og resultaterne kan blive behæftet med relativ stor usikkerhed.

4.2 OVERORDNET OPGØRELSE AF MILJØPÅVIRKNINGER

Den overordnede opgørelse af miljøbelastningerne omfatter:

- Vurdering af ressourceforbruget i anlæggets faser (etablering, drift og demontering).
- Opgørelse af ressourceforbrug, emissioner og væsentligste miljøeksponeringer.
- Effektivurdering af de kortlagte belastninger.

Vurderingerne hviler bl.a. på de registrerede nøgletal for anlæggets drift, som fremgår af tabel 4.1.

Tabel 4.1: Ressourceforbrug i forbindelse med termisk jordbehandling

Ressource	Målt forbrug	Opgørelsesperiode
Fyringsolie til anlæg	53 liter/ton jord ~ 45 kg ton/jord	Driftsperioden
Dieselolie til læsser	115 l/døgn ~ 0,5 kg/ton jord	Driftsperioden
Elektricitet til anlæg	36 kWh/ton jord	Driftsperioden
Vand til scrubber	0,45 m ³ /ton jord	Undersøgelsen
Natriumhydroxidopløsning (27,7% w/w) til scrubber	9000 liter i driftsperioden ~ 0,73 liter/ton jord ~ 0,25 kg NaOH/ton jord	Driftsperioden

Den overordnede opgørelse af miljøbelastningerne ved den termiske jordbehandling er angivet i tabel 4.2.

Det er valgt at foretage miljøvurderingen ud fra en antagelse om, at anlægget er fast placeret i Danmark og har en lang levetid, således at miljøbelastninger i forbindelse med etablering og demontering er uden betydning. Transport af forurenede jord til anlægget og transport af behandlet jord fra anlægget er ligeledes holdt ude af miljøvurderingen. Da anlægget primært består af stål, som i høj grad vil kunne genanvendes ved enden af anlæggets levetid, vurderes miljøbelastninger i forbindelse med konstruktion af anlægget ligeledes at være ubetydelige i den samlede miljøvurdering. Miljøvurdering omhandler derfor udelukkende driftsperioden.

Tabel 4.2: Overordnet opgørelse af miljøbelastninger ved termisk jordbehandling

Forbrug i jordbehandlingens faser
Etableringsfasen Ingen betydende
Driftsfasen <ul style="list-style-type: none"> • Opvarmning af jord i rotérovn • Afbrænding af gasser i efterbrænder • ca. 250 kW til generatorer, kompressorer, ventilatorer, transportbånd • Røggasrensning i scrubber • Håndtering af jord ved indgang til og afgang fra anlæg med frontlæsser
Demonteringsfasen Ingen betydende
Betydende ressourceforbrug, emissioner og eksponering gennem behandlingsanlæggets levetid
Ressourceforbrug <ul style="list-style-type: none"> • Fyringsolie, anlæg: 45 kg/ton jord • Diesel, frontlæsser: 0,5 kg/ton jord • Elektricitet: 36 kWh/ton jord • Vand: 0,45 m³/ton jord • Natriumhydroxid: 0,25 kg/ton jord
Emissioner og affald <ul style="list-style-type: none"> • Lokalt: <ul style="list-style-type: none"> Filterslam Spildevand Forbrændingsgasser ved jordhåndtering og -behandling • Regionalt: Forbrændingsgasser ved el-produktion • Affald: 75-100 kg sten og bygningsaffald pr. ton jord
Eksponering af lokalmiljø Nærområde: Støj Kviksølv
Kvalitativ vurdering af effekten af ressourceforbrug og emissioner
Effekt på ressourcer Stor effekt: Råolie Elektricitet Lille effekt: Vand
Effekt på miljø Stor effekt: Drivhuseffekt Troposfærisk ozondannelse Forsuring Volumenaffald
Effekt på lokalmiljø Stor effekt: Støj Lille effekt: Humatoksicitet

Døgnforbruget af olie til drift af anlægget svarer nogenlunde til det årlige olieforbrug for 4 danske én-familiehuse (baseret på 2.000 kg/år/hus /12/).

El-forbruget på anlægget pr. døgn svarer knap til det årlige elforbrug for 2 danske én-familiehuse (baseret på 4.500 kWh/år/hus /12/).

Vandforbruget på anlægget pr. døgn svarer nogenlunde til det årlige vandforbrug for 2 danskere (baseret på 50 m³/år/person /13/).

Den overordnede opgørelse af miljøgevinsterne ved den termiske jordbehandling er angivet i tabel 4.3.

Tabel 4.3: Overordnet opgørelse af miljøgevinster

Gevinst	Potentiel effekt
Næsten total fjernelse af tung olie og tjærekomponenter fra jorden	Overjord: Reduktion af humantoksisk effekt
	Grundvand: Reduktion af humantoksisk effekt
	Overfladevand: Reduktion af økotoksisk effekt
	Luft: Ingen effekt

Miljøgevinsterne ved jordbehandling er reduceret humantoksisk effekt i jorden og reduceret risiko for udvaskning af farlige stoffer til grundvand og recipienter med deraf følgende reduceret human- og økotoksiske effekter i disse medier.

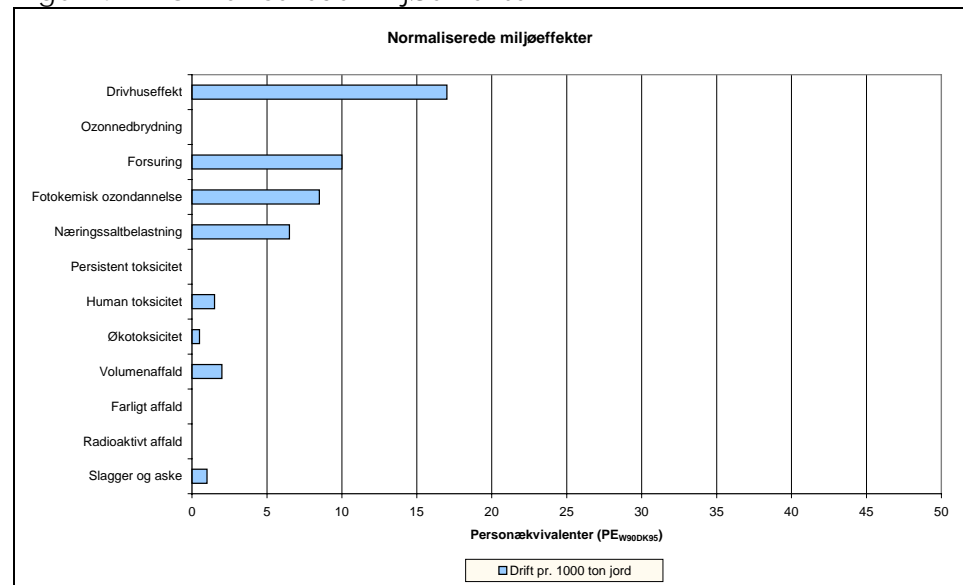
4.3 DETALJERET OPGØRELSE AF MILJØPÅVIRKNINGER

Der er foretaget en detaljeret miljøopgørelse ved hjælp af EDB-programmet til LIFE-modellen. Det skal bemærkes, at resultaterne opnået med modellen altid vil være behæftet med betydelig usikkerhed, fordi de benyttede baggrundsdata og beregningsformler sjældent er specifikke for det udstyr, der i dette tilfælde benyttes ved jordbehandling.

4.3.1 Normaliserede miljøbelastninger

De normaliserede miljøbelastninger i forbindelse med drift er opgjort i figur 4.1 og 4.2. Miljøbelastningerne er normaliseret på baggrund af enten 1 danskers årlige miljøbelastning i 1995 eller 1 verdensborgers årlige miljøbelastning i 1990.

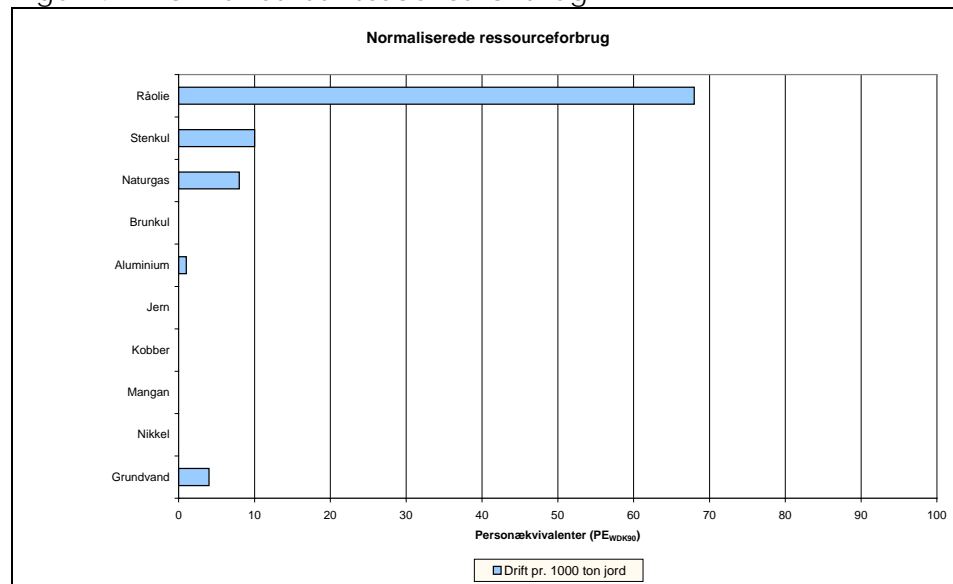
Figur 4.1: Normaliserede miljøeffekter



Miljøbelastningerne er opgivet for behandling af 1.000 ton jord.

Det ses af figur 4.1 og 4.2, at miljøbelastningerne ved behandling af 1000 ton jord kan henføres til et stort forbrug af olie. Endvidere er der et stort forbrug af elektricitet. Dette energiforbrug bidrager i høj grad til drivhuseffekt, syreregn, fotokemisk ozondannelse, næringsstofbelastning samt tæring på oliereserverne. Endvidere bidrager forbruget til toksiske effekter overfor mennesker og miljøet.

Figur 4.2: Normaliseret ressourceforbrug

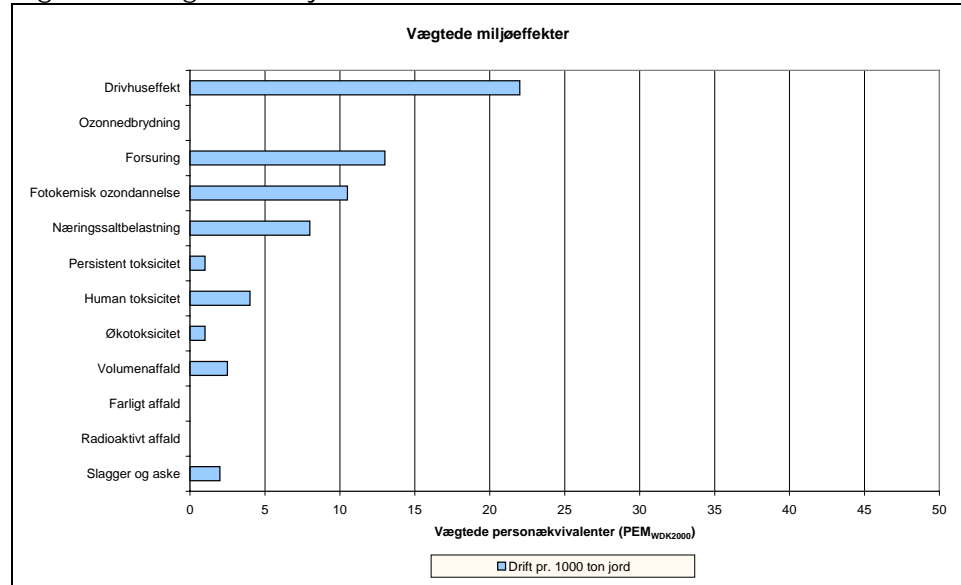


Det ses af figur 4.1, at de fleste af de nævnte bidrag overstiger 1 personækvivalent. Hver personækvivalent angiver den gennemsnitlige verdensborgers forbrug i 1990/95. Således angiver en miljøbelastning på 17 PE drivhuseffekt, at der ved behandlingen af 1.000 ton jord bidrages med, hvad der svarer til 17 personers årlige bidrag til drivhuseffekt. Et ressourceforbrug på 67 PE ved jordbehandlingen angiver, at der ved behandlingen af 1.000 ton jord forbruges, hvad der svarer til 67 gennemsnitsverdensborgers årlige forbrug af olie.

4.3.2 Vægtede miljøbelastninger

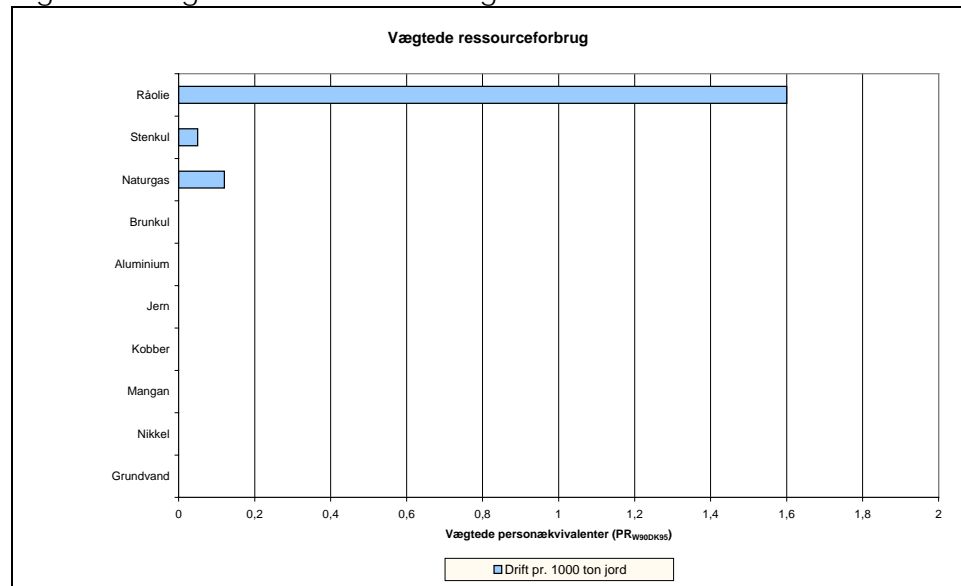
De vægtede miljøbelastninger i forbindelse med drift er opgjort i figur 4.3 og 4.4. De normaliserede miljøeffekter er vægtet på baggrund af gældende lovgivning i 2000, mens de normaliserede ressourceforbrug er vægtet på baggrund af de i 1990 opgjorte forsyningshorisonter for de vurderede ressourcer.

Figur 4.3: Vægtede miljøeffekter



Det ses af figur 4.3, at de fleste af de nævnte bidrag overstiger 1 vægtet personækvivalent. Hver vægtede personækvivalent angiver, at der ved jordbehandlingen forbruges 1 verdensborgers rettigheder til pågældende miljøbelastning. Således angiver en miljøbelastning på 22 PEM drivhuseffekt, at der ved behandlingen af 1.000 ton jord forbruges 22 personers rettigheder til at foretage sig handlinger, som bidrager til drivhuseffekt. Et ressourceforbrug på 1,6 PR olie ved jordbehandlingen angiver, at 1,6 verdensborgere og deres efterkommeres ret til forbrug af olie er opbrugt.

Figur 4.4: Vægtet ressourceforbrug



4.4 SAMMENLIGNING MED ALTERNATIVE JORDBEHANDLINGSMETODER

4.4.1 Biologisk jordbehandling

Biologisk jordbehandling foretages flere steder i Danmark. Det er derfor nærliggende at sammenligne miljøpåvirkningerne og renseeffekten ved denne metode med den termiske jordbehandling.

Biologisk rensning vurderes dog ikke at være ideel til behandling af jord med højt indhold af tunge olie- og tjærekomponenter, idet disse stoffer nedbrydes meget langsomt. Blandt andet er den observerede halveringstid ved en række feltforsøg med biologisk nedbrydning af PAH-forbindelser med 4 eller flere ringe i overfladejord angivet til mere end 200 dage /14, 15/. Oprensningstiden må derfor påregnes at være over en længere årrække. Den tidsmæssige faktor (kombineret med omkostninger til pladskrævende opbevaring) vurderes derfor at være en betydelig barriere mod at benytte biologisk rensning til jord med højt indhold af tunge olie- og tjærekomponenter.

Som følge af at blandt andet de tungeste og dermed mest carcinogene PAH-forbindelser nedbrydes langsomt, vil der under den biologiske nedbrydning, i modsætning til den termiske oprensning, ske en forskydning af indholdet af PAH-forbindelser mod en stigende andel af carcinogene stoffer. En væsentlig nedbringning af totalindholdet af olie- og tjærekomponenter er således ikke nødvendigvis ensbetydende med en væsentligt nedbringning af risikoen i forbindelse med eksponering for jorden.

Da biologisk oprensning forventes at være et ressourcelet alternativ til den termiske jordbehandling, bør metoden ikke afvises af tekniske hensyn alene. Det er derfor valgt at foretage en miljøvurdering af biologisk oprensning.

Miljøpåvirkningerne ved biologisk jordbehandling er opgivet i tabel 4.4. De angivne værdier er vurderet på baggrund af data leveret af RGS90 Jordrens og Bioteknisk Jordrens SOILREM. Der er ikke leveret data for vandforbrug, hvorfor dette er skønnet. Vandforbruget afhænger stærkt af nedbørsmængden i sommerhalvåret, men er skønnet til i størrelsesordenen 1 m³ pr. ton jord.

Begge jordbehandlere har primært opgivet data for behandling af dieselforurenet jord. Det er vurderet, at antallet af jordvendinger er den primære forskel på biologisk behandling af jord med dieselolie og jord med højt indhold af tunge olie- og tjærekomponenter. De opgivne data er derfor ekstrapoleret til at dække jord med højt indhold af tunge olie- og tjærekomponenter ved at gange det opgivne forbrug med en faktor 4-5 svarende til, at behandlingstiden er skønnet at være 4-5 gange længere for jord med højt indhold af tunge olie- og tjærekomponenter sammenlignet med dieselforurenet jord.

Det er valgt at holde transport af forurenet jord til anlægget og transport af behandlet jord fra anlægget ude af miljøvurderingen. En overordnet miljøopgørelse er vist i tabel 4.4 og 4.5.

Tabel 4.4: Overordnet opgørelse af miljøbelastninger ved biologisk rensning

Forbrug i afværgetiltagets faser
Etableringsfasen Ingen betydende
Driftsfasen <ul style="list-style-type: none"> • Sortering og udlægning af jord i miler • Vending af jord hver 3. måned i 54 måneder • Tilsætning af blandingsgødning hver 12. måned i 54 måneder
Demonteringsfasen Ingen betydende
Betydende ressourceforbrug, emissioner og eksponering gennem behandlingens levetid
Ressourceforbrug <ul style="list-style-type: none"> • Diesel, maskiner/bånd/sigter: 15-20 kg/ton jord • Vand: 1 m³/ton jord • Organisk materiale: 14 kg/ton jord • N,P,K-gødning: 0,25 kg/ton jord ad flere omgange
Emissioner og affald <ul style="list-style-type: none"> • Forbrændingsgasser ved jordhåndtering • Affald: 75-100 kg sten og bygningsaffald pr. ton jord
Eksponering af lokalmiljø Nærområde: Støj
Kvalitativ vurdering af effekten af ressourceforbrug og emissioner
Effekt på ressourcer Stor effekt: Råolie
Effekt på miljø Stor effekt: Drivhuseffekt Troposfærisk ozondannelse Forsuring Volumenaffald
Effekt på lokalmiljø Lille effekt: Støj

Tabel 4.5: Overordnet opgørelse af miljøgevinsterne ved biologisk rensning

Påvirkning	Potentiel effekt
Ved tilstrækkelig lang behandlingstid er det muligt at fjerne tung olie og tjærekomponenter fra jorden, så den kan anvendes frit	Overjord: Reduktion af humantoksisk effekt Grundvand: Reduktion af humantoksisk effekt Overfladevand: Reduktion af økotoksisk effekt Luft: Ingen effekt
Note: Det er forudsat, at der ikke dannes persistente, sundhedsskadelige nedbrydningsprodukter	

Sammenlignet med den termiske jordbehandling er ressourceforbruget ved den biologiske rensning følgende:

- Olieforbruget er i størrelsesordenen 1/3 af forbruget til driften af det termiske anlæg
- El-forbruget er ubetydeligt
- Vandforbruget er i samme størrelsesorden
- Forbruget af hjælpestoffer er forskelligt ved de 2 metoder, men vurderes at være ubetydeligt i miljømæssig sammenhæng

Selvom olieforbruget er lavere ved biologisk rensning er det ikke ubetydeligt. Til behandling af 100-125 ton jord af den aktuelle forureningsgrad svarer forbruget f.eks. til det årlige forbrug i et dansk én-familiehus (baseret på 2.000 kg/år/hus /12/).

4.4.2 Termisk desorption

K.K. Miljøteknik har sammen med Dansk Jordrens mulighed for at benytte et semimobilt, termisk jordbehandlingsanlæg, som i funktion svarer til det undersøgte. Anlægget hører hjemme i Tyskland. Da anlægsopbygningen er en anelse anderledes, og brændslet er naturgas/butan og ikke olie, er det nærliggende at sammenligne de to anlæg til termisk desorption. De leverede data for anlægget, som K.K. Miljøteknik og Dansk Jordrens har adgang til, stammer fra Miljøgodkendelsen til anlægget. Der er derfor benyttet data fra miljøgodkendelserne, selvom de ikke nødvendigvis harmonerer med faktiske driftsdata.

Det fremgår ikke klart, hvorvidt røggassen fra anlægget renses for sure og vandopløselige gasser. Miljøgodkendelsen indeholder ingen oplysninger om, hvorvidt der findes en scrubber på anlægget.

Det er valgt at foretage miljøvurderingen ud fra en antagelse om at anlægget er fast placeret i Danmark og har en lang levetid, således at miljøbelastninger i forbindelse med etablering og demontering er uden betydning. Transport af forurenede jord til anlægget og transport af behandlet jord fra anlægget er ligeledes holdt ud af miljøvurderingen. Da anlægget primært består af stål, som i høj grad vil kunne genanvendes ved enden af anlæggets levetid, vurderes miljøbelastninger i forbindelse med produktion af anlægget ligeledes at være ubetydelige i den samlede miljøvurdering. Miljøvurdering omhandler derfor udelukkende driftsperioden.

Miljøpåvirkningerne ved termisk jordbehandling på det alternative anlæg er opgivet i tabel 4.6 og 4.7.

Tabel 4.6: Overordnet opgørelse af miljøbelastninger ved alternativ termisk behandling

Forbrug i afværgetiltagets faser	
Etableringsfasen Ingen betydende	
Driftsfasen <ul style="list-style-type: none"> • Opvarmning af jord i rotéovn • Afbrænding af gasser i efterbrænder • ukendt el-forbrug til generatorer, kompressorer, ventilatorer, transportbånd • Køling med vand • Håndtering af jord ved indgang til og afgang fra anlæg 	
Demonteringsfasen Ingen betydende	
Betydende ressourceforbrug, emissioner og eksponering gennem behandlingsanlæggets levetid	
Ressourceforbrug <ul style="list-style-type: none"> • Naturgas/butangas, anlæg: 55 kg/ton jord • Diesel, frontlæsser: 0,5 kg/ton jord • Elektricitet: ukendt kWh/ton jord • Vand: 0,5 m³/ton jord 	
Emissioner og affald <ul style="list-style-type: none"> • Lokalt: Forbrændingsgasser ved jordhåndtering og -behandling • Regionalt: Forbrændingsgasser ved el-produktion • Affald: 75-100 kg sten og bygningsaffald pr. ton jord 	
Eksponering af lokalmiljø Nærområde: Støj	
Kvalitativ vurdering af effekten af ressourceforbrug og emissioner	
Effekt på ressourcer Stor effekt: Naturgas/butangas Elektricitet Lille effekt: Vand	
Effekt på miljø Stor effekt: Drivhuseffekt Troposfærisk ozondannelse Forsuring Volumenaffald	
Effekt på lokalmiljø Stor effekt: Støj	

Tabel 4.7: Overordnet opgørelse af miljøgevinster ved alternativ termisk behandling

Gevinst	Potentiel effekt
Næsten total fjernelse af tung olie og tjærekomponenter fra jorden	Overjord: Reduktion af humantoksisk effekt
	Grundvand: Reduktion af humantoksisk effekt
	Overfladevand: Reduktion af økotoxisk effekt
	Luft: Ingen effekt

På baggrund af de tilgængelige anlægsbeskrivelser vurderes det, at miljøpåvirkningerne ved de 2 anlæg til termisk desorption ikke afviger betydeligt. Den væsentligste forskel på de 2 anlæg er brændslet, idet det alternative anlæg fyres med naturgas eller butangas i stedet for olie.

Erfaringsmæssigt giver gasfyring færre emissioner til luften end oliefyring, hvorfor det alternative anlæg sandsynligvis giver anledning til mindre luftforurening.

Der er ingen oplysninger om røggasrensning fra det gasfyrede anlæg, hvorfor en sammenligning af luftemissionerne fra de to anlæg ikke er mulig. På samme måde foreligger der heller oplysninger om dette anlægs produktion af spildevand og filterslam, som dog må antages at ligge i samme størrelsesorden som produktionen på det undersøgte anlæg.

4.4.3 Kontrolleret deponering

Deponering er ikke en alternativ jordbehandlingsmetode, men udgør en bortskaffelsesmetode, som er eneste alternativ såfremt termisk desorption og biologisk rensning ikke vurderes ønskelig. Det er derfor nærliggende at sammenligne miljøpåvirkningerne ved deponering med miljøpåvirkningerne ved den undersøgte metode.

Det er valgt at holde transport af forurenede jord til anlægget og transport af behandlet jord fra anlægget ude af miljøvurderingen. En overordnet miljøopgørelse er vist i tabel 4.8 og 4.9.

Tabel 4.8: Overordnet opgørelse af miljøbelastninger ved deponering

Forbrug i afværgetiltagets faser
Etableringsfasen <ul style="list-style-type: none"> • Udlægning af membran • Håndtering af jord ved udlægning
Driftsfasen <ul style="list-style-type: none"> • Perkolatdannelse
Demonteringsfasen
Betydende ressourceforbrug, emissioner og eksponering gennem deponeringens levetid
Ressourceforbrug <ul style="list-style-type: none"> • Diesel, frontlæsser: 0,5 kg/ton jord • 1 m² syntetisk membran/ton jord
Emissioner og affald <ul style="list-style-type: none"> • Forbrændingsgasser ved jordhåndtering • 1 ton uanvendeligt affald • Perkolat fra depotets drift
Eksponering af lokalmiljø Nærområde: Støj Støv
Kvalitativ vurdering af effekten af ressourceforbrug og emissioner
Effekt på ressourcer
Effekt på miljø Stor effekt: Farligt affald
Effekt på lokalmiljø Lille effekt: Støj Støv Psykisk påvirkning

Tabel 4.8: Overordnet opgørelse af miljøgevinster ved deponering

Gevinst	Potentiel effekt
Ingen	Overjord: Ingen effekt
	Grundvand: Reduktion af humantoksisk effekt
	Overfladevand: Reduktion af økotoxisk effekt
	Luft: Ingen effekt

Bortset fra at der bliver genereret 1 ton "farligt affald" er miljøbelastningerne ubetydelige. Det "farlige affald" er den betragtede forurenede jord, som i livscyklusmæssig sammenhæng kan betegnes som "farligt affald". Det skal dertil bemærkes, at indholdet af miljøfremmede stoffer i den betragtede jord dog ikke er på et niveau, så jorden ifølge affaldsbekendtgørelsen skal karakteriseres som "farligt affald".

Såfremt jorden udlægges på en vandtæt membran medfører deponeringen miljøgevinster i form af reduceret udvaskning til grundvand og recipienter.

4.4.4 Vurdering af miljøpåvirkninger ved jordbehandlingsmetoderne

De to metoder til termisk desorption vurderes at medføre tilnærmelsesvis de samme miljøpåvirkninger. Miljøbelastningerne fra den termiske desorption er som anden termisk behandling af forurenede jord meget ressourcerelevante særligt med hensyn til energiresourcerne olie, gas og eventuelt elektricitet. Endvidere anvendes meget vand til behandlingen. Således kan døgnforbruget af energi og vand måles til samme størrelsesorden som det årlige forbrug for en familie i én-familiehus.

Ved den biologiske rensning er miljøbelastningerne overvejende relateret til forbrug af olie. Biologisk rensning er en lavteknologisk metode, som medfører væsentligt lavere miljøbelastninger end termisk behandling. Miljøbelastningerne ved metoden er dog ikke ubetydelige, hvilket ikke mindst skyldes, at de meget langsomt nedbrydelige stoffer i den aktuelle jordforurening betyder, at behandlingstiden og antallet af jordhåndteringer bliver relativt stort, sammenlignet med biologisk rensning af letnedbrydelige stoffer.

Deponering involverer ingen rensning af jorden, hvorfor miljøgevinsterne ved denne "metode" er mindre end ved jordbehandlingsmetoderne. Da ressourceforbruget ved deponering er ubetydeligt er miljøbelastningerne ligeledes ubetydelige. Den deponerede jord må dog betragtes som "farligt affald", hvoraf der genereres ét ton pr. ton forurenede jord. På langt sigt er deponering af stærkt forurenede jord derfor ikke en miljømæssig attraktiv løsning.

Den opstillede miljøvurdering åbner, som det fremgår af det ovenstående, ikke mulighed for éntydigt at udpege den miljømæssigt bedste metode til behandling af blandingsforurenede jord.

En snæver vurdering af de miljømæssige omkostninger ved behandling af jorden fører til den konklusion, at kontrolleret deponering fremtræder mest favorabel, men de berørte arealer vil have stærkt begrænsede

anvendelsesmuligheder og de deponerede materialer vil frembyde en bestandig miljørisiko for omgivelserne.

En generel sammenligning af termisk contra biologisk behandling af blandingsforurenet jord besværliggøres yderligere af det forhold, at det grundlæggende fører til to forskellige produkter med forskellige begrænsninger i anvendelsesmulighederne.

5 Økonomisk vurdering af termisk jordbehandling

Omkostningerne ved termisk jordbehandling er beskrevet med afsæt i talmateriale stillet til rådighed af RGS90 Jordrens, som har formidlet driften af anlægget.

Økonomiske nøgletal (excl. moms) for den termiske behandling fremgår af tabel 5.1.

Tabel 5.1: Økonomiske nøgletal

	Omkostninger i alt kr.	Omkostninger pr. ton kr/ton
Kapacitetsomkostninger: Leje af grund og udstyr Miljøgodkendelse Indkøring Demobilisering	1.000.000	65
Driftomkostninger: Leje af termisk anlæg Mandskab Olie, vand og el Affaldsbortskaffelse Kontrol	11.000.000	710
Samlede omkostninger	12.000.000	775

Det registrerede omkostningsniveau er i god overensstemmelse med amerikanske erfaringer med termisk behandling. En erfaringsopsamling udført i år 2000 af US EPA angiver et omkostningsinterval på mellem 50 og 250 USD/ton, hvor de laveste omkostninger vedrører behandling af meget store jordmængder (relativt lave anlægsomkostninger) og de højeste omkostningsniveauer registreres ved behandling af små jordmængder eller jorde forurenede med chlorerede forbindelser (eksempelvis PCB), som stiller særlige krav til indretningen af røggasrensningen /21/.

Med afsæt i forbruget af energi og vand i driftperioden kan omkostningerne hertil overslagsmæssigt opgøres til ca. 300 kr/ton behandlet jord og udgør dermed i størrelsesordenen 35-40% af de samlede omkostninger ved behandlingen.

Tabel 5.2: Overslag over udgifter til olie, el og vand

	Enheder pr. ton	Enhedspris	Udgifter i alt kr/ton
Fyringsolie	55 liter	4,50 kr/l	248
El	36 kWh	1,00 kr/kWh	36
Vand	0,45 m ³	30 kr/m ³	14
Energi og vand, i alt pr. ton			298

Det bemærkes at prisen på fyringsolie i vinterhalvåret 2000-2001 er faldet med 700 kr pr. 1.000 liter. Dette prisudsving betyder en ændring af behandlingsprisen med ca. 40 kr/ton. Det bemærkes endvidere, at olieforbruget ved behandling af lerjorden i batch 2 er ca. 50% højere end for batch 1. Behandlingsprisen kan altså svinge med yderligere ca. 80 kr/ton, afhængig af jordtype, vandindhold og jordens indhold af brændbare, organiske forureninger.

6 Konklusioner

6.1 Ressourceforbrug og ydeevne

Anlæggets drift og ydeevne er undersøgt for to jordtyper: En fyldjord bestående af ler, sand og muld samt en jord fra intakte aflejringer karakteriseret som sandet moræneler.

Der er ved afviklingen af de to forsøgskørsler konstateret et merforbrug af fyringsolie på ca. 50% ved behandling af lerjord. Merforbruget skyldes for det første, at der ved behandling af lerjorden er recirkuleret behandlet jord for at få jorden til at flyde gennem fødearrangementet. Hertil kommer antageligvis, at lerjordens tendens til at klumpe betyder en langsommere varmeoverførsel ind i jorden.

Anlæggets produktivitet er derimod ikke påvirket nævneværdigt af den ændrede jordtype. Produktiviteten har ved begge forsøgskørsler ligget i størrelsesordenen 8-9 ton pr. time.

6.2 Behandlingens effekt på jordens forureningsgrad

For begge jordtyper har anlægget vist rensningsgrader på mere end 96% for såvel olie- som tjærekomponenter, og begge jordtyper overholder efter termisk behandling de gældende jordkvalitetskriterier.

Indholdet af tungmetaller før og efter behandling er undersøgt i den forurenede fyldjord. Indholdet af kviksølv reduceres med godt 95% som følge af afdampning.

Undersøgelser af jordens indhold af tungmetaller før og efter behandling viser en tilsyneladende markant stigning i indholdet af bly. Det har ikke været muligt at identificere årsagen til denne stigning, men det anses for sandsynligt, at en den observerede stigning kan tilskrives et u hensigtsmæssigt valg af oplukningsmetode for de udførte analyser. Medvirkende årsager kan være afsmitning af bly fra selve behandlingsanlægget og/eller afsmitning fra det anvendte prøvetagningsudstyr.

Frigivelse af tungmetaller fra fyldjorden er undersøgt ved udvaskningstest udført på prøver udtaget både før og efter termisk behandling.

Udvaskningen af arsen forøges næsten med en faktor 3 som følge af behandlingen. Den forøgede arsen-udvaskning skyldes antageligvis en observeret stigning i den behandlede jords pH-værdi.

Udvaskningen af alle øvrige tungmetaller reduceres signifikant ved den termiske behandling. Effekten er størst på udvaskningen af zink, som reduceres med 97%, mens effekten er mindst for cadmium, hvor udvaskningen reduceres med 37%. Reduktionen i udvaskningen af disse tungmetaller skal forventeligt tilskrives forandringerne i jordens struktur, hvor

den termiske behandling medfører tilsodning og sammenkitning af jordpartiklerne, hvilket reducerer stofudvekslingen mellem væske og partikeloverflade. Udvaskningen over en længere tidshorisont er søgt modelleret ved et kolonneudvaskningsforsøg. Dette forsøg indikerer, at reduktionen i tungmetaludvaskningen er, om ikke permanent, så i det mindste blivende over længere tid.

6.3 Behandlingens generelle effekt på jorden

Den termiske behandling har en markant effekt på jordens udseende og fysiske struktur.

Der er observeret en gennemgribende sodsværtning af partiklerne i jordmatricen og analyser af jordens kornstørrelsesfordeling viser et fald i jordens indhold af fine ler- og siltpartikler. Der er ved mikroskopiering ikke observeret forandringer i lerpartiklernes mineralstruktur hvorfor ændringerne i kornstørrelsesfordelingen antageligvis skyldes, at sodsværtningen muliggør aggregeringsdannelse mellem de ellers negativt ladede lerpartikler.

Der måles et fald i jordens evne til at binde positive ioner, idet kationbytningskapaciteten, CEC, reduceres signifikant. At udvaskningen af tungmetaller fra jorden til trods herfor falder kan derfor tilskrives den gennemgribende sodsværtning, som må forventes at nedsætte den hastighed, hvormed ionbytningen på partikeloverfladen finder sted.

Jordens geotekniske egenskaber forandres ikke grundlæggende som følge af den termiske behandling. Der ses en stigning i den komprimerede jords rumvægt, men samtidig synes jordens evne til at binde vand at blive reduceret.

6.4 Miljøvurdering af termisk desorption

Miljøbelastningerne ved den termiske desorption primært forbundet til et meget stort energiforbrug, som dels medfører tæring på ressourcerne af olie, gas og kul, dels i høj grad bidrager til en række globale og regionale miljøeffekter, som f.eks. drivhuseffekt.

Set fra et miljømæssigt perspektiv må det generelt for termisk behandling af forurenede jord anbefales, at metoderne kun tages i anvendelse, når der er en åbenlys samfundsmæssig gevinst ved det, dvs. når der er tale om forurenede jord, som ikke kan behandles på mere ressourcebesparende vis, og når oprensningens resultatet samtidig er så godt, at den behandlede jord reelt får en brugbar anvendelse.

De her gennemførte forsøg med termisk jordbehandling har dog resulteret i et, udfra et anvendelsesmæssigt synspunkt, veldefineret og homogent produkt, hvor indholdet af carcinogene PAH-forbindelser er nedbragt væsentligt og hvor frigivelsen af tungmetaller til porevandet generelt er reduceret. Den termisk behandlede jord må derfor anses for velegnet til visse anlægstekniske formål, hvor anvendelsen sker under velkontrollerede forhold, og hvor den efterfølgende arealanvendelse ikke er sensitiv.

6.5 Økonomisk vurdering af termisk desorption

Jordrensning ved termisk desorption er for dette anlæg kalkuleret til et omkostningsniveau i størrelsesordenen 775 kr. pr. ton.

Der er i driftsperioden registreret et forbrug af fyringsolie svarende til en omkostning på ca. 250 kr pr. ton. Det bemærkes, at olieforbruget under forsøgskørslerne har varieret med ca. 50% afhængigt af behandlet jordtype, ligesom prisen på fyringsolie i driftsperioden har varieret med ca. 15%. Behandlingsprisen på anlægget vil derfor være meget følsom overfor jordtype, vandindhold og de aktuelle energipriser.

Om end mulighederne for at genanvende den tungmetalforurenede fyldjord forbedres ved den termiske behandling, skønnes jorden ikke at have fået en egentlig kommerciel værdi. En markant reduktion i udvaskningen af visse tungmetaller modsvares af en stigning i arsen-udvaskningen, og jorden skal fortsat behandles som såkaldt kategori 3-jord jf. Miljøstyrelsens bekendtgørelse om genanvendelse af jord og restprodukter.

7 Referencer

1. Miljørigtig oprensning af jord og grundvand. CD med beskrivelse og regneark. Udarbejdet af Banestyrelsen under EUs LIFE-program. Udgivet 2000.
2. Federal Remediation Technologies Roundtable; Pyrolysis http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4_28.html. 1. marts 2001.
3. Miljøkontrollen: Miljøteknisk vurdering af Semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg (METTS), Kraftværksvej 31, 2300 København S. 5. oktober 2000.
4. Huang, H., Buekens, A. (1995): On the Mechanisms of Dioxin Formation in Combustion Processes. Chemosphere, Vol. 31, No. 9, pp. 4099-4117, 1995
5. Appelo, C. A. J. & Postma, D.: Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema. 1996.
6. Amterne på Sjælland og Lolland-Falster samt Frederiksberg og Københavns Kommuner: Vejledning i håndtering af forurenede jord. 2000.
7. RGS 90. Resultatet af tidligere analyser.
8. Miljøstyrelsen: Oprydning på forurenede lokaliteter. Vejledning fra Miljøstyrelsen. Nr. 6, 1998.
9. Miljøstyrelsen: Kemiske stoffer opførelse i jord og grundvand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen. Nr. 20, 1996.
10. Miljø- og Energiministeriet: Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Bek. nr. 667 af 27. juni 2000.
11. UMIP - Udvikling af miljøvenlige industriprodukter. Metoden er beskrevet i Wenzel, H., M. Hauschild & E Rasmussen: Miljøvurdering af produkter. EDB-programmet er udviklet af Institut for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet, for Miljøstyrelsen og Dansk Industri i samarbejde med Bang & Olufsen A/S, Danfoss A/S, Gram A/S, Grundfos A/S og KEW Industri A/S
12. Miljøstyrelsen. Kortlægning af miljøbelastningen ved en families aktiviteter. Arbejdsrapport nr. 26, 1996.
13. Danmarks Statistik. Forbruget af drikkevand 1998. Miljø og energi 2000:3.
14. Miljøstyrelsen. Naturlig nedbrydning af PAH'er i jord og grundvand. Miljøprojekt nr. 582, 2001.

15. Wilson, S. C. & K. C. Jones. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. *Environmental Pollution*, 81 (1993): 229-249.
16. EPA 510-B-94-003; How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. Chapter VI: Low-Temperature
17. Thermal Desorption. <http://www.epa.gov/OUST/pubs/>
18. Gustafsson, Ö & Gschwend, P. M.: Soot as a strong partition medium for polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic systems. In: *Molecular markers in environmental geochemistry*. Ed, Eganhouse, R. P. ACS Symposium Series 671, American Chemical Society, Washington, DC. 1997.
19. Amternes Videncenter for Jordforurening: Interferenser ved bestemmelse af olie i jordprøver. *Teknik og Administration*. Nr. 2. 2001.
20. Amdur, M. O., Doull, J. & Klaassen, C. D.: *Casarett and Doull's Toxicology. The basic science of poisons*. Fourth edition. McGraw-Hill, Inc. 1991.
21. US EPA: *Remediation Technology Cost Compendium – Year 2000*. EPA-542-R-01-009. September 2001.

Prøveudtagning: Omfang, metoder og analyseprogram

Prøvepunkt nr.	Beskrivelse	Metode	Emballering	Prøvefrekvens	Prøveantal (i alt)
1.	Jord før termisk behandling.	Batch 1: Efter harpning flyttes jorden i lager med gummiged. Prøven udtages fra grabben.	Ca. 10 kg. prøve emballeres i plastpose, som lukkes med posebinder	For hver ca. 10 ton	Ca. 30
			Delprøver emballeres i: - 2 stk. 100 ml red-cap glas (halvt fuld) - 1 TS-pose (ca. 50 g) - Rilsanpose (ca. 2 kg) - 2 stk. rilsanposer (à hhv. ca. 0,5 og 2,0 kg) - Proctorpose (ca. 5 kg)	For hver ca. 30 ton	15
		Batch 2: Prøven udtages direkte fra båndet, som fører jorden fra soldet til stakken	Ca. 10 kg. prøve emballeres i plastpose, som lukkes med posebinder	For hver ca. 10 ton	Ca. 30
			Delprøver emballeres i: - 2 stk. 100 ml red-cap glas (halvt fuld) - 1 TS-pose (ca. 50 g) - Rilsanpose (ca. 2 kg) - 2 stk. rilsanposer (à hhv. ca. 0,5 og 2,0 kg) - Proctorpose (ca. 5 kg)	For hver ca. 30 ton	15

2.	Jord efter termisk behandling og køling/befugtning	Prøven (i alt ca. 10 kg) udtages direkte fra bånd med skovl og overføres til metalspand). Emballeres efter afkøling.	Ca. 10 kg. prøve emballeres i plastpose, som lukkes med posebinder	For hver ca. 45 min. Første prøve efter ca. 30 min.'s drift	Ca. 30
			Batch 1: Delprøver emballeres i: - 2 stk. 100 ml red-cap glas (halvt fuld) - 1 TS-pose (ca. 50 g) - Rilsanpose (ca. 2 kg) - 2 stk. rilsanposer (à hhv. ca. 0,5 og 2,0 kg) - Proctorpose (ca. 5 kg)	For ca. 135 min.	10
			Batch 2: Delprøver emballeres i: - 2 stk. 100 ml red-cap glas (halvt fuld) - 1 TS-pose (ca. 50 g)	For hver ca. 135 min.	10
Prøvepunkt nr.	Beskrivelse	Metode	Emballering	Prøvefrekvens	Prøveantal (i alt)
3.	Filterstøv	Batch 1: Prøven udtages i metalspand fra ventil under snegl fra posefiltre. Emballeres efter afkøling. Massestrømmen registreres ved vejning af spanden før og efter prøveudtagning	- Rilsanpose (ca. 200 g)	Batch 1: Efter ca. 12 og 24 timers drift	2

		Batch 2: Ingen prøver			
4.	Returvand fra scrubber 1	Batch 1: Prøven udtages fra rør ved åben reservoirtank. Prøven udtages direkte i flasken. Massestrømmen registreres (spørg på anlægget)	- 1 liter red cap-flaske	Batch 1: Efter ca. 12 og 24 timers drift	2
		Batch 2: Ingen prøver			
5.	Overskudsvand fra scrubber 2	Batch 1: Prøven udtages fra ventil ovenpå punpe, som står ved scrubberen Massestrømmen registreres (spørg på anlægget)	- 1 liter red cap-flaske	Batch 1: Efter ca. 12 og 24 timers drift	2
		Batch 2: Ingen prøver			
7.	Vandforbrug	Målerbrønd ved vej	Aflæsning	Ved opstart og ved afslutning (24 timer)	
8.	El-forbrug	? (spørg på anlægget)	Aflæsning	Ved opstart og ved afslutning (24 timer)	
9.	Olieforbrug	? (spørg på anlægget)	Aflæsning	Ved opstart og ved afslutning (24 timer)	

Prøvenummerering:

Sagnummer-batchnr.-prøvestednr.-løbenummer

Eksempel: 1512001-B1-1-10 (Prøve nr. 10 af batch nr. 1 før termisk behandling)

Rapport:

Skema med prøvenummer, prøveudtagningstidspunkt og bemærkninger. Aflæsning af vand, el olie og ovennævnte massestrømme.

Prøveopbevaring:

Proctorposer m. 10 kg prøve opbevares i container på pladsen (nøgle hos Hovedstadens Jordrens)

Red cap-glas, TS poser mv. *markeret med kursiv* efterlades og håndteres efterfølgende af Hovedstadens Jordrens

Øvrigt prøvemateriale afleveres i Teknikerbyen

Sikkerhed:

Husk sikkerhedssko, hjelm, handsker og åndedrætsværn med partikelfilter (til brug ved udtagning af filterstøv)

Oversigt over prøve- og analyseprogram

Parameter	Prøvepunkt	Medie	Batch 1	Batch 2
Total kulbrinter fraktionering <C ₁₀ , C ₁₀ -C ₂₅ og >C ₂₅	1	Jord	15	15
	2	Jord	10	10
7 PAH'er (som MST-vejledning)	1	Jord	15	15
	2	Jord	10	10
Tungmetaller: As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn	1	Jord	15*	15
	2	Jord	10*	10
	3	Filterstøv	2	
	4	Returvand fra scrubber 1	2	
	4	Overskudsvand fra scrubber 2	2	
Batch udvaskningstest (eluat): Cl, SO ₄ , pH samt Na, As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni og Zn	1	Jord	15	
	2	Jord	10	
Kolonne udvaskningstest: Cl, As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Na, Ni, Zn, pH, ledningevne	2	Jord	1	
Sigtekurve	1	Jord	10	5
	2	Jord	5	
Vandindhold (TS)	1	Jord	15	15
	2	Jord	10	10
Komprimeringsforsøg	1	Jord	10	
	2	Jord	7	
Kemiske parametre: Carbonatindhold, CEC**, pH****, Total kulstof, Na ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺	1	Jord	10	
	2	Jord	5	
Jordstruktur: Tyndslib	1	Jord	2	
	2	Jord	2	
Sod-analyse GC-MS full scan	2	Jord	1	1
Partikler: CO, CO ₂ , NO _x , SO ₂ , HCl, HF, Pb, Cd, Hg samt dioxiner	6	Røggas	1***	

*) Udføres som led i udvaskningstest

***) CEC: Kationbytningskapacitet

****) Udføres i forbindelse med egenkontrol for anlægget

*****) Her er foretaget dobbeltbestemmelse

Prøvepunkterne henviser til nummereringen på figur 2.1 i rapporten.

Analysemetoder

Parameter	Laboratorium	Analysemetode
Kulbrinter	AnalyCen	Ekstraktion med pyrophosphat i vand og pentan. Identifikation ved GC-FID. (Internt nr. KG.22A)
PAH'er	AnalyCen	Ekstraktion med pyrophosphat i vand og toluen. Identifikation ved GC-MS. (Internt nr. KG.17)
Batch udvaskningsforsøg	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	CEN prEN 12457-3 draft
Cl ⁻	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	DS 239
As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Na, Ni, Zn i eluat	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	EPA 200.8 ICP-MS
Hg i eluat	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	DS/EN 1483
As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zi i fast stof	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	DS 259 + SM3120/92
Hg i fast stof	Miljølaboratoriet Storkøbenhavn	DS 259 + DS/EN 1483
Kornkurver	RAMBØLL	DS 405.8 + DS 405.9
Standard Proctorforsøg	RAMBØLL	VD 611, Statens Vejlaboratorium 1969
TOC	Danmarks Jordbrugsforskning	Total kulstof efter Ter Meulen. Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Plantedirektoratet 1994.
pH-CaCl ₂	Danmarks Jordbrugsforskning	pH (CaCl ₂). Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Plantedirektoratet 1994.
CaCC ₃	Danmarks Jordbrugsforskning	Calciumcarbonat. Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Plantedirektoratet 1994.
Tot. CEC, Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺	Danmarks Jordbrugsforskning	C.E.C. (total, alle jordtyper). Kalra Y.P. and Maynard D.G. 1991. Methods manual for forest soil and plant analysis. Informations Report NOR-X-319, Nordvest Region, Canada. Pg. 84-85.
Tyndslib	GEUS	Beskrevet i bilag 6
Analyser af røggas	Miljøkemi	Beskrevet i bilag 9
Kolonne udvaskningsforsøg	DHI	Nordtest NT ENVIR 002
As, Cd, Pb	DHI	Eurofins metode nr. M-ICPMS-01
Na, Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn	DHI	Eurofins metode nr. F06-123
Hg	DHI	Eurofins metode nr. M-ICP-AES-3
Cl ⁻	DHI	DS 239:1984
GS-MS full scan	Miljølaboratoriet Milana	Ekstraktion med pyrophosphat i vand og pentan. Identifikation ved GC-MS. (Internt nr. AK141)

Metodebeskrivelse og resultater af statistisk databehandling

Der er for de indsamlede data udført statistiske tests for om forskellige variable kan antages at være ens før og efter behandlingen i jordbehandlingsanlægget.

FORDELING

For at dette er muligt, er det vigtigt at tage stilling til, hvilken fordeling data tilhører. Denne vurdering er foretaget på baggrund af optegning af histogrammer, beregning af middelværdi, spredning og medianværdier samt generel vurdering af variablen.

I tabel 1 kan ses, hvilke fordelinger de undersøgte variable forventes at tilhøre, her enten normal- eller logaritmisk normalfordeling. Desuden er angivet, hvorledes middel i de målte tal vil blive angivet.

Variable i normalfordelingen vil blive beskrevet ved hjælp af gennemsnittet for målingerne, mens variable i lognormalfordelingen vil blive beskrevet ved hjælp af medianværdien for målingerne. Årsagen til at medianværdien angives her er, at et gennemsnit i enheden ln(mg/kg TS) ikke er let at anvende som sammenligningsgrundlag.

TABEL 1: ANGIVELSE AF ANTAGET FORDELING.

VARIABEL	FORDELING	MIDDEL
SAMTLIGE TUNGMETALLER	LOGNORMAL	MEDIAN
SAMTLIGE TJÆREKOMPONENTER	LOGNORMAL	MEDIAN
SAMTLIGE OLIEKOMPONENTER	LOGNORMAL	MEDIAN
SAMTLIGE UDVASKEDE METALLER	LOGNORMAL	MEDIAN
TOTAL KULSTOF	LOGNORMAL	MEDIAN
pH	NORMAL	GENNEMSNIIT
CaCO ₃	LOGNORMAL	MEDIAN
Ca ⁺⁺	NORMAL	GENNEMSNIIT
K ⁺	NORMAL	GENNEMSNIIT
Mg ⁺⁺	NORMAL	GENNEMSNIIT
Na ⁺	NORMAL	GENNEMSNIIT
SAMTLIGE GEOTEKNISKE DATA	NORMAL	GENNEMSNIIT
TØRSTOF	NORMAL	GENNEMSNIIT

HYPOTESE

De udførte statistiske test tester hypotesen: Forskellen mellem gennemsnits-koncentration før behandling og efter behandling antages at være 0 under hensyntagen til spredning.

Resultatet af et sådant test er en p-værdi. Er p-værdien under 5% må hypotesen forkastes, hvilket svarer til, at forskellen mellem før og efter behandlingen ikke antages at være 0. Det vil sige, at de to testede gennemsnitskoncentrationer ikke kan antages ens. Er p-værdien over 5% må hypotesen accepteres og forskellen mellem før og efter behandling kan antages at være 0.

RESULTATER

Resultatet af sådanne tests ses i de nedenstående tabeller. I tabellerne er angivet navn på testet variabel, tidspunkt, batch nummer, antal prøver, angivelse af middel enten i for af gennemsnit eller medianværdi og gennemsnit i logaritmisk normalfordeling, spredning og p-værdi fremkommet ved test af den ovenstående hypotese.

Der er enten testet om en variabel kan antages at være ens til to tidspunktet eller i to batches. Dette fremgår af anden kolonne i tabellerne.

TABEL 2: OLIE- OG TJÆREKOMPONENTER, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTAL	MEDIAN (MG/KG TS)	GENNEMSNI (LN(MG/KG TS))	SPREDNING (LN(MG/KG TS))	P-VÆRDI
TOTAL KULBRINTER	1	15	3900	8,15	0,62	
	2	10	6,1	1,49	0,91	< 0,0001
C ₅ -C ₁₀	1	15	15	2,66	0,62	
	2	10	< D.G.	0,22	0	< 0,0001
C ₁₀ -C ₂₅	1	15	2500	7,63	0,65	
	2	10	6,1	1,70	0,60	< 0,0001
C ₂₅ -C ₃₅	1	15	1400	7,24	0,60	
	2	10	< D.G.	2,53	0	< 0,0001
FLUORANTHEN	1	15	2,5	1,07	0,53	
	2	10	0,0895	-2,40	0,70	< 0,0001
BENZ(B+J+K)FLUORANTHEN	1	15	2,9	1,19	0,33	
	2	10	0,0445	-2,75	1,08	< 0,0001
BENZ(A)PYREN	1	15	1,6	0,57	0,34	
	2	10	0,021	-3,69	1,64	< 0,0001
INDENO(1,2,3-CD)PYREN	1	15	1	0,15	0,42	
	2	10	0,0285	-3,39	1,49	< 0,0001
DIBENZ(A,H)ANTRANCEN	1	15	0,23	-1,40	0,36	
	2	10	< D.G.	-4,90	0,68	< 0,0001
SUM 7 PAH'ER	1	15	8,5	2,25	0,40	
	2	10	0,18	-1,48	1,05	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 3: OLIE- OG TJÆREKOMPONENTER, BATCH 2

	TIDSPUNKT	ANTAL	MEDIAN	GENNEMSIT (LN(MG/KG TS))	SPREDNING (LN(MG/KG TS))	P-VÆRDI
TOTAL KULBRINTER	1	15	650	6,31	0,45	
	2	10	< D.G.	0,22	0	< 0,0001
C ₅ -C ₁₀	1	15	3,45	0,48	0,46	
	2	10	< D.G.	0,22	0	0,0424
C ₁₀ -C ₂₅	1	15	300	5,54	0,62	
	2	10	< D.G.	0,92	0	< 0,0001
C ₂₅ -C ₃₅	1	15	280	5,66	0,36	
	2	10	< D.G.	2,53	0	< 0,0001
FLUORANTHEN	1	15	1,1	0,27	0,61	
	2	10	0,011	-4,15	0,74	< 0,0001
BENZ(B+J+K)FLUORANTH EN	1	15	1,3	0,35	0,48	
	2	10	< D.G.	-5,07	0,73	< 0,0001
BENZ(A)PYREN	1	15	0,76	-0,21	0,51	
	2	10	< D.G.	-5,20	0,33	< 0,0001
INDENO(1,2,3-CD)PYREN	1	15	0,43	-0,69	0,49	
	2	10	< D.G.	-5,30	0	< 0,0001
DIBENZ(A,H)ANTRACEN	1	15	0,11	-2,15	0,46	
	2	10	< D.G.	-5,30	0	< 0,0001
SUM 7 PAH'ER	1	15	4,3	1,58	0,76	
	2	10	0,0145	-4,10	0,88	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 4: TUNGMETALLER, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTA L	MEDIAN (MG/KGTS)	GENNEMSIT (LN(MG/KG TS))	SPREDNING (LN(MG/KG TS))	P-VÆRDI
BF ARSEN	1	15	7,1	1,96	0,18	
	2	10	7,1	1,94	0,11	0,7413
BF BLY	1	15	300	5,90	0,63	
	2	10	555	6,30	0,14	0,0298
BF CADMIUM	1	15	1,4	0,38	0,18	
	2	10	1,55	0,48	0,14	0,1397
BF CHROM	1	15	30	3,42	0,27	
	2	10	30,5	3,41	0,09	0,958
BF KOBBER	1	15	440	6,14	0,41	
	2	10	345	5,92	0,25	0,1042
BF KVIKSØLV	1	15	1,2	0,21	0,20	
	2	10	0,055	-2,79	1,10	< 0,0001
BF NIKKEL	1	15	22	3,10	0,09	
	2	10	24	3,20	0,07	0,0031
BF ZINK	1	15	770	6,68	0,21	
	2	10	700	6,53	0,10	0,0354

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 5: TUNGMETALLER, BATCH 2

	TIDSPUNKT	ANTA L	MEDIAN (MG/KGTS)	GENNEMSIT (LN(MG/KG TS))	SPREDNING (LN(MG/KG TS))	P-VÆRDI
BF ARSEN	1	15	1,90	0,72	0,29	
	2	10	2,65	0,99	0,14	0,0028
BF BLY	1	15	26	3,33	0,35	
	2	10	47	3,84	0,34	0,0007
BF CADMIUM	1	15	0,20	-1,57	0,45	
	2	10	0,28	-1,18	0,36	0,013
BF CHROM	1	15	9,2	2,25	0,18	
	2	10	9,6	2,25	0,05	0,49
BF KOBBER	1	15	18	2,95	0,33	
	2	10	19,5	2,93	0,13	0,42
BF KVIKSØLV	1	15	0,095	-2,22	0,55	
	2	10	0,009	-4,34	0,99	< 0,0001
BF NIKKEL	1	15	8,4	2,14	0,13	
	2	10	8,35	2,12	0,07	0,33
BF ZINK	1	15	78	4,49	0,44	
	2	10	95,5	4,73	0,46	0,11

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 6: UDVASKNING AF METALLER, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTA L	MEDIAN (X/L)	GENNEMSIT (LN(X/L))	SPREDNING (LN(X/L))	P-VÆRDI
CHLORID (MG/L)	1	15	59	4,05	0,46	
	2	10	120	4,81	0,06	< 0,0001
ARSEN (µG/L)	1	15	5	1,58	0,13	
	2	10	14	2,67	0,06	< 0,0001
BARIUM (µG/L)	1	15	81	4,38	0,14	
	2	10	85,5	4,44	0,06	0,1493
BLY (µG/L)	1	15	1,9	0,89	0,77	
	2	10	0,24	-1,46	0,42	< 0,0001
CADMIUM (µG/L)	1	15	0,52	-0,64	0,18	
	2	10	0,325	-1,32	0,69	0,0128
CHROM (µG/L)	1	15	1,9	0,63	0,12	
	2	10	1	0,014	0,28	< 0,0001
KOBBER (µG/L)	1	15	38	3,64	0,32	
	2	10	11,5	2,29	0,65	< 0,0001
KVIKSØLV (µG/L)	1	15	-			
	2	10	-			
MANGAN (MG/L)	1	15	0,27	-1,40	0,86	
	2	10	0,00425	-5,39	0,68	< 0,0001
NATRIUM (MG/L)	1	15	68	4,15	0,39	
	2	10	170	5,05	0,20	< 0,0001
NIKKEL (µG/L)	1	15	23	3,07	0,26	
	2	10	5,25	1,53	0,40	< 0,0001
ZINK (µG/L)	1	15	120	4,70	0,40	
	2	10	3,2	1,14	0,23	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 7: TØRSTOF, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTA L	GENNEMSIT (%)	SPREDNING (%)	P-VÆRDI
TØRSTOF TS	1	15	98,08	0,71	
	2	10	93,67	0,88	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 8: TØRSTOF, BATCH 2

	TIDSPUNKT	ANTA L	GENNEMSIT (%)	SPREDNING (%)	P-VÆRDI
TØRSTOF TS	1	15	86,17	1,87	
	2	10	91,85	2,11	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 9A: ØVRIGE KOMPONENTER, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTAL	GENNEMSIT	SPREDNING	P-VÆRDI
PH (-)	1	20	7,72	0,06	
	2	10	9,11	0,34	< 0,0001
CA ⁺ (MÆKV/100G)	1	10	18,53	1,15	
	2	5	18,80	0,74	0,5984
K ⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,27	0,02	
	2	5	0,37	0,005	< 0,0001
MG ⁺⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,61	0,10	
	2	5	0,63	0,07	0,5273
NA ⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,62	0,15	
	2	5	1,37	0,35	0,0064
TOTAL CEC (MÆKV/100G)	1	10	6,35	0,55	
	2	5	3,89	0,30	< 0,0001

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 9B: ØVRIGE KOMPONENTER, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTAL	MEDIAN	GENNEMSIT (LN(G/100 G))	SPREDNING (LN(G/100 G))	P-VÆRDI
TOTAL KULSTOF	1	10	4,757	1,56	0,07	
	2	5	3,504	1,22	0,06	< 0,0001
CaCO ₃	1	10	8,15	2,08	0,13	
	2	5	8,15	2,11	0,04	0,6358

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 10A: ØVRIGE KOMPONENTER, BATCH 2 OG 1, FØR BEHANDLING

	BATCH	ANTAL	GENNEMSNI	SPREDNING	P-VÆRDI
PH (-)	1	20	7,72	0,06	
	2	10	7,94	0,75	0,0072
CA ⁺⁺ (MÆKV/100G)	1	10	18,53	1,15	
	2	5	20,86	7,97	0,5505
K ⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,27	0,02	
	2	5	0,19	0,09	0,1166
MG ⁺⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,61	0,10	
	2	5	0,28	0,04	< 0,0001
NA ⁺ (MÆKV/100G)	1	10	0,62	0,15	
	2	5	0,72	0,10	0,1341
TOTAL CEC (MÆKV/100G)	1	10	6,35	0,55	
	2	5	6,00	0,94	0,4744

TABEL 10B: ØVRIGE KOMPONENTER, BATCH 2 OG 1, FØR BEHANDLING

	BATCH	ANTAL	MEDIAN	GENNEMSNI LN(G/100G)	SPREDNING LN(G/100G)	P-VÆRDI
TOTAL KULSTOF	1	10	4,757	1,56	0,07	
	2	5	1,618	0,52	0,14	< 0,0001
CaCO ₃	1	10	8,15	2,08	0,13	
	2	5	6,1	1,84	0,11	0,0034

TABEL 11: GEOTEKNIK, BATCH 1

	TIDSPUNKT	ANTAL	GENNEMSNI	SPREDNING	P-VÆRDI
MIDDELKORNSTØRREL SE (MM)	1	10	0,462	0,3898	
	2	5	0,294	0,0555	0,212
UENSFORMIGHEDSTAL (-)	1	10	134,788	118,5561	
	2	5	34,278	4,99893	0,0314
LER (%)	1	10	6,455	1,3217	
	2	5	3,944	0,83317	0,0008
SILT (%)	1	10	14,82	2,3967	
	2	5	15,78	2,20159	0,46
SAND (%)	1	10	78,72	3,5904	
	2	5	80,26	2,51157	0,3553

1: Før behandling

2: Efter behandling

TABEL 12: GEOTEKNIK, BATCH 1 OG BATCH 2, FØR BEHANDLING

	BATCH	ANTAL	GENNEMSNI	SPREDNING	P-VÆRDI
MIDDELKORNSTØRREL SE (MM)	1	10	0,462	0,3898	
	2	5	0,2240	0,0937	0,0951
UENSFORMIGHEDSTAL (-)	1	10	134,788	118,5561	
	2	5	127,8740	23,2636	0,8624
LER (%)	1	10	6,455	1,3217	
	2	5	9,0380	1,8172	0,029
SILT (%)	1	10	14,82	2,3967	
	2	5	18,34	2,318	0,0244
SAND (%)	1	10	78,72	3,5904	
	2	5	72,64	4,0538	0,024

Miljøteknisk beskrivelse og Miljøgodkendelse

5. oktober 2000

MILJØTEKNISK BESKRIVELSE

af

Semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg (METTS),

Kraftværksvej 31, 2300 København S

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING

1.1 VIRKSOMHEDENS BELIGGENHED OG PLANFORHOLD

2. VIRKSOMHEDENS INDRETNING OG DRIFT

2.1 ETABLERING

2.2 INDRETNING

2.3 DRIFT

3. FORURENING OG FORURENINGSBEGRÆNSENDE FORANSTALTNINGER

3.1 LUFT

3.2 STØJ

3.3 JORD OG GRUNDVAND

3.4 SPILDEVAND

4. AFFALD

5. UHELD OG DRIFTSFORSTYRRELSER

Bilag:

1. Oversigt over området (1:5.000)
2. Indretningsplan (1:500)
3. Procesdiagram

1. INDLEDNING

Hovedstadens Jordrens as har med skrivelse af 7. juli 1999 fremsendt ansøgning om godkendelse af driftsmæssig udvidelse med et forsøg med semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg opstillet på oplagsplads på Kraftværksvej 31, 2300 København S. Ansøgningen er indgivet i henhold til § 33, stk. 1, i Miljø- og Energiministeriets Lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998.

Modtage- og oplagspladsen er omfattet af listepunkt K 1a) i bilag 1 til Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 807 af 25. oktober 1999: *Anlæg der nyttiggør farligt affald¹ efter en af metoderne R1, R5, R6, R8, R9, som nævnt i bilag 6B til affaldsbekendtgørelsen², med en kapacitet på mere end 10 tons pr. dag.* (i)(a).

Modtage- og oplagspladsen er godkendt efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 5 på vilkår fastsat af Miljøkontrollen den 24. maj 1996.

Ansøgningen begrundes i vilkår 13 i virksomhedens godkendelse af 24. maj 1996. I henhold til dette vilkår kan virksomheden foretage mindre jordrensningsforsøg med maksimalt 100 tons jord ad gangen, såfremt denne jord må modtages, og den foretagne behandling ikke giver anledning til forøget forurening.

Idet behandlingsforsøget med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg er planlagt til at behandle ca. 20.000 tons forurenede jord, ligger det aktuelle forsøg med det termiske anlæg udenfor rammerne af godkendelsen.

Forsøget påregnes at ville strække sig over en periode på maksimalt ½ år incl. opstilling og nedtagning af anlægget.

1.1 Virksomhedens beliggenhed og planforhold

Hovedstadens Jordrens as' oplagsplads er et ca. 10.000 m² stort umatrikuleret areal, beliggende på adressen Kraftværksvej 31, 2300 København S, jf. bilag 1.

Oplagspladsen er beliggende på en halvø i Københavns Østhavn. Halvøen er fremkommet ved opfyldning.

Oplagspladsen ligger i umiddelbar tilknytning til matriklerne 536 og 544 og det umatrikulerede Magrethholm, Amagerbro Kvarter, i et industrikvarter, hvor de nærmeste virksomheder er I/S Amagerforbrænding, Amagerværket, Renholdningsselskabet af 1898 og Optiroc. Oplagspladsens placering fremgår af bilag 1.

Der er ingen boligbebyggelser indenfor en radius af 1 km. Syd for i en afstand af ca. 500 meter ligger kolonihaveforeningerne ved Forlandet, vest for i en afstand af 200–600 meter ligger Margrethholm, hvor der er etableret en midlertidig flygtningelejr, og nord for i en afstand af 200–300 meter ligger en lystbådehavn, som tilhører Sejlklubben Lynetten.

Oplagspladsen er beliggende i et område, der er omfattet af Københavns Kommunes lokalplan nr. 65. Halvøen er udlagt til offentlige tekniske anlæg som område med lokaliseringsmulighed for virksomhed, hvortil der af hensyn til forebygelse af forurening stilles særlige beliggenhedskrav.

¹ Farligt affald som defineret i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 299 af 30. april 1997 om affald.

² Miljø og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 299 af 30. april 1997 om affald.

2. VIRKSOMHEDENS INDRETNING OG DRIFT

2.1 Etablering

Det semi-mobile termiske jordbehandlingsanlæg (METTS) ønskes opstillet og sat i drift den 1. november 2000.

Der vil ikke forekomme anlægsarbejder, da jordbehandlingsanlægget opstilles på den eksisterende oplagsplads på Kraftværksvej. Forsøgsperioden forventes maksimalt at udgøre 6 måneder incl. opstilling og nedtagning af anlægget.

Virksomhedens indretning fremgår af situationsplanen dateret 18. august 1999 - bilag 2.

2.2 Indretning

Oplagspladsen udgør et areal på ca. 10.000 m² og er opbygget med membran- drænsystem samt betonbelægning i henhold til godkendelsen af 1996.

Mod vest og nord er pladsen afgrænset af en 3–3,5 meter høj vold af forurenede jord for at mindske støjgener i omgivelserne.

Pladsen er indhegnet, og der er opstillet mindre skurvogne med toilet, vaske- og omklædningsfaciliteter.

Det semi-mobile termiske jordbehandlingsanlæg opstilles på et delareal af oplagspladsen, hvilket fremgår af bilag 2.

Anlæggets indretning

Anlægget, der består af 34 enheder, er opbygget i containerstørrelser på 20 og 40 fod og dækker et areal på 25 x 30 meter. Anlægget indeholder følgende hovedkomponenter:

- Indføringstragt
- Rotérovn
- Røggasfiltre
- Efterforbrændingskammer
- Røggas-scrubber
- Skorsten
- Kontrolrum
- Mandskabsfaciliteter

Derudover vil der på oplagspladsen blive etableret et mindre færdigvarelager, forinden fraførsel af det behandlede materiale.

Indretning af det semi-mobile termiske jordbehandlingsanlæg fremgår af bilag 3.

2.3 Drift

Driftstid

På grund af fare for frostsprængninger ved drift i vinterperioden, vil anlægget være i drift i 24 timer i døgnet alle ugens 7 dage.

I tidsrummet 07.00–16.00 på alle hverdage vil modtagepladsen fungere normalt med modtagelse og frakørsel af forurenede/behandlet jord.

I tidsrummet derudover vil kun jordbehandlingsanlægget samt en gummihjulslæsser være i drift.

Driftsperiode

Jordbehandlingsanlægget vil blive opstillet og være i drift indenfor perioden 1. november til 1. marts 2001 og nedtages før slutningen af denne periode eller umiddelbart herefter. Med en gennemsnitlig kapacitet på 10–15 tons/time, vil selve driften af anlægget udgøre ca. 3–4 måneder.

Virksomheden oplyser, at personale fra Ecotechnik vil stå for driften af anlægget. Deres driftsmæssige erfaringsgrundlag ligger til grund for virksomhedens rekvirering af personale.

Termisk behandling

Behandlingen af jorden er baseret på, at organiske forureninger fordampes og nedbrydes ved opvarmning. Den forurenede jord skal opvarmes, så temperaturen overstiger kogepunktet for enhver af de indeholdte, forurenende stoffer for at sikre fordampning.

Anlæggets effektivitet er afhængig af temperatur og opholdstid for jorden i anlægget.

Virksomheden forventer, at den behandlede jord efter den termiske behandling kan genanvendes i f.eks. anlægsindustrien.

De fordampede materialer afbrændes i METTS'ens efterbrænder. Eventuelle rester af forurenende stoffer eller dele heraf nedbrydes eller udskilles i anlæggets røggasscrubber.

Jordforureningstyper og mængder

Følgende typer forurenede jord vil blive behandlet i anlægget:

- Jord forurenede med tungere olie	5.000 tons
- Jord forurenede med PAH'er	10.000 tons
- Jord forurenede med tungere olie, PAH og tungmetaller	5.000 tons

Den forurenede jord er allerede kontrolleret for type og koncentration af forurening.

På oplagspladsen er der på nuværende tidspunkt oplagret ca. 10.000 tons, medens de øvrige ca. 10.000 tons vil blive tilført pladsen og behandlet, når anlægget er i drift.

Beskrivelse af processer

På vedlagte procesdiagram er angivet numre. Herunder er en stikordsforklaring til hvert nummer, og en uddybende forklaring findes i de følgende afsnit:

2.4 Jjord- Flow

1. silo til forurenede jord
2. silo til ren jord
3. blanding af 1 og 2 ved transportbånd til skruetransportør
4. skruetransportør til rotérovn
5. rotérovn
6. støv tilbageføring til rotérovn
7. køling og befugtning af rensede jord
8. færdigvarelager

2.5 Røggas- Flow

9. røggas og afdampede materiale fra rotérovn
10. støvfiltrering af gasser fra rotérovn
11. varmeveksler ind/ud af efterbrænder
12. efterbrænder
13. opvarmning af forreste del af rotérovnen med efterbrænder røggas
14. gasscrubber til rensning af efterbrænderrøggas
15. skorsten

Jord flow

For at sikre en effektiv funktion af anlægget sorteres den forurenede jord inden indfødning. Plastik, metaller og træ er frasorteret jorden.

Ved hjælp af en frontlæsser fyldes en silo med den forurenede jord, som derfra går til anlægget. Ved indfødning er der ligeledes en silo til rensed jord, som anvendes ved start og stop af anlægget.

Jorden fødes ind i anlægget via en båndtransportør og en justérbar skruetransportør direkte ind i rotérovnen. Indfødningsarrangementet begrænser luftindtrængen til ovnen. Der er en integreret vægt i transportøren til overvågning af den indfødte jordmængde.

Rotérovnen er i to trin; med direkte og indirekte opvarmning.

I den forreste indirekte opvarmede del, forvarmes den forurenede jord med tidligere varmevekslede røggasser fra anlæggets efterbrænder, dog uden direkte kontakt mellem gas og jord. Således fordampes vand og letfordampelige stoffer fra den forurenede jord, og en nedbrydning af de sidste starter allerede her. For opløsningsmidler og oliebaseerede forureninger sker disse processer ved relativ lave temperaturer (200-350° C).

I den bageste direkte opvarmede del af rotérovnen opvarmes den forurenede jord med en åben flamme. Under ovnens rotation omrøres det forurenede materiale voldsomt og opvarmes intenst. Ved de høje temperaturer (350-600° C) fordampes PAH og andre tungere kulbrinter.

Anlægget er dimensioneret til at behandle 10-15 tons jord pr. time med et indgangsvandindhold på 10 %. Temperaturen på jorden kan under behandling justeres med gennemføringshastigheden og/eller justering af rotérovns brænder.

Ved udgangen fra rotérovnen måles og registreres jordtemperaturen. Den varmebehandlede jord forlader ovnen gennem et ventilarrangement for at forhindre luftindtrængning. Den behandlede jord køles med slammet fra vådprocessen, fugtes med vand for at begrænse støvgener, og forlader anlægget på en bæltetransportør med en temperatur på ca. 80° C. Der vil jævnligt blive taget prøver af den behandlede jord til analyse.

Gas flow

I rotérovnen dannes 3 slags gasser:

- røggas fra brændende olier
- damp fra tørring af jorden
- fordampede væsker og faste stoffer (eller komponenter heraf) fra den forurenede jord

Røggasser og fordampede stoffer frigjort i rotérovnen støvfiltreres, opvarmes i en varmeveksler og afbrændes i en oliefyret efterbrænder ved 850-1100° C, og hvor der - med turbulensforhold med et Reynoldstal på mellem 37.000 og 61.000, et luftoverskud >6 % og en opholdstid på mindst 2 sekunder - tilstræbes en optimal forbrænding til kultveilde og vand.

Efterbrænderens afgas varmeveksles med indgangsgassen og anvendes herefter som opvarmning i rotérovns forreste del, hvorefter den køles til det punkt, hvor der ikke længere afgives varme. For høje gastemperaturer kan nedbringes med vandindsprøjtning.

Processen

Jorden, som passerer anlægget, gennemgår to faser:

1. Tørring op til ca. 250° C
2. Fordampning, pyrolyse og delvis oxidation, 250-600° C

I den forreste del af rotérovnen tørres jorden, vandet fjernes fra den forurenede jord.

I den anden del af rotérovnen sker der fordampning af de sværere materialer og pyrolyse af organisk materiale. Det forventes, at alle forurenende stoffer undtagen tungmetaller fordampes fra jorden ved 600° C.

Røggasserne forlader rotérovnen ved 80–200⁰ C, primært afhængig af den forurenede jords vandindhold.

Støv bortfiltreres i et posefilter efter rotérovnen og genindføres i et støvforbrændingsanlæg, hvor temperaturen er ca. 400-425° C, for mere fuldstændig rensning ved fordampning af forurenende stoffer.

De fordampede materialer forbrændes i METTS'ens efterbrænder. Korrekt temperatur, opholdstid, turbulens og iltoverskud sikrer omdannelsen til CO₂ og H₂O.

Inden udledning passerer røggasserne en gasscrubber, der udskiller sure komponenter som HCL, HF og SO₂-forbindelser i det omfang, de måtte blive dannet. Hertil anvendes NaOH i vandopløsning. Vandet genanvendes som kølemiddel til den varme jord.

Røggasmængden under drift er ca. 14.000 Nm³/t.

Ressourcer

Til den termiske behandling af jorden anvendes olie. På anlægget er opstillet 3 olietanke, der hver rummer 14 m³. Tankene placeres i bakker til opsamling af eventuelle lækager.

Virksomheden vurderer, at den mest energieffektive behandlingsmetode er valgt - METTS'ens energiforbrug svarer til 20 kg olie pr. ton, mens en behandling af jorden på Kommunekemi i Nyborg vil forbruge ca. 21 kg olie pr. ton behandlet jord, og ved en biologisk behandling vil energiforbruget ligge mellem 15 og 25 kg olie pr. ton behandlet jord, og denne behandling vil tage mellem 3 til 6 år.

3. FORURENING OG FORURENINGSBEGRÆSENDE FORANSTALTNINGER

3.1 Luft

Skorstens emission

Virksomheden oplyser, at anlægget er konstrueret til at opfylde gældende emissionskrav.

Til ansøgningen er vedlagt emissionsmålinger udført på METTS'en under et oprensningsarbejde i Frankrig.

De fleste værdier for de målte stoffer ligger under EU's udkast til direktiv om affaldsforbrænding.

METTS anlægget har et kontinuerligt overvågnings- og styringssystem, som opereres fra styringskabinen.

Der anvendes en "OP SIS AR600 series multicomponent analyser". For skorstenen måles værdier for gasmængde, temperatur, ilt, SO₂, NO_x, CO og vand (beregnet). Andre værdier kan måles efter behov.

METTS-anlægget er designet til at minimere dannelsen af furaner og dioxiner ved de novo syntese efter forbrændingen.

Ved de novo syntesen dannes furaner og dioxiner under køleprocessen af efterbrænderens røggasser og fæstnes på støvpartikler.

Dannelsen forhindres ved, at:

- støvfiltere rotérovnenes røggasser før indføring i efterbrænderen
- temperaturen i efterbrænderen holdes over 1050° C
- bratkøle røggasserne fra efterbrænderen

Indhold af sure komponenter i røggasserne som HCL, HF og SO₂-forbindelser udskilles i gasscrubberen, inden luften afkastes.

3.2 Støv- og lugtgener

Støv- og lugtgener er forebygget ved at have proceselementer lukket inde, og ved at køre processen under undertryk.

Derudover er følgende tiltag planlagt:

- transport af jord i overdækkede lastbiler
- rensed jord bliver kølet og fugtet umiddelbart ved udgangen fra anlægget
- området omkring anlægget kan befugtes
- anlægget og området holdes rent

3.3 Støj

I forbindelse med drift af jordbehandlingsanlægget vil der fremkomme støj fra generatorer, kompressorer og ventilatorer samt fra gummihjulslæsser.

Der er ved designet af anlægget gjort mange overvejelser om støjreduktion, og forskellige lyddæmpere er indbygget i anlægget.

Støjmåling

En støjmåling er gennemført i Holland den 18. juni 1997, hvor anlægget var i midlertidig operation, og rapporten er vedlagt som bilag til ansøgningen.

Den registrerede støj inkluderer arbejde med frontlæsser (skovl på underlag) og lastbiler. Når disse aktiviteter ikke pågår, er støjniveauet mindre.

3.4 Resultaterne af støjmålingerne:

Distance til METTS (m)	Lydtryk dB(A)
280-320	45
180-215	50
120-145	55

3.5 Jord og grundvand

Anlægget er udstyret med forskellige foranstaltninger til opsamling af væskespild i selve anlægget.

Derudover placeres anlægget på et område, der er sikret mod nedsivningsskader fra jordforureninger, og videre tiltag skønnes af virksomheden at være unødvendige.

3.6 Spildevand

Drift af jordbehandlingsanlægget vil ikke give anledning til væsentlig ændring af mængde og sammensætning af perkolat i forhold til den nuværende godkendelse for oplagspladsen.

Spildevand fra gasscrubberen anvendes til køling af jorden, og der vil således ikke udledes spildevand fra processen.

4. AFFALD

Der forekommer kun affald fra anlægget ved den almindelige vedligeholdelse i form af olie ved olieskift af motorer m.v.

Olieaffald vil blive bortskaffet til Storkøbenhavns Modtagestation for Olie- og Kemikalieaffald I/S i henhold til gældende regler.

5. UHELD OG DRIFTSFORSTYRRELSER

Hvis en komponent fejler, stopper alle funktioner før den fejlrante komponent. Hvis rotérovnen fejler, stopper indfødningsen med forurenede jord. Hvis en brænder fejler, insprøjtes CO₂ i rotérovnen.

Anlægget arbejder med undertryk for at forhindre gasser i at undslippe til omgivelserne. Aktuelle tryk overvåges og styres fra anlæggets styringskabine.

Rotérovns brænder er justeret med iltunderskud, så der ikke er ilt til rådighed til antændelse af de fordampede materialer.

Rotérovnen er udstyret med en sikkerhedsventil, således kan uønskede høje tryk aflæses gennem den fjederbelastede ventil.

En 2800 kg CO₂ tank i anlægget kan insprøjte kultveilte under visse driftsforstyrrelser som f.eks. brænderfejl, overophedning eller brand i støvfilteret.

Anlæggets transportører er udstyret med nødstopfunktioner.

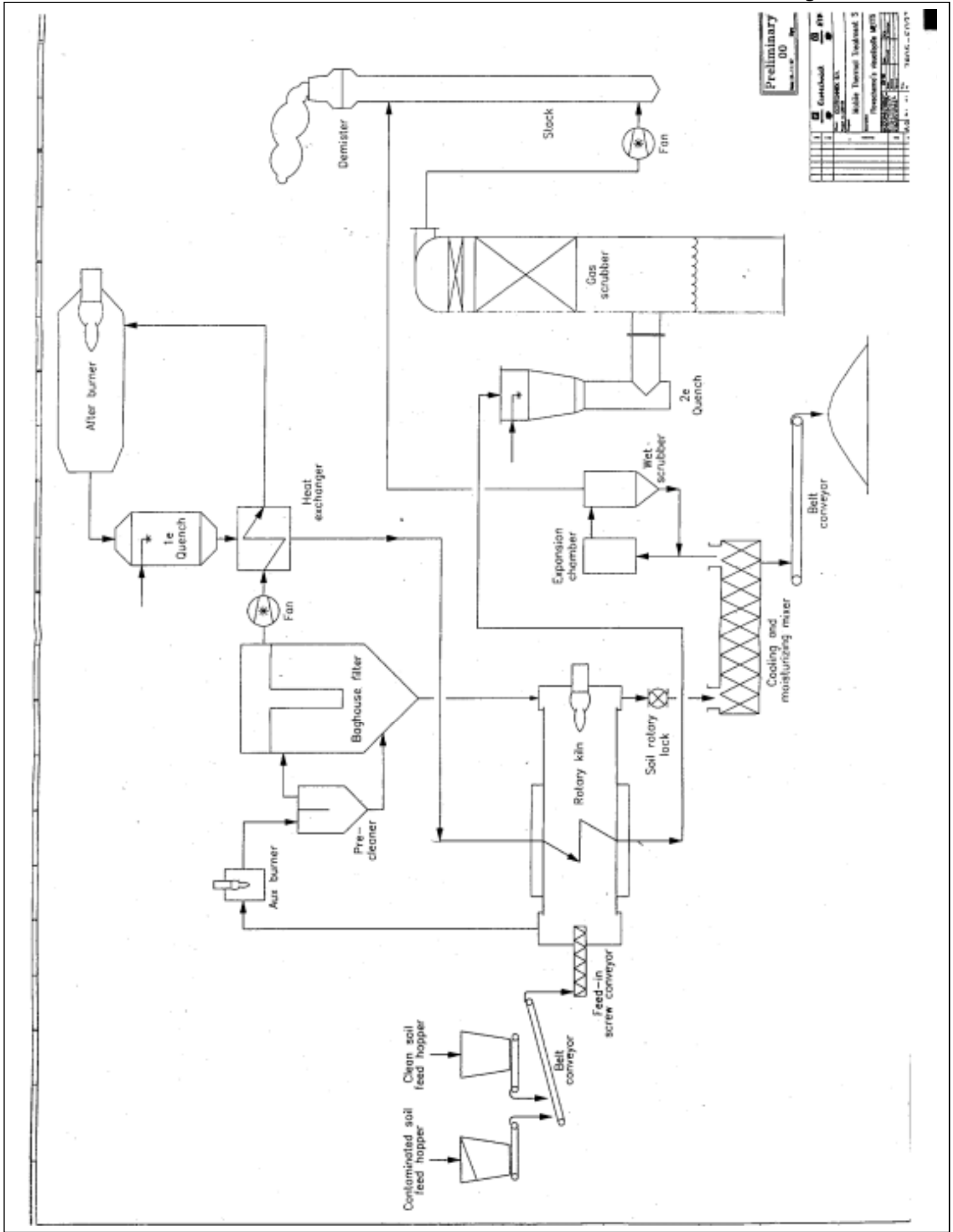
Thomas Johannesen

Miljøkontrollen
Flæsketorvet 68
DK-1711 København V

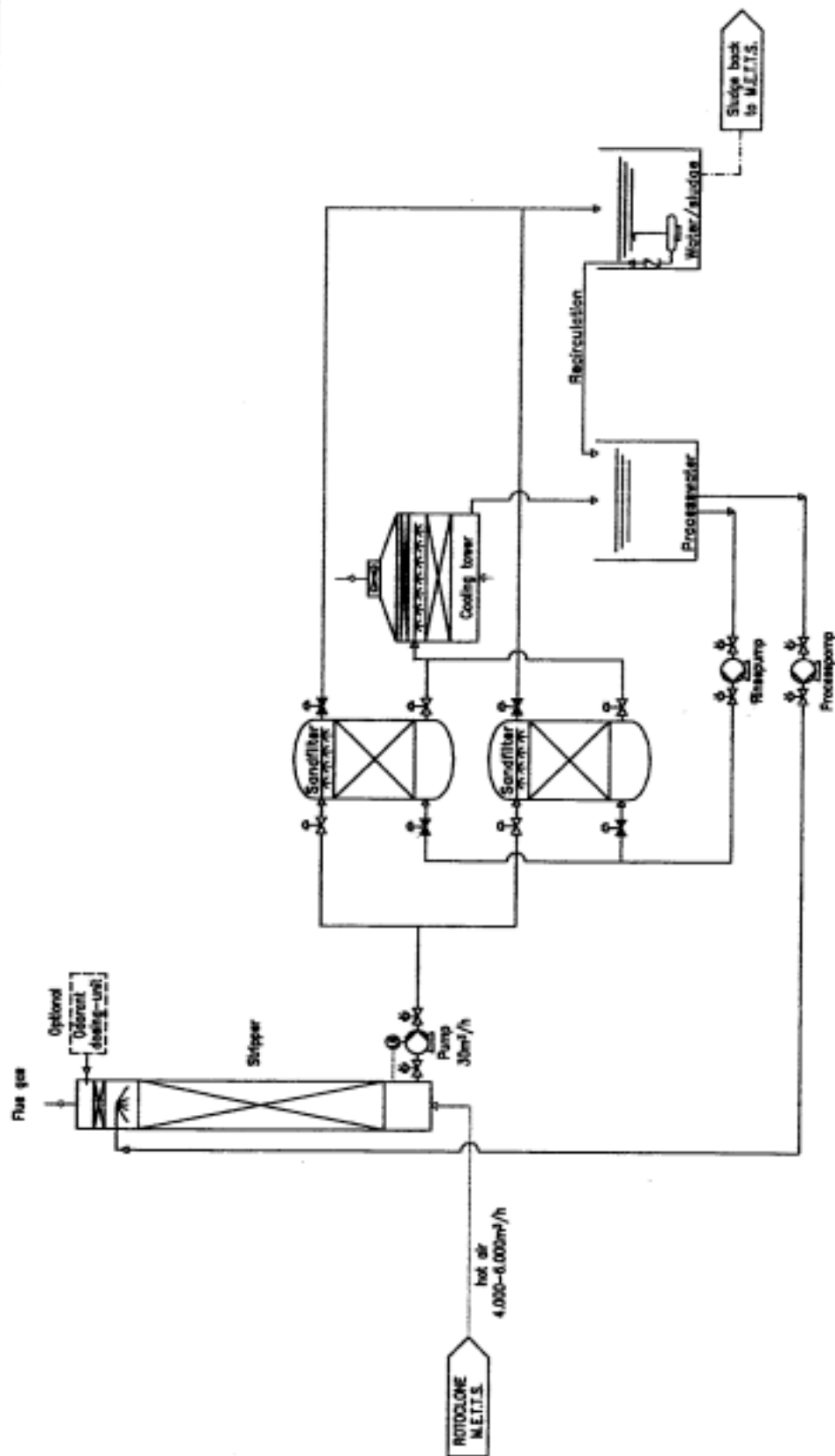
Telefon
33 66 58 00

Telefax
33 66 71 33

E-mail
miljoe@miljoe.kk.dk



Preliminary		00
1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15
16	17	18
19	20	21
22	23	24
25	26	27
28	29	30
31	32	33
34	35	36
37	38	39
40	41	42
43	44	45
46	47	48
49	50	51
52	53	54
55	56	57
58	59	60
61	62	63
64	65	66
67	68	69
70	71	72
73	74	75
76	77	78
79	80	81
82	83	84
85	86	87
88	89	90
91	92	93
94	95	96
97	98	99
100	101	102



Project: METTS DENMARK QUOTATION SMELL TREATMENT

Ordering/ing: FLOWCHART SMELL DECREASE UNIT

Item	Order No.	Quantity	Unit	Remarks
1	02319.Wa-F1	1	Set	Flowchart

02319.Wa-F1

Specifications:

Stripper (Lx) diameter tower: 1.25m height column packing: 3.5m packing: 3" PALL-rings counterflow capacity water: 30m³/h capacity air: 6.000m³/h	Sandfilter (Lx) filters are parallel connected diameter filter: 1.5m specification sand: 1.75-2.50mm connections: 3" parallel-connections possibility to retrofit sandfilter	Cooling tower (Lx) counterflow measurement (dism): 2800x1800x3075mm capacity: 1200kW maximum temperature: 80 deg Celsius height cooling tower: 920 mm capacity air: 12.5m³/sec (=4200m³/h) noise level: 66dB(A)	Buffer (Lx) Volume: 30m³/h material: steel	Processpump (Lx) Type: M1 42/11C material: cast iron
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

5. oktober 2000

MILJØTEKNISK VURDERING

af

Semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg (METTS),

Kraftværksvej 31, 2300 København S

INDHOLDSFORTEGNELSE:

1. INDLEDNING

2. VIRKSOMHEDENS BELIGGENHED OG PLANFORHOLD

3. DRIFT

4. LUFTFORURENING

5. STØJ

6. JORD OG GRUNDVAND

7. SPILDEVAND

8. AFFALD

9. UHELD OG DRIFTSFORSTYRRELSER

10. EGENKONTROL OG RAPPORTERING

11. KONKLUSION

1. INDLEDNING

Hovedstadens Jordrens as har ved brev af 7. juli 1999 ansøgt om godkendelse af driftsmæssig udvidelse med et forsøg med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg opstillet på oplagsplads på Kraftværksvej 31, 2300 København S. Ansøgningen er indgivet i henhold til § 33, stk. 1, i Miljø- og Energiministeriets Lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998.

Modtage- og oplagspladsen er godkendt efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 5 på vilkår fastsat af Miljøkontrollen den 24. maj 1996.

Ansøgningen begrundes i vilkår 13 i virksomhedens godkendelse af 24. maj 1996. I henhold til dette vilkår kan virksomheden foretage mindre jordrensningsforsøg med maksimalt 100 tons jord ad gangen, såfremt denne jord må modtages, og den foretagne behandling ikke giver anledning til forøget forurening.

Idet behandlingsforsøget med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg er planlagt til at behandle ca. 20.000 tons forurennet jord, ligger det aktuelle forsøg med det termiske anlæg udenfor rammerne af godkendelsen.

Modtage- og oplagspladsen er omfattet af listepunkt K 1a) i bilag 1 til Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 807 af 25. oktober 1999: *Anlæg der nyttiggør farligt affald¹ efter en af metoderne R1, R5, R6, R8, R9, som nævnt i bilag 6B til affaldsbekendtgørelsen², med en kapacitet på mere end 10 tons pr. dag.* (i)(a).

For affaldsforbrændingsanlæg gælder tillige Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 41 af 14. januar 1997, som bygger på EU's direktiver nr.89/369 EØF af 8. juni 1989 og nr. 89/429 EØF af 21. juni 1989 om affaldsforbrænding. Et forslag til nyt direktiv om affaldsforbrænding er fremlagt af EU-Kommissionen den 30. juni 1999.

2. VIRKSOMHEDENS BELIGGENHED OG PLANFORHOLD

Virksomheden er beliggende på Kraftværksvej 31, 2300 København S, på et ca. 10.000 m² stort umatrikuleret areal beliggende i umiddelbar tilknytning til matriklerne 536 og 544 og det umatrikulerede Margretheholm, Amagerbro Kvarter, i et industri kvarter, hvor de nærmeste virksomheder er I/S Amagerforbrænding, Amagerværket, Renholdningsselskabet af 1898 og Optiroc.

Der er ingen boligbebyggelser indenfor en radius af 1 km. Indenfor en afstand af 200 – 600 meter ligger en række rekreative områder, såsom lystbådehavn og haveforeninger samt det militære område Margretheholm, her er dog etableret en midlertidig flygtningelejr.

Området ved Kraftværksvej/Forlandet er i Københavns Kommuneplan 1997 fastlagt til offentlige tekniske anlæg /T2*. I dette område må udøves virksomhed, hvortil der af hensyn til forebyggelse af forurening stilles særlige beliggenhedskrav. Området er omfattet af lokalplan nr. 65 af 9. oktober 1984. I lokalplan nr. 65 er området beliggende i underområde A1, der er fastlagt til offentlige tekniske anlæg såsom konventionelle kraftværker, anlæg til affaldsforbrænding, sten- og grusværker m.v.

Der er ingen grundvandsinteresser i området, og den nærliggende lystbådehavn er et havneområde med lempet målsætning.

Grundet anlæggets placering i forhold til støjfølsomme områder - henholdsvis lystbådehavnen og flygtningelejren på Margretheholm - er der i godkendelse af anlægget lagt afgørende vægt på den tidsbegrænsede driftsperiode, svarende til max. 5 måneder i perioden 1. november til 1. marts 2001. Miljøkontrollen vurderer på denne baggrund, at anlæggets beliggenhed er i overensstemmelse med lokalplan nr. 65 af 9. oktober 1984.

¹ Farligt affald som defineret i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 299 af 30. april 1997 om affald.

² Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 299 af 30. april 1997 om affald.

VVM

Det ansøgte er vurderet til ikke at være omfattet af reglerne om en særlig vurdering af det ansøgte virkning på miljøet (VVM). Denne vurdering er foretaget ud fra reglerne i bekendtgørelse nr. 428 af 2. juni 1999 om supplerende regler i medfør af lov om planlægning (samlebekendtgørelsen er vedlagt i bilag 1).

3. DRIFT

Behandlingsforsøget med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg er planlagt til at behandle ca. 20.000 tons forurenede jord og påregnes at ville strække sig over en maksimal periode på 6 måneder incl. opstilling og nedtagning af anlægget.

Virksomhedens normale driftstid ligger i tidsrummet: Mandag til fredag kl. 06.00 - 17.00. Forsøgsanlægget vil på grund af fare for frostsprængninger ved drift i vinterperioden være i drift i 24 timer i døgnet alle ugens 7 dage.

I tidsrummet udover den normale driftstid vil kun jordbehandlingsanlægget samt en gummihjulslæsser være i drift.

Der vil blive stillet vilkår om, at personalet har dokumenteret driftserfaring, der kan sidestilles med det af Miljøstyrelsen godkendte kursus: Drift af affaldsforbrænding jf. Miljøstyrelsens vejledning "Begrænsning af forurening fra forbrændingsanlæg nr. 2, 1993".

Med henblik på at sikre en korrekt jordlevering, rensning og anvendelse stilles der vilkår om udfærdigelse af en driftsjournal, der som minimum skal indeholde følgende:

- Dato for driftsstart
- Dato for levering, behandling, udlevering
- Leverandør/ejer
- Jordtransportør
- Opgravningslokalitet og forureningens årsag samt opgravningslokalitetens historik
- Jordmængde
- Identifikationsnummer
- Analyseresultater (før og efter behandling)
- Analysefirma
- Slutdeponering/anvendelse
- Observationer af udførte tilsyn, kontrol og eventuel kalibrering af målesystemerne registreres.
- Udførte tilsyn og eventuelle uregelmæssigheder i anlæggets drift registreres.

Der stilles vilkår om udfærdigelse af driftsinstruks, der sikrer korrekt drift af anlægget herunder

- måling og rapportering af emission og væsentlige parametre
- overvågning af posefiltrets effektivitet
- korrekt turbulens og temperaturforhold i forhold til den behandlede jordtype
- handling ved driftsforstyrrelse
- kontrolmålinger af den behandlede jord

4. LUFTFORURENING

Nyt direktiv fra EU

EU-Kommisionen har siden 1994 arbejdet på et udkast til et nyt direktiv om affaldsforbrændingsanlæg (EU-direktivudkastet), og med det officielt fremlagte udkast af 30. juni 1999 foreligger i dag en form, som må antages at være tæt på det endelige. Dette indebærer bl.a. skærpede krav til emissioner af luftforurening.

Røggasrensning

For at begrænse dioxindannelsen i røggassen stilles der vilkår om, at røggastemperaturen inden posefiltret skal være under 200° C temperaturen.

Efterforbrændingsforhold

Temperatur og opholdstid er to væsentlige parametre, der har indflydelse på destruktion af forurenende stoffer.

Det er derfor afgørende for at sikre optimal forbrænding, dvs. en fuldstændig omdannelse til CO₂ og H₂O, at temperaturen i efterbrænderen bringes op på mindst 850° C i mindst 2 sek. under tilstedeværelse af mindst 6 % ilt.

Virksomheden har oplyst, at ved et maksimalt røggasflow på 9.500 Nm³/t og et rumfang på 25,6 m³ af efterforbrændingskammeret er opholdstiden mindst 2 sek.. Miljøkontrollen vurderer på denne baggrund, at ved en røggasmængde, der ikke overstiger 9000 Nm³/t, kan en opholdstid på min. 2 sek. overholdes under de givne driftsforhold. Desuden er der efter efterforbrændingskammeret endnu et forbrændingskammer med samme temperatur, hvorved det totale volumen af efterbrænderen bliver 35 m³. Der vil derfor blive stillet vilkår om, at røggasflowet ikke overstiger 9000 Nm³/t.

Endvidere oplyser virksomheden, at tilstrækkelige turbulenser er sikret ved et Reynolds tal mellem 37.000 og 60.000. Niveauet reguleres gennem driften afhængig af den behandlede jordtype. Miljøkontrollen vurderer, at såfremt turbulensen styres efter den behandlede jordtype sammenholdt med, at iltoverskudet holdes på minimum 6%, sikres en optimering af en fuldstændig blanding og forbrænding.

For at forhindre de novo syntese af furaner og dioxiner stilles der vilkår om, at efterbrændertemperaturen holdes på 1050° C, med mindre det er dokumenteret, at den indfødte jord ikke indeholder dioxin eller precursors, af hvilke dioxin dannes. I tilfælde heraf holdes temperaturen som minimum på 850 °C.

Miljøkontrollen stiller vilkår om, at emissionsgrænseværdien for dioxiner og furaner skal overholde emissionsgrænseværdien angivet i EU-direktivudkastet på 0,1 ng/m³.

METTS anlægget har et kontinuerligt overvågningssystem og styringssystem.

Miljøkontrollen stiller vilkår om, at temperaturen, O₂-indholdet og CO-koncentrationen i røggassen måles og registreres kontinuerligt i henhold til henholdsvis Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/1993 om begrænsning af forurening fra forbrændingsanlæg og bekendtgørelse om affaldsforbrænding nr. 41 af 14. januar 1997.

Røggassens indhold af O₂

Luftoverskuddet skal som nævnt ovenfor holdes på minimum 6%, men iltindholdet bør i øvrigt holdes så lavt som muligt, dvs. omkring 11% for at sikre bedst mulig forbrænding.

Der vil blive stillet vilkår om, at O₂ indholdet ligger mellem 6 og 11%.

Røggassens indhold af partikler

I henhold til EU-direktivudkastet er partikelemissionsgrænsen på 30 mg/Nm³ som halvtimemiddel, og mg/Nm³ som døgnmiddel efter forureningsbegrænsende udstyr.

Partikelfjernelsen foregår ved bortfiltrering mellem rotéovnen og efterbrænder, derefter genindføres det opsamlede støv i en støvforbrænder for mere fuldstændig rensning ved fordampning af forurenende stoffer. Ved en temperatur på 400-425° C vil PAH'er og mineralolie fordampe fra støvet, trods den lavere temperatur sammenlignet med den, der er i rotéovnen, men støvet indeholder ikke længere vand, hvorfor kontakttiden for fordampning er længere.

Gasscrubberen vil endvidere fjerne partikler fra luften.

På baggrund heraf er det Miljøkontrollens vurdering, at partikelemissionen kan ligge under denne grænseværdi målt mellem posefiltret og efterbrænderen. Mens værdien målt i skorsten må forventes at

ligge mellem 10 og 80 mg/Nm³, da en del af den behandlede jord afgiver støv, der sammenblandes med røggassens partikelindhold.

Miljøkontrollen har foretaget en orienterende spredningsmeteorologisk beregning af partikelimmissionen ved hjælp af OML og fundet, at den vejledende B-værdi (0,08 mg/m³) for støv i henhold luftvejledningen ved en maksimal emission på 80 mg/Nm³ ikke overskrides.

For at sikre, at posefiltrets effektivitet overvåges, stilles der vilkår om, at der på hvert vagthold foretages minimum 2 inspektionsrunder af posefilterets effektivitet og løbende overvågning af trykdifferensmålinger.

Der stilles vilkår om stikprøvemåling af partikelkoncentrationen i røggassen mellem posefiltret og efterbrænderen og af partikelkoncentration i røggassen målt i skorstenen.

Røggassen indhold af tungmetaller

Termisk forbrænding er velegnet til fjernelse af organiske forureninger fra jorden, herunder olieprodukter, PAH'er og opløsningsmidler. Derimod fjernes eventuelle tungmetaller ikke fra jorden, dog med undtagelse af Hg.

Kviksølv har et fordampningspunkt under 600° C, og da temperaturen i rotérovns anden del ligger mellem 350 og 600° C, kan der derfor forekomme et indhold af dette stof i emissionen.

Dog må virksomheden ikke modtage jord med et gennemsnitlig kviksølvindhold, der overstiger 2 mg/kg TS, hvilket er begrænsende for emissionen.

Ved hjælp af OML er der foretaget beregninger af Hg-immissionen ved en emission på 0,05 mg/Nm³ og fundet, at luftvejledningens B-værdi ikke overskrides.

For at hindre, at B-værdien overskrides, stilles der vilkår om, at emissionen af Hg ligger under emissionens grænseværdi 0,05 mg/Nm³ i henhold til EU-direktivudkastet.

For at kunne dokumentere, at røggassens indhold af kviksølv overholder emissionsgrænsen, stilles der vilkår om egenkontrol heraf.

Til sikring af, at anlægget drives på en måde, så emissionsgrænsen for kviksølv ikke overskrides, stilles der vilkår om, at der foretages kviksølvanalyser af den ubehandlede jord.

Idet temperaturen i rotérovns anden del ikke overstiger 600° C vil tungmetaller i jorden ikke fordampe i væsentlig omfang, hvorfor Miljøkontrollen vurderer, at følgende emissionsgrænseværdier i henhold til EU-direktivudkastet kan overholdes.

Parameter	Grænseværdi mg/Nm ³ (sum af partikel og gasfase)
Summen af Cd og Tl	0,05
Hg	0,05
Summen af Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni og V	0,5

Der vil derfor ikke blive stillet vilkår om kontrolmålinger som dokumentation for, at ovennævnte gruppe af tungmetaller overholder grænseværdierne.

Dog vil der erfaringsmæssig kunne være et indhold af henholdsvis Cd og Pb i emissionen fra et forbrændingsanlæg, hvorfor der vil blive stillet vilkår om stikprøvemåling af emissionen af de to tungmetaller til dokumentation for, at grænseværdien er overholdt.

Endvidere bliver der stillet vilkår til, at temperaturen i rotérovnen holdes under 600° C, således at hovedparten af tungmetallerne ikke vil fordampe.

Røggassen indhold af HCl, SO₂ og NO_x

EU's udkast til direktiv om affaldsforbrænding foreskriver følgende emissionsgrænseværdier for HCl, SO₂ og NO_x på henholdsvis 10, 50 og 200 mg/Nm³.

På baggrund af beregninger af immissionen ved hjælp af OML er det Miljøkontrollens vurdering, at ovennævnte emissionsgrænser ikke medfører en overskridelse af luftvejledningens B-værdier.

Endvidere blev der under oprensningsarbejde i Frankrig målt en NO_x-emission til 125 mg/m³ som den højeste værdi. Fire af de fem målinger af SO₂ lå omkring 10 mg/m³. Begge emissioner vurderes således at kunne overholde direktivudkastets emissionsgrænseværdier på hhv. 200 og 50 mg/Nm³.

For at kunne dokumentere, at røggassens indhold af SO₂ og NO_x overholder emissionsgrænserne, stilles der vilkår om, at der hver måned på tilfældigt valgte driftsdage foretages måling af emissionen. Emissionen for den pågældende driftsdag beregnes som gennemsnittet af mindst 2 målinger over en time.

Forbrændingsanlægget er ikke designet til at kunne udføre kontinuerte målinger af HCl, hvilket bekendtgørelsen for forbrændingsanlæg stiller krav om. Men Miljøkontrollen vurderer på baggrund af, at der er tale om et forsøgsanlæg, og idet jorden ikke indeholder klorede forbindelser, at stikprøvemåling af HCl som dokumentation for overholdelse af emissionsgrænseværdien er tilstrækkelig, hvilket der vil blive stillet vilkår om.

Røggassens indhold af CO

CO-emissionen anvendes som indikator for, hvor god forbrændingen er i ovn og efterforbrændingskammer. Som nævnt under afsnittet *Efterforbrændings forhold*, stilles der derfor vilkår om kontinuert målinger af CO-koncentrationen.

På baggrund af emissionsmålinger foretaget den 19. november 1998 under oprensningsarbejde i Frankrig vurderer Miljøkontrollen, at en emissionsgrænseværdi fastsat til 50 mg/Nm³, jf. EU-direktivudkastet, uden problemer kan overholdes. Den største værdi blev målt til 23 mg/m³.

Røggassens indhold af TOC

Der gælder samme forhold for TOC som nævnt for CO, og i henhold til EU-direktivudkastet er grænseværdien 10 mg/Nm³. Der vil blive stillet vilkår om overholdelse af denne værdi og udførelse af stikprøvemålinger som dokumentation herfor.

Lugt

Anlægget er udstyret med et indfødningsarrangement, der begrænser luftindtrængen til ovnen. Endvidere overvåges og styres aktuelle tryk fra styringskabinen således, at der til stadighed er undertryk i anlægget i forhold til omgivelserne. Miljøkontrollen vurderer på baggrund heraf, at lugtgener kan begrænses. Der stilles vilkår om, at anlægget ikke må give anledning til væsentlige lugtgener i omgivelserne.

5. STØJ

Støjberegninger er foretaget på det termiske forsøgsanlæg og heraf fremgår det, at det energiækvivalente, korregerede A-vægtede lydtryksniveau, er beregnet til 45 dB(A) i en afstand af 280 til 320 meter fra anlægget.

Miljøkontrollen vurderer, at kolonihaveforeningen ved Forlandet skal sidestilles med områdetype 4 i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 om ekstern støj: "etageboligerområder". Da afstanden fra oplagspladsen, hvor forsøget finder sted, til kolonihaveforeningen ved Forlandet er ca. 500 meter, vurderer Miljøkontrollen, at grænseværdien på 40 dB(A) om natten i henhold til støjvejledningen vil kunne overholdes, såfremt kun anlægget og én gummihjulsælser anvendes i denne periode, hvilket der vil blive stillet vilkår om.

Gældende støjvilkår på 45 dB(A) søn/helligdage kl. 07 - 22, lørdage kl. 14 - 22 og man- fredag kl. 18 - 22 kan overholdes, idet andet materiel på pladsen i nævnte perioder ikke er i drift. Kun anlægget og en gummihjulsælser er som nævnt i drift i denne periode.

Med udgangspunkt i, at lystbådehavnen har lavsæson i perioden fra oktober til marts, vurderer Miljøkontrollen, at det termiske forsøgsanlæg ikke vil give anledning til væsentlige støjgener for lystbådehavnen, når forsøgsperioden lægges i denne periode.

Dog vurderer Miljøkontrollen, at gældende støjvilkår på 40 dB(A) i natperioden ikke kan overholdes ved lystbådehavnen og flygtningelejren på Margretheholm. Miljøkontrollen vurderer, at en lempelse af støjvilkåret til 43 dB(A) ved lystbådehavnen og flygtningelejr kan tillades for den tidsbegrænsede periode, svarende til max 5 måneder i perioden 1. november til marts 2001, hvor anlægget er i drift.

På baggrund heraf vil støjvilkår i godkendelsen af 24. maj 1996 fortsat være de gældende med undtagelse af natperioden, hvor grænseværdien for støjbelastning sættes op fra 40 dB(A) til 43 dB(A) gældende for en periode på max 5 måneder.

For den resterende periode vil støjvilkår, jf. godkendelsen af 24. maj 1996, være gældende.

Der stilles vilkår om, at virksomheden lader et af DANAK eller SWEDAC akkrediteret eller et af Miljøstyrelsens godkendt laboratorium dokumentere, at støjvilkåret er overholdt.

6. JORD OG GRUNDEVAND

Under den nuværende modtage- og oplagsplads er etableret et dræn- og membransystem, som sikrer at overfladevand og perkolat ledes til opsamlingstank.

Miljøkontrollen vurderer på baggrund af de forelagte oplysninger, at driften af jordbehandlingsanlægget ikke vil give anledning til væsentlig ændring af mængde og sammensætning af perkolat i forhold til den nuværende miljøgodkendelse for oplagspladsen.

Opbevaring af olielager sker i tanke placeret på bakker, der kan rumme volumen af den største beholder. På baggrund heraf vurderer Miljøkontrollen, at oplaget er sikret mod spild ved læk.

7. SPILDEVAND

Miljøkontrollen vurderer, at den rensede jord ikke forringes væsentligt ved tilførelse af spildevand fra gasscrubberen, der indeholder salte anvendt til fædning af de sure komponenter såsom HCl, SO₂ og HF.

Miljøkontrollen kan dog forlange, hvis det vurderes nødvendigt for korrekt anvisning af den rensede jord, at der som konsekvens heraf foretages analyser for andre parametre end dem, der som udgangspunkt vil blive stillet vilkår om.

Sanitært spildevand vil fortsat blive opsamlet i tæt godkendt samletank og bortskaffes i henhold til gældende regler.

8. AFFALD

Olie- og kemikalieaffald fra værksted m.v. opbevares, anmeldes og afleveres efter gældende regler om farligt affald.

9. UHELD OG DRIFTSFORSTYRRELSER

Anlægget arbejder med undertryk for at forhindre gasser i at undslippe til omgivelserne. Aktuelle tryk overvåges og styres fra anlæggets styringskabine.

Rotérovnsens brænder er justeret med iltunderskud, så der ikke er ilt til rådighed til antændelse af de fordampede materialer.

Rotérovnen er udstyret med en sikkerhedsventil, således kan uønskede høje tryk aflæses gennem den fjederbelastede ventil.

En 2800 kg CO₂ tank i anlægget kan indsprøjte kultveilte under visse driftsforstyrrelser, som f.eks. brænderfejl, overophedning eller brand i støvfilteret.

Idet der foretages kontinuerlig måling af CO-koncentrationen og af O₂ indholdet i røggasserne kombineret med en temperaturmåling, kan forbrændingsprocessens korrekte forløb kontrolleres.

Der stilles dog vilkår om, at virksomheden i tilfælde af uheld med konsekvenser for omgivelserne straks anmelder uheldet til Alarmcentralen på tlf. nr. 112.

10. EGENKONTROL

Luft

Der anvendes en "OPIS AR600 series multicomponent analyser", hvilket giver mulighed for at efterleve følgende driftsvilkår i henhold til bekendtgørelsen om affaldsforbrændingsanlæg nr. 41 af 14. januar 1997:

Kontinuer måling af følgende parametre:

Kulmonoxid (CO)

temperatur

Ilt (O₂)

Ilt og kulmonoxid måles efter kedel. Temperaturen måles i efterforbrændingszonen.

Ifølge bekendtgørelsen om affaldsforbrændingsanlæg skal der endvidere foretages kontinuerlig måling af emissioner af partikler og chlorbrinter (HCl), målt efter forureningsbegrænsende udstyr. Dette er anlægget ikke designet til. Miljøkontrollen vurderer derfor, idet der er tale om et forsøgsanlæg, at hvis det igennem en driftsstyring sikres, at den nødvendige temperatur holdes afhængig af den behandlede jordtypes forurening, at posefiltres kvalitet overvåges ved jævnlige inspektioner og kontinuere trykdifferensmålinger sammenholdt med en kontrolleret bratkøling - vil driftsafvigelser opdages og dioxindannelsen begrænses.

Stikprøvemålinger af:

Hg, Cd, Pb, SO₂, TOC, NO_x, HCl, partikler, dioxiner og furaner.

I henhold til bekendtgørelse om affaldsforbrænding under kontrolregler for stikprøvemålinger af emissionen stilles der krav til, at der foretages stikprøver hver anden måned på tilfældigt valgte driftsdage. Idet driftsperioden kun er 5 måneder, vil der i denne godkendelse blive stillet vilkår om stikprøvemålinger af emissionen hver måned.

Døg mindst to gange for dioxiner og furaner i hele perioden. Resultatet af den ene prøve skal forelægges Miljøkontrollen indenfor driftsperiodens første måned og foretages i forbindelse med behandling af den type jord, der giver størst risiko for dannelse af dioxiner og furaner. Den anden prøve foretages ved behandling af den type jord, der ikke forventes at give anledning til væsentlig dioxinmission.

Endvidere bliver der stillet vilkår om stikprøvemåling hver 14. dag for partikelkoncentrationen.

Måleprogrammet fastlægges således, at overholdelsen af grænseværdierne for Hg, Cd, Pb, SO₂, NO_x, TOC, HCl, partikler, dioxiner og furaner kan eftervises. Målingerne udføres af et laboratorium akkrediteret af DANAK.

Stikprøvemåling af partikelkoncentrationen skal foretages mellem posefiltret og efterbrænderen samt i skorsten. Værdien målt mellem posefiltret og efterbrænderen skal overholde grænseværdien. Mens værdien målt i skorsten må forventes at ligge mellem 10 og 80 mg/Nm³, da en del af den behandlede jord afgiver støv, der sammenblandes med røggassens partikelindhold.

Emissionen for den pågældende driftsdag beregnes som gennemsnittet af mindst 2 målinger over en time.

Emissionsværdierne anses for overholdt, når hver måling udført ved stikprøvemåling er mindre end eller lig med grænseværdierne.

Driftsforløbet skal overvåges løbende i kontrolrummet, og der udarbejdes en rapport med de nævnte parametre hver måned, der vidererapporteres til Miljøkontrollen.

Følgende data og observationer skal være tilgængelige

- Temperaturforhold
- Angivelse af antallet af 1- og 10-minutters perioder med CO- koncentrationer over henholdsvis 800 og 350 mg/Nm³ tør røggas ved 11% O₂
- Antallet af 1-minuts middelværdier med luftoverskud mindre end svarende til 6% O₂ og større end svarende til 11% O₂
- Trykdifferensmålinger over posefiltret med angivelse af eventuelle afvigelser
- Resultater af inspektioner af posefiltret

Jord

Ubehandlet jord

Der stilles vilkår om, at der skal foreligge tilstrækkelige analyser af jorden til at vurdere, om den termiske behandling kan ske på anlægget uden emissionsproblemer. Den ubehandlede jord analyseres for forureningsart og koncentration.

I forureningsundersøgelsen skal analyseres for alle parametre vist nedenfor (s.12) med mindre dokumentation eller anden argumentation - godkendt af Miljøkontrollen - forligger for, at jorden ikke indeholder pågældende tungmetaller. I givet fald skal jorden som minimum analyseres for PAH, tjære- og olieindhold.

Da anlægget ikke er i stand til at rense røggassen for kviksølv, skal der specielt foretages kviksølvanalyser til sikring af, at anlægget drives på en måde, så emissionsgrænsen for kviksølv ikke overskrides.

Behandlet jord

I henhold til Hovedstadens Jordrens as' oplysninger indeholder en del af den ubehandlede jord tungmetaller.

Idet temperaturen i rotérovnen ikke overstiger 600°C, og de fleste tungmetaller først fordamper over 800°C, vil hovedparten af tungmetallerne stadig være tilbage i jorden efter den termiske behandling.

Der vil blive stillet vilkår om udførelse af en udvaskningstest og faststofanalyse af de behandlede jordpartier, som dokumentation for den forventede effekt af den termiske behandling på tungmetalforureningen - i form af immobilisering.

Der bliver stillet vilkår om udfærdigelse af et analyseprogram for og en beskrivelse af restproduktet samt en redegørelse for virksomhedens efterfølgende forventede anvendelse af den behandlede jord. På baggrund af nævnte oplysninger anviser Miljøkontrollen jorden.

Virksomheden lader udføre prøvetagning og analyse af u-/behandlet jord for følgende parametre:

- Arsen (As)
- Cadmium (Cd)
- Chrom (Cr)
- Kobber (Cu)
- Kviksølv (Hg)
- Nikkel (Ni)
- Bly (Pb)
- Zink (Zn)
- PAH
- Olie
- Summen af tjærephenoler

En eller flere parametre kan undlades, hvis der foreligger dokumentation godkendt af Miljøkontrollen for, at den ubehandlede jord ikke indeholder tungmetaller, der overskrider grænseværdier, jf. klasse 1 jord ifølge "Vejledning i håndtering og bortskaffelse af forurenede og rensede jord på Sjælland og Lolland Falster, februar 1997" (bilag 1).

Hvis Miljøkontrollen vurderer, det er nødvendigt for korrekt anvisning af jorden, kan antallet af parametre til analyse udvides til en eller flere.

Jordprøverne skal analyseres af et af DANAK *akkrediteret* laboratorium.

11. SAMLET VURDERING

Det er Miljøkontrollens vurdering, at det termiske forsøgsanlæg kan drives uden at give anledning til væsentlige miljømæssige gener for omgivelserne, når driften foregår som beskrevet i nærværende godkendelse.

På baggrund af ovenstående vurderer Miljøkontrollen således, at den driftsmæssige udvidelse med det termiske jordrensningsanlæg på en række vilkår kan miljøgodkendes.

Thomas Johannesen

Hovedstadens Jordrens as
Selinevej 4
2300 København S

Dato: J. nr. 211452-000012 K22 CPE/TJO/ven

**Miljøgodkendelse af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg,
31, 2300 København S**

Kraftværksvej

Hovedstadens Jordrens as har med skrivelse af 7. juli 1999 ansøgt om godkendelse af driftsmæssig udvidelse med et forsøg med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg opstillet på oplagspladsen på Kraftværksvej 31, 2300 København S.

Hovedstadens Jordrens as modtager forurenede jord på et midlertidigt modtage- og oplagsdepot indrettet på Kraftværksvej på Amager.

Anlægget er omfattet af Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 807 af 25. oktober 1999 om godkendelse af listevirksomhed, bilag 1, listepunkt K 1^a): Anlæg der nyttiggør farligt affald¹⁾ efter en af metoderne R1, R5, R6, R8, R9, som nævnt i bilag 6B til affaldsbekendtgørelsen, med en kapacitet på mere end 10 tons pr. dag. (i)(a).

Der har ved sagens behandling foreligget følgende materiale:

- Eksisterende godkendelse af 24. maj 1996.
- Ansøgning af 7. juli 1999 om godkendelse af driftsmæssig udvidelse med et semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg.
- Supplerende oplysninger givet den 1., 7., 10., 15., 22., og 29. december 1999.
- Vedlagte miljøtekniske beskrivelse af 5. oktober 2000.
- Vedlagte miljøtekniske vurdering af 5. oktober 2000.

Afgørelse og Godkendelsesvilkår

Miljøkontrollen meddeler hermed godkendelse til ovennævnte semi-mobile termiske jordbehandlingsanlæg, i henhold til § 33 i Miljø- og Energiministeriets Lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998 om miljøbeskyttelse, på følgende vilkår:

Indretning og drift

1. at denne godkendelse er midlertidig. Drift af anlægget må først påbegyndes efter 1. november 2000, og al drift af anlægget skal være ophørt efter 1. marts 2001, hvorefter anlægget nedtages og godkendelsen bortfalder,
2. at virksomhedens driftstid begrænses til tidsrummet:
Mandag til fredag kl. 06.30 – 18.00.
Kun det termiske jordbehandlingsanlæg samt en gummihjulslæsser må være i drift i døgnets 24 timer i alle ugens 7 dage,

3. at anlæggets drift ikke må give anledning til overskridelse af vilkår stillet i virksomhedens godkendelse af 24. maj 1996, dog ændres vilkår 21 i nævnte godkendelse til vilkår 19 i denne godkendelse,

4. at der på hvert vagthold skal være mindst 1 person til stede, som har dokumenteret driftserfaring, der efter Miljøkontrollens vurdering kan sidestilles med det af Miljøstyrelsens godkendte kursus: Drift af affaldsforbrænding, jf. Vejledning om affaldsforbrændingsanlæg, Miljøstyrelsen, nr. 3, 1986.

Dokumentation herfor skal være tilgængelig for Miljøkontrollen,

5. at der føres en driftsjournal, der som minimum skal indeholde følgende:

- Dato for driftsstart
- Dato for levering, behandling, udlevering af jord
- Leverandør/ejer
- Jordtransportør
- Opgravningslokalitet og forureningens årsag samt opgravningslokalitetens historik
- Jordmængde
- Identifikationsnummer
- Analyseresultater (før og efter behandling)
- Analysefirma
- Slutdeponering/anvendelse
- Observationer af udførte tilsyn, kontrol og eventuel kalibrering af målesystemerne registreres.
- Udførte tilsyn og eventuelle uregelmæssigheder i anlæggets drift registreres.

Driftsjournalen skal være tilgængelig for Miljøkontrollen,

6. at virksomheden - gennem driftsinstruks godkendt af Miljøkontrollen - sikrer korrekt drift af anlægget. Driftsinstruksen skal bl.a. indeholde procedurer for

- Måling og rapportering af emission og væsentlige parametre.
- Overvågning af posefiltrets effektivitet.
- Korrekt turbulens og temperaturforhold i forhold til den behandlede jordtype.
- Handling ved driftsforstyrrelser.
- Kontrolmålinger af den behandlede jord.

Driftsinstruksen indsendes til Miljøkontrollens godkendelse senest 1 måned efter driftsstart,

7. at jorden ikke indeholder klorerede forbindelser, og at Hg-indholdet ligger under 2 mg/kg TS

8. at temperaturen i rotéovnen ikke overstiger 600° C,

9. at røggastemperaturen inden posefiltret ikke overstiger 200° C,

10. at røggasflowet ikke overstiger 9.000 Nm³/t i efterbrænderen,

11. at iltprocenten holdes mellem 6 og 11% målt efter efterbrænder,

12. at temperaturen i efterbrænderen holdes over 850° C.
 13. at røggashastigheden ved skorstenstoppen mindst er 8 m/sek. under alle driftsforhold – bortset fra opstart og nedlukning – og mindst 20 m/sek. ved fuld belastning,

Luft

14. at røggasmængden ikke må være større end 14.000 Nm³ røggas/time,
 15. at driften af anlægget ikke giver anledning til støv- eller lugtulemper i omgivelserne, som efter Miljøkontrollens vurdering er væsentlige,
 16. at røggassens indhold af følgende stoffer i skorstenen ikke må overstige følgende grænser refererende til tør røggas ved 11% O₂, 0°C og 101,3 kPa:

1 Parameter	Grænseværdi Mg/Nm ³	Kontrolmetode/midlingstid
Partikler	10/30	S ^{4,5)} døgn-/halvtimemiddel
CO	50/150/100 ¹⁾	K døgn-/halvtimemiddel
HCl	10/60	S ⁵⁾ døgn-/halvtimemiddel
SO ₂	50/200	S døgn-/halvtimemiddel
NO _x	200/400	S døgn-/halvtimemiddel
Hg	0,05 ²⁾	S
Pb	0,1	S
Cd	0,05	S
TOC	10 ³⁾	S
Dioxiner og furaner	0,1 (ng/Nm ³)	S

K= kontinuert måling, S= stikprøvemåling

- 1) For kulmonoxid CO gælder grænseværdien 150 mg/m³ for 95% fraktilen af alle 10 minutters middelværdier i et døgn, alternativt gælder grænseværdien 100 mg/m³ for alle halvtimesmiddelværdier. 50 mg/m³ er gældende værdi målt som døgnmiddelværdi.
 - 2) Sum af partikel og gasfase
 - 3) Sum af brændbare og organiske stoffer kulstof undtagen CO, målt som kulstof C
 - 4) Målt mellem posefiltret og efterbrænderen
 - 5) Ved stikprøvemåling udtages mindst 2 prøver med en prøvetagningstid på mindst 1 time, emissionen måles som gennemsnittet af mindst 2 målinger
17. at såfremt målinger viser, at grænseværdierne angivet i vilkår 16 overskrides, påhviler det virksomheden at gennemfører foranstaltninger, således at grænseværdierne overholdes.

Støj

18. at virksomhedens samlede bidrag til det eksterne støjniveau, angivet som det energiækvivalente, korrigerede A-vægtede lydtryksniveau, L_r, ikke må overstige nedenstående værdier, målt ved lystbådehavnen Lynetten og flygtningelejren på Margretheholm.

Tidsrum	7-14	14-18	18-22	22-7
Man-Fredage	50	50	45	43
Lørdage	50	45	45	43
Søn/helligdage	45	45	45	43

Maksimalværdien af støjbidraget må i tidsrummet kl. 22-07 ikke overstige L_p -værdien med mere end 15 dB(A).

Dette vilkår er gældende max 4 måneder i perioden 1. november til 1. marts år 2001, hvorefter vilkår 21 i godkendelsen af 24. maj 1996 er gældende,

19. at Virksomheden én gang og indenfor driftsperiodens første 2 måneder lader et af DANAK eller SWEDAC akkrediteret eller et af Miljøstyrelsen godkendt laboratorium dokumentere, at støjgrænserne i vilkår 18 er overholdt.

Resultaterne indsendes til Miljøkontrollen senest 14 dage efter prøvetagningen.

Egenkontrol

20. at følgende kontinuerte parametre og emissioner skal måles og registreres:

2

3 Parametre

- Røggastemperatur i efterforbrændingszonen, efter kedel og i skorsten
- CO-koncentrationen i røggassen efter efterbrænder omregnet til mg/Nm³ tør røggas ved 11% O₂
- Luftoverskudet målt som O₂ % i røggassen efter efterbrænder

4

Til vurdering af, hvorvidt målte værdier overholder vilkår 11, 12 og 16 (for ovennævnte parametre), benyttes retningslinjer angivet i afsnittet om kontrolregler i bekendtgørelse om affaldsforbrændingsanlæg, nr. 41 af 14 januar 1997.

Instrumenterne skal opfylde de krav, som er nævnt i Miljøstyrelsens vejledning nr.2/1993 om begrænsning af forurening fra forbrændingsanlæg, herunder krav til nulpunktsdrift, tidskonstanter, måletider, målingernes udførelse, kalibreringer og vedligeholdelse.

Resultaterne afrapporteres til Miljøkontrollen inden den 15. i den følgende måned,

21. at der hver måned på tilfældigt valgte driftsdage foretages måling af emissionen af SO₂, NO_x, TOC, Hg, Cd, Pb, HCl og hver 14. dag for partikkelkoncentration og mindst to gange i driftsperioden foretages en emissionsmåling af dioxin og furaner – hhv. ved behandling af den jordtype, hvor der kan forventes en høj dioxin emission, og ved behandling af den type jord, der ikke forventes at give anledning til væsentlig dioxin-emission.
- Emissionen for den pågældende driftsdag beregnes som gennemsnittet af mindst to målinger over 1 time med anlægget under fuld drift. Prøvetagning og analyse skal udføres af et af DANAK akkrediteret laboratorium. Driftsforhold og jordtype under prøveudtagning skal fremgå af målerapporten.
- Emissionsværdierne anses for overholdt, når hver bestemmelse udført ved stikprøvekontrollen er mindre end eller lig med grænseværdierne. Driftsforhold og jordtype under prøvetagning skal fremgå af målerapporten.
- Resultaterne afrapporteres til Miljøkontrollen inden den 15. i den følgende måned,
22. at følgende data registreres og er tilgængelige:
- Temperaturforhold i efterbrænderen og ved udgangen af af rotéovnen.
 - Angivelse af antallet af 1- og 10- minutters perioder med CO-koncentrationer over henholdsvis 800 og 350 mg/Nm³ tør røggas ved 11% O₂.
 - Antallet af 1-minuts middelværdier med luftoverskud mindre end svarende til 6% O₂ og større end svarende til 11% O₂.
 - Trykdifferensmålinger over posefiltret med angivelse af eventuelle afvigelser
 - Resultater af inspektioner af posefiltret,
23. at der skal foreligge tilstrækkelige analyser af jorden med en redegørelse der sandsynliggør, at den termiske behandling kan ske på anlægget uden emissionsproblemer. Herunder analyser for cadmium og bly.
- Da anlægget ikke er i stand til at rense røggassen for kviksølv, skal der specielt foretages kviksølvanalyser til sikring af, at anlægget drives på en måde, så emissionsgrænsen for kviksølv ikke overskrides,
24. at virksomheden lader udføre prøvetagning og udvaskningstest samt faststof analyse af den behandlede jord for følgende parametre:
- Arsen (As)
 - Cadmium (Cd)
 - Chrom (Cr)
 - Kobber (Cu)
 - Kviksølv (Hg)
 - Nikkel (Ni)
 - Bly (Pb)
 - Zink (Zn)
- Samt prøvetagning og analyse af følgende parametre:
- PAH
 - Olie

En eller flere parametre kan undlades, hvis der foreligger dokumentation godkendt af Miljøkontrollen for, at den ubehandlede jord ikke indeholder tungmetaller, der overskrider grænseværdier, jf. klasse 1 jord ifølge "Vejledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland, januar 2000" (bilag 1).

Hvis Miljøkontrollen vurderer, at det er nødvendigt for korrekt anvisning af jorden, kan antallet af parametre til analyse udvides til en eller flere,

25. at virksomheden til Miljøkontrollen indsender et analyseprogram for og en beskrivelse af restproduktet og den forventede anvendelse.

Analyseprogrammet skal være indsendt til Miljøkontrollens godkendelse inden drift af anlægget påbegyndes.

Beskrivelse af den behandlede og den forventede anvendelse skal være indsendt til Miljøkontrollen senest 2 måneder efter endt drift.

Jorden vil på baggrund heraf blive anvist af Miljøkontrollen,

26. at virksomheden i tilfælde af uheld med konsekvenser for omgivelserne straks anmelder uheldet til Alarmcentralen på tlf. nr. 112.

Virksomheden skal inden 14 dage skriftligt indberette uheldet til Miljøkontrollen. Indberetningen skal ledsages af en redegørelse for årsager til uheldet, en beskrivelse af eventuelle virkninger på miljøet og af foranstaltninger der træffes, for fremover at undgå lignende uheld,

Klagevejledning m.v.

Afgørelsen om miljøgodkendelse vil blive offentliggjort ved annoncering i Amager Bladet i uge 44, 2000.

Afgørelsen kan inden 4 uger skriftligt påklages til Miljøstyrelsen, og eventuel klage skal senest ved klagefristens udløb **den 29. november 2000** være modtaget i Miljøkontrollen, Flæsketorvet 68, Postboks 259, 1502 København V, E-mail: miljoe@miljoe.kk.dk.

Afgørelsen kan påklages af afgørelsens adressat og enhver, der har en individuel væsentlig interesse i sagens udfald, samt klageberettigede myndigheder, foreninger og organisationer i overensstemmelse med miljøbeskyttelseslovens §§ 98-100.

Virksomheden vil blive underrettet, hvis der inden klagefristens udløb indgives klage fra anden side.

Søgsmål

Opmærksomheden henledes på miljølovens § 101, stk. 1, vedrørende søgsmål. Heraf fremgår det, at såfremt det ønskes at prøve afgørelsen ved domstolene, skal sagen være anlagt senest 6 måneder efter, at afgørelsen er offentliggjort.

Fristen for at anlægge søgsmål udløber således den 24. april 2001.

Ændringer og udvidelser

Virksomheden må ikke udvides, ændres anlægsmæssigt eller driftsmæssigt på en måde, der indebærer forøget eller anden forurening, før udvidelsen eller ændringen er vurderet og eventuelt godkendt i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 33.

Øvrige forhold

Der er med denne miljøgodkendelse ikke taget stilling til eventuel godkendelse efter anden lovgivning, f.eks. byggeloven, arbejdsmiljøloven eller beredskabsloven.

Tomgangskørsel er ikke er tilladt, jf. vedlagte "Regulativ vedrørende adgangen til at lade motoren i holdende motordrevne køretøjer være i gang". Det betyder, at motoren i et holdende motordrevet køretøj ikke må være i gang længere end højst nødvendigt og højst 1 minut.

Affaldshåndtering

Virksomheden skal håndtere alt erhvervsaffald i overensstemmelse med gældende regulativer for Københavns Kommune, herunder benytte en transportør og et modtageanlæg, der indgår i den kommunale indsamlingsordning for det pågældende affald. "Regulativ for erhvervsaffald i Københavns Kommune" vedlægges.

I indsamlingsordningen for farligt affald har virksomheden ligeledes pligt til at benytte transportører og modtageanlæg, der indgår i den kommunale ordning.

Derudover skal Miljøkontrollen altid underrettes, såfremt virksomheden ønsker at importere eller eksportere affald.

Alle kommunens regler om erhvervsaffald er beskrevet og uddybet i "Vejledning for erhvervsaffald", der kan købes hos Mark 1, tlf. 33911400.

Henvendelse vedrørende denne sag bedes rettet til Charlotte Urbak Pedersen.

Med venlig hilsen

Per Møller

/Thomas Johannesen

Kopi sendt til:

Arbejdstilsynet
Stadslægen
Danmarks Naturfredningsforening
Københavnerne Miljøforening
Hovedstadens Udviklingsråd

Oversigt over kemiske analysedata

Dette bilag indeholder en oversigt over analyseresultater for batch 1 for følgende komponenter:

Oliekomponenter

Tjærekomponenter

Tungmetaller

Tungmetaller samt chlorid og natrium i eluat fra udvaskningsforsøg

Øvrige komponenter som kationer, CEC, pH, CaCO₃ og total kulstof

For batch 2 indeholder bilaget analyseresultater for følgende komponenter:

Oliekomponenter

Tjærekomponenter

Tungmetaller

Øvrige komponenter som kationer, CEC, pH, CaCO₃ og total kulstof

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1	1	85,8	7400	34,0	4400	3000
4	1	86,4	4400	12,0	2600	1800
7	1	85,7	5300	15,0	3200	2100
10	1	85,4	4500	19,0	2800	1700
13	1	87,8	920	4,9	530	390
16	1	84,8	3900	10,0	2500	1400
19	1	85,4	2700	11,0	1700	1000
22	1	84,2	2200	9,2	1200	1000
25	1	86,5	960	3,8	510	440
28	1	86,5	3000	15,0	1800	1100
30	1	87,1	3800	28,0	2300	1400
31	1	83,5	3600	21,0	2300	1400
34	1	82,9	6300	23,0	3700	2600
37	1	86,0	6200	27,0	3700	2500
40	1	84,5	4800	18,0	2700	2100
Median		85,5	3900	15,0	2500	1400

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2	2	90,8	< 2,5	< 2,5	< 5	< 25
5	2	91,4	8,80	< 2,5	8,8	< 25
8	2	89,7	5,50	< 2,5	5,5	< 25
11	2	92,4	6,10	< 2,5	6,1	< 25
14	2	90,1	13,00	< 2,5	13,0	< 25
17	2	91,2	< 2,5	< 2,5	< 5	< 25
20	2	91,1	< 2,5	< 2,5	< 5	< 25
23	2	91,3	6,10	< 2,5	6,1	< 25
26	2	90,2	6,30	< 2,5	6,3	< 25
29	2	90,5	10,00	< 2,5	10,0	< 25
Median		90,9	6,1	< 2,5	6,1	< 25

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Fluoranthen	Benz(b+j+k)fluoranthen	Benz(a)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren	Dibenz(a,h)antracen	Sum 7 PAH'er
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1,00	1,00	85,8	3,00	2,80	1,50	1,10	0,18	8,50
4,00	1,00	86,4	5,30	4,10	2,00	1,70	0,30	13,00
7,00	1,00	85,7	3,90	3,90	2,10	1,60	0,29	12,00
10,00	1,00	85,4	2,30	2,90	1,70	1,10	0,16	8,20
13,00	1,00	87,8	2,00	2,60	1,30	0,99	0,19	7,20
16,00	1,00	84,8	14,00	8,50	4,90	3,20	0,52	31,00
19,00	1,00	85,4	2,30	2,60	1,50	1,10	0,23	7,80
22,00	1,00	84,2	3,60	2,90	1,50	1,00	0,25	9,40
25,00	1,00	86,5	2,90	4,40	2,70	2,20	0,50	13,00
28,00	1,00	86,5	1,80	2,40	1,30	0,79	0,20	6,50
30,00	1,00	87,1	2,30	3,30	1,70	1,00	0,27	8,50
31,00	1,00	83,5	2,50	3,30	1,70	1,00	0,28	8,80
34,00	1,00	82,9	3,00	3,50	1,60	0,91	0,20	9,30
37,00	1,00	86,0	1,80	2,20	1,50	0,66	0,17	6,30
40,00	1,00	84,5	1,80	2,90	1,40	0,79	0,20	7,10
Median			2,50	2,90	1,60	1,00	0,23	8,50

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Fluoranthen	Benz(b+j+k)fluoranthen	Benz(a)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren	Dibenz(a,h)antracen	Sum 7 PAH'er
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2,00	2,00	90,8	0,040	0,020	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,060
5,00	2,00	91,4	0,120	0,110	0,060	0,090	< 0,01	0,380
8,00	2,00	89,7	0,110	0,170	0,100	0,170	0,015	0,550
11,00	2,00	92,4	0,099	0,170	0,110	0,180	0,014	0,580
14,00	2,00	90,1	0,470	0,470	0,280	0,250	0,032	1,500
17,00	2,00	91,2	0,037	0,016	0,001	0,005	< 0,01	0,053
20,00	2,00	91,1	0,086	0,052	0,025	0,039	< 0,01	0,200
23,00	2,00	91,3	0,072	0,037	0,016	0,018	< 0,01	0,140
26,00	2,00	90,2	0,076	0,033	0,015	0,012	< 0,01	0,140
29,00	2,00	90,5	0,093	0,037	0,017	0,013	< 0,01	0,160
Median			0,0895	0,0445	0,021	0,0285	< 0,01	0,18

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Arsen	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
		% TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1	1	98,7	6,6	230	1,2	30	330	1,30	21	770
4	1	96,8	7,1	300	1,8	27	440	1,20	21	940
7	1	97,3	7,4	300	1,4	24	390	1,10	19	720
10	1	97,9	9,5	550	1,4	27	620	1,20	22	880
13	1	98,7	7,5	570	1,2	22	580	1,30	20	770
16	1	98,5	9,8	510	1,3	24	350	1,50	20	750
19	1	98,8	8,7	2100	1,3	24	1500	1,10	23	1500
22	1	98,7	6,1	300	1,5	43	510	1,60	22	780
25	1	98,7	7,9	400	1,3	20	260	0,78	22	640
28	1	98,9	6,6	260	1,6	35	440	1,50	24	770
30	1	98,0	5,5	210	1,3	36	490	1,20	24	700
31	1	97,6	5,8	190	1,2	36	290	1,70	21	590
34	1	98,2	7,6	600	1,7	34	480	1,00	26	850
37	1	97,1	5,7	190	1,9	49	410	1,30	24	730
40	1	97,3	6,3	260	2,1	42	610	1,10	24	780
Median			7,1	300	1,4	30	440	1,20	22	770

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Arsen	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
		% TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2	2	93,4	8,3	630	1,4	27	350	0,050	29	710
5	2	93,4	7,0	640	1,4	27	300	0,800	23	640
8	2	92,1	7,7	540	1,6	30	360	0,100	24	750
11	2	93,9	7,5	600	1,8	33	410	0,140	23	780
14	2	93,1	7,3	590	1,7	30	420	0,060	25	760
17	2	93,8	6,7	510	1,4	31	330	< 0,05	25	620
20	2	93,9	6,3	430	1,5	32	340	< 0,05	24	680
23	2	93,4	5,9	450	1,7	36	340	0,060	26	560
26	2	94,1	6,1	570	2,2	28	690	< 0,05	23	720
29	2	95,6	7,2	510	1,5	31	300	< 0,05	24	690
Median			7,1	555	1,55	30,5	440	0,055	24	700

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Chlorid	Arsen	Barium	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Mangan	Natrium	Nikkel	Zink
		% TS	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
1	1	98,7	68	4,8	79,00	2,20	0,47	1,60	46,0	< 0,05	0,13	70	23,0	83,00
4	1	96,8	100	5,0	86	2,10	0,51	1,90	74,0	< 0,05	0,25	100	23,0	95,0
7	1	97,3	130	5,3	120	2,00	0,52	1,90	68,0	< 0,05	0,11	120	20,0	91,0
10	1	97,9	70	5,1	81	6,80	0,58	1,80	38,0	< 0,05	0,87	77	27,0	140,0
13	1	98,7	60	4,9	71	4,30	0,53	1,80	47,0	< 0,05	0,32	77	21,0	120,0
16	1	98,5	59	5,1	83	21,00	0,84	1,50	39,0	< 0,05	0,52	63	26,0	230,0
19	1	98,8	90	5,0	74	3,70	0,60	1,60	42,0	< 0,05	0,49	85	22,0	95,0
22	1	98,7	41	4,8	82	1,30	0,46	1,80	27,0	< 0,05	0,57	44	17,0	80,0
25	1	98,7	22	3,1	63	0,94	0,36	1,90	41,0	< 0,05	0,03	27	9,2	44,0
28	1	98,9	30	5,1	84	1,50	0,51	2,00	23,0	< 0,05	0,27	39	24,0	130,0
30	1	98,0	57	5,4	83	1,50	0,47	2,10	31,0	< 0,05	0,47	61	22,0	79,0
31	1	97,6	38	5,1	81	1,90	0,48	1,90	29,0	< 0,05	0,09	43	22,0	140,0
34	1	98,2	58	5,1	70	1,90	0,54	2,20	34,0	< 0,05	0,21	66	25,0	160,0
37	1	97,1	56	4,7	76	1,60	0,55	2,30	27,0	< 0,05	0,30	68	25,0	130,0
40	1	97,3	68	5,0	77	1,90	0,59	2,20	37,0	< 0,05	0,24	78	26,0	150,0
Median			59	5,0	81	1,90	0,52	1,90	38,0	< 0,05	0,27	68	23,0	120,0

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Tørstof	Chlorid	Arsen	Barium	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Mangan	Natrium	Nikkel	Zink
		% TS	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
2	2	93,4	120	14,0	77	0,41	0,04	0,52	3,4	< 0,05	0,0080	100	1,9	4,7
5	2	93,4	120	15,0	84	0,23	0,27	1,00	22,0	< 0,05	0,0060	130	4,0	2,5
8	2	92,1	130	14,0	88	0,31	0,34	1,10	14,0	< 0,05	< 0,005	140	3,3	3,2
11	2	93,9	120	16,0	89	0,15	0,32	0,92	13,0	< 0,05	< 0,005	150	3,8	2,1
14	2	93,1	130	14,0	93	0,42	0,33	0,97	21,0	< 0,05	0,0100	180	6,9	3,2
17	2	93,8	110	14,0	82	0,13	0,33	0,97	3,5	< 0,05	< 0,005	160	4,8	2,8
20	2	93,9	130	15,0	87	0,25	0,41	1,20	7,7	< 0,05	< 0,005	180	5,7	3,2
23	2	93,4	130	13,0	89	0,15	0,45	1,60	8,5	< 0,05	< 0,005	180	6,2	2,9
26	2	94,1	120	15,0	80	0,28	0,28	1,00	12,0	< 0,05	0,0140	190	6,6	3,9
29	2	95,6	120	14,0	81	0,18	0,29	1,20	11,0	< 0,05	0,0060	180	6,1	3,6
Median			120	14	85,5	0,24	0,325	1	11,5	< 0,05	< 0,005	170	5,25	3,2

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Total kulstof	pH	pH	CaCO ₃	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Total CEC
		g/100 g	N/A	N/A	g/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g
1	1	4,897	7,60	7,64	7,75	19,24	0,27	0,64	0,74	6,57
4	1	4,209	7,62	7,64	6,35	17,62	0,25	0,48	0,72	6,01
10	1	5,048	7,71	7,72	8,22	20,72	0,32	0,66	0,65	7,07
13	1	4,698	7,80	7,77	6,91	18,04	0,23	0,48	0,70	5,59
19	1	5,174	7,78	7,75	7,28	19,94	0,28	0,63	0,78	6,94
22	1	4,602	7,79	7,76	9,51	18,26	0,25	0,54	0,39	6,67
28	1	4,816	7,76	7,70	9,41	18,61	0,27	0,60	0,40	5,37
31	1	4,260	7,71	7,69	9,00	16,80	0,25	0,59	0,43	6,30
34	1	4,998	7,78	7,72	8,08	17,90	0,27	0,63	0,67	6,33
37	1	4,693	7,77	7,70	8,45	18,21	0,27	0,81	0,70	6,62
Median		4,757			8,15					
Gennemsnit				7,72		18,53	0,27	0,61	0,62	6,35

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 1

Prøvenr	Tid	Total kulstof	pH	pH	CaCO ₃	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Total CEC
		g/100 g	N/A	N/A	g/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g
2	2	3,221	8,99	9,13	7,93	18,18	0,37	0,58	0,83	3,66
8	2	3,504	9,43	9,60	8,44	19,52	0,37	0,66	1,22	3,59
14	2	3,594	8,93	9,01	8,70	19,43	0,38	0,61	1,59	4,29
20	2	3,184	9,74	9,87	7,93	18,99	0,38	0,74	1,56	4,09
26	2	3,533	9,08	9,09	8,15	17,88	0,37	0,58	1,67	3,80
Median		3,504			8,15					
Gennemsnit			9,29			18,8	0,37	0,63	1,37	3,89

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1	1	83,3	390	< 2,5	210	180
4	1	82,6	430	< 2,5	210	220
7	1	84,2	240	< 2,5	86	160
10	1	82,9	330	< 2,5	87	240
13	1	83,8	330	< 2,5	110	220
16	1	86,4	450	< 2,5	200	260
19	1	85,9	760	3,70	390	360
22	1	87,2	1000	3,20	530	510
25	1	86,4	770	< 2,5	350	420
28	1	86,8	1000	3,80	560	440
31	1	86,9	920	< 2,5	470	440
34	1	87,4	650	< 2,5	300	350
37	1	86,3	700	2,80	410	280
40	1	86,4	390	< 2,5	190	200
42	1	87,7	660,00	< 2,5	350	310
Median			650,00	3,45	300	280

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2	2	92,6	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
5	2	91,8	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
8	2	92,2	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
11	2	91,7	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
14	2	93,0	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
17	2	92,2	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
20	2	94,4	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
23	2	92,6	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
26	2	94,0	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
29	2	98,2	ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25
Median			ikke påvist	< 2,5	< 5	< 25

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Fluoranthen	Benz(b+j+k)fluoranthen	Benz(a)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren	Dibenz(a,h)antracen	Sum 7 PAH'er
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1	1	83,3	1,10	0,92	0,49	0,32	0,07	2,90
4	1	82,6	3,00	2,00	1,10	0,69	0,16	6,90
7	1	84,2	2,30	1,90	1,10	0,62	0,14	6,00
10	1	82,9	1,30	1,40	0,82	0,55	0,13	4,30
13	1	83,8	1,10	1,20	0,66	0,43	0,10	3,50
16	1	86,4	1,20	1,60	0,94	0,64	0,13	4,50
19	1	85,9	0,61	0,93	0,53	0,34	0,08	2,50
22	1	87,2	0,59	0,90	0,51	0,33	0,08	2,40
25	1	86,4	2,50	2,30	1,30	0,77	0,18	7,00
28	1	86,8	0,83	0,98	0,55	0,33	0,10	2,80
31	1	86,9	0,53	0,68	0,36	0,24	0,05	1,90
34	1	87,4	1,10	1,30	0,76	0,43	0,11	37,00
37	1	86,3	1,10	1,30	0,69	0,43	0,10	3,60
40	1	86,4	3,50	4,40	2,60	1,60	0,33	12,00
42	1	87,7	2,60	2,30	1,40	0,82	0,17	7,30
Median			1,10	1,30	0,76	0,43	0,11	4,30

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Fluoranthen	Benz(b+j+k)fluoranthen	Benz(a)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren	Dibenz(a,h)antracen	Sum 7 PAH'er
		% VV	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2	2	92,6	0,018	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,018
5	2	91,8	0,015	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,015
8	2	92,2	0,016	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,016
11	2	91,7	0,012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,012
14	2	93,0	0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,005
17	2	92,2	0,018	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,018
20	2	94,4	0,012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,012
23	2	92,6	0,014	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,014
26	2	94,0	0,012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,012
29	2	98,2	0,097	0,051	0,014	< 0,01	< 0,01	0,160
Median			0,011	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0145

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Arsen	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
		% TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
1	1	84,1	4,4	54	0,41	10,5	34	0,49	9,9	200
4	1	82,3	2,9	53	0,30	13,0	39	0,21	11,0	150
7	1	84,7	2,1	35	0,15	13,0	18	0,15	9,2	84
10	1	84,5	2,1	40	0,25	9,9	23	0,14	8,4	110
13	1	88,3	1,9	29	0,19	10,0	23	0,13	7,2	78
16	1	85,8	1,9	17	0,17	9,4	14	0,065	7,9	52
19	1	87,9	1,8	21	0,18	9,0	15	0,084	7,2	60
22	1	85,1	1,9	21	0,38	12,0	16	0,062	10,0	210
25	1	88,5	1,7	22	0,20	8,4	15	0,085	8,3	65
28	1	87,1	2,0	23	< 0,12	8,6	18	0,095	8,8	75
31	1	85,9	1,7	25	0,20	8,9	17	0,09	9,1	92
34	1	85,4	1,9	29	0,19	8,0	18	0,10	7,4	65
37	1	88,3	1,2	26	0,24	9,2	26	0,067	8,4	120
40	1	88,3	2,2	18	0,22	8,4	14	0,064	8,4	59
42	1	86,4	2,6	31	0,25	6,6	13	0,11	7,0	64
Median			1,9	26	0,20	9,2	18	0,095	8,4	78

Prøvepunkt 2: efter ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Tørstof	Arsen	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
		% TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
2	2	91,9	2,6	30	0,26	8,9	18	0,19	8,0	83
5	2	91,3	3,5	47	0,23	9,2	17	0,011	8,5	82
8	2	90,4	2,4	73	0,57	9,5	20	0,009	7,8	200
11	2	90,6	2,6	53	0,30	10,0	21	0,008	8,4	100
14	2	91,8	2,8	85	0,29	10,0	21	0,008	8,7	98
17	2	90,7	3,1	39	0,43	9,9	20	0,01	8,3	150
20	2	91,4	2,7	48	0,21	9,7	19	0,009	9,1	93
23	2	90,7	2,3	31	0,24	9,1	16	0,008	8,0	80
26	2	92,1	2,2	38	0,23	8,8	15	0,008	7,3	79
29	2	97,6	3,0	47	0,51	10,0	22	0,021	9,3	300
Median			2,65	47	0,28	9,6	19,5	0,009	8,35	95,5

Prøvepunkt 1: inden ovn, batch 2

Prøvenr	Tid	Total kulstof	pH	pH	CaCO ₃	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Total CEC
		g/100 g	N/A	N/A	g/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g	mækv/100 g
1	1	2,14	9,84	9,88	7,45	34,85	0,34	0,26	0,59	7,61
13	1	1,55	8,78	8,72	5,64	19,80	0,19	0,25	0,85	5,68
22	1	1,52	8,12	8,03	5,99	16,52	0,13	0,30	0,74	5,78
31	1	1,62	8,04	7,94	6,10	17,42	0,14	0,35	0,67	5,77
40	1	1,65	8,09	8,00	6,49	15,72	0,13	0,25	0,76	5,15
Median		1,62			6,10					
Gennemsnit				8,54		20,86	0,19	0,28	0,72	6,00

Geotekniske analyser

NOTAT

Til
Carsten Helvind

Fra
Gert Hansen

RAMBØLL
Bredevej 2
DK-2830 Virum

Tlf: 4598 6000
Direkte tlf: 4598 6764
Fax: 4598 6700
E-post: glh@ramboll.dk
Web: www.ramboll.dk

Geoteknisk prøvning af jord til termisk behandling

I forbindelse med geoteknisk prøvning af forurenede jord før og efter termisk behandling er der på leverede prøver udført i alt 20 kornkurveanalyser (jvf. bilag G1- G4) og 17 Standard Proctor forsøg (jvf. bilag P1- P17).

Der er derudover målt naturligt (in situ) vandindhold w i laboratoriet for samtlige 37 prøver, som dels fremgår af bilag VI vedrørende vandindholdene for prøverne til kornkurveanalyserne, dels af Standard Proctor bilagene for prøverne til Standard Proctorforsøg. Desuden er der målt vandindhold for 5 ekstra leverede prøver B2-1-1A, -2A, -3A, -4A og -5A, som også fremgår af bilag VI.

Kornkurveanalyse og vandindholdsbestemmelse er udført på følgende 20 prøver:

- B1-Før-1, -4, -10, -13, -19, -22, -28, -31, -34 og -37 (alle før termisk behandling)
- B2-Før-1, -13, -22, -31, -40 (alle før termisk behandling)
- B1-2 -2, -8, -14, -20 og -26 (alle efter termisk behandling)

Standard Proctor forsøg og vandindholdsbestemmelse er udført på følgende 17 prøver:

- B1-Før-1, -4, -10, -13, -19, -22, -28, -31, -34 og -37 (alle før termisk behandling)
- B2-Før-13 og -31 (begge før termisk behandling)
- B1-2 -2, -8, -14, -20 og -26 (alle efter termisk behandling)

Kornkurveanalyse er udført som kombineret vådsigtning og slemning (hydrometeranalyse) baseret på DS 405.8 og DS 405.9 med skønnet kornrumvægt på 2,65 g/cm³.

Standard Proctorforsøg er udført i 10 cm form efter VD 611 (Prøveforskrifter, vejgeotekniske rutineforsøg fra Statens Vejlaboratorium 1969) efter frasortering af materiale større end 16 mm.

Bilag G1-G4 samt P1-P17 og VI

Dato 2001-03-06
Revideret
Initialer GLH/sgu/glh
Sag 145101A
Jnr. note

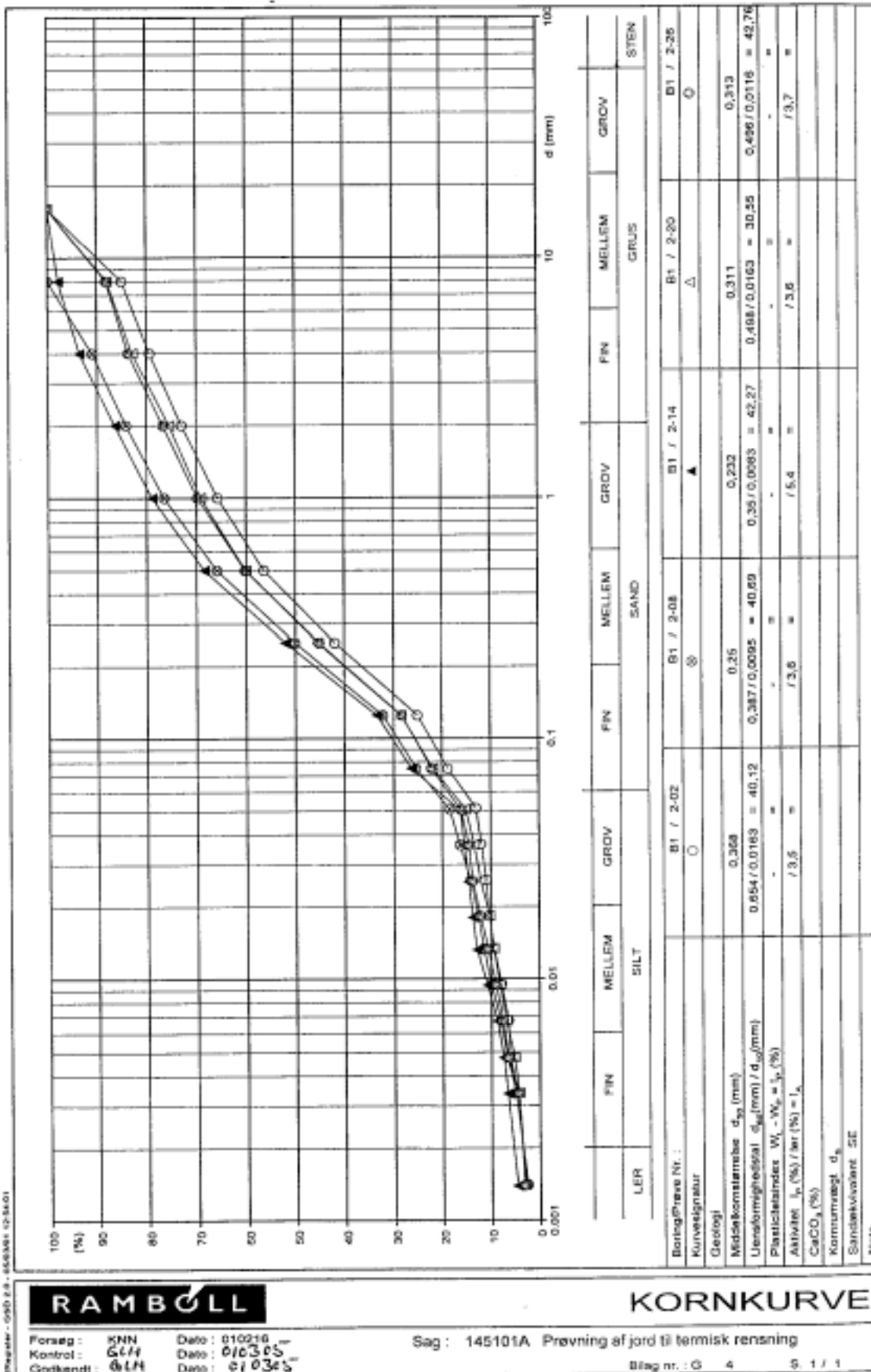
Medlem af F.R.I.
CVR-NR 35128417

Vandindholdsbestemmelse er baseret på DS 405.11.

Det bemærkes at såvel et organisk indhold som et indhold af forurening (f. eks. tungmetaller) kan påvirke kornkurverne. Den termiske opvarmning til ca. 600 °C og eventuel følgende sammenkitning af korn har naturligvis også indflydelse på kornkurven for disse prøver, men hvor permanent denne sammenkitning måtte være er ikke undersøgt eller kendt.

Med venlig hilsen
RAMBØLL


Gert L. Hansen



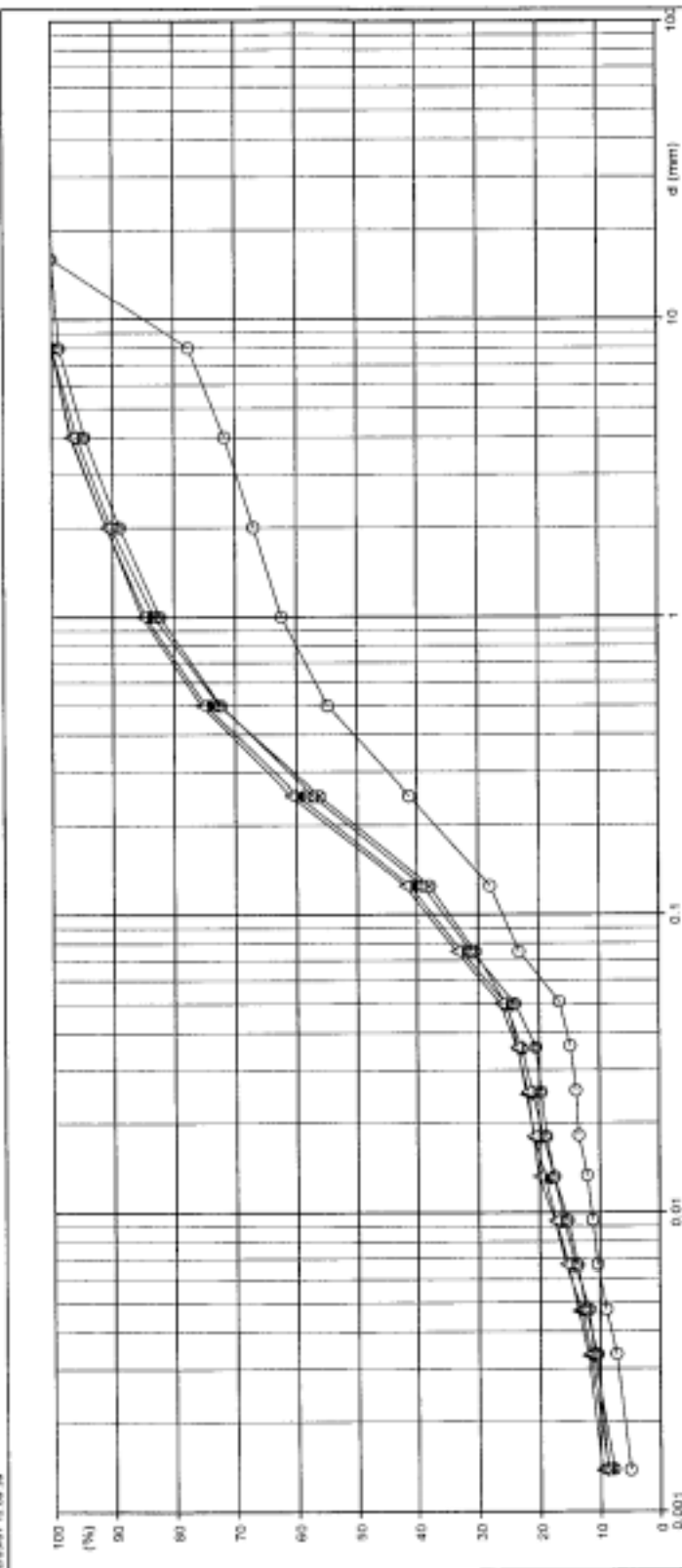
KORNBURVE

Forøag : KNN Dato : 010216
 Kontrol : G/LH Dato : 010305
 Godkendt : G/LH Dato : 010305

Sag : 145101A Prøvnng af jord til termisk rensning

Bilag nr. : G 4 S. 1 / 1

PROGRAM - OSD 2.0 - 05/09/01 - 12.08.18



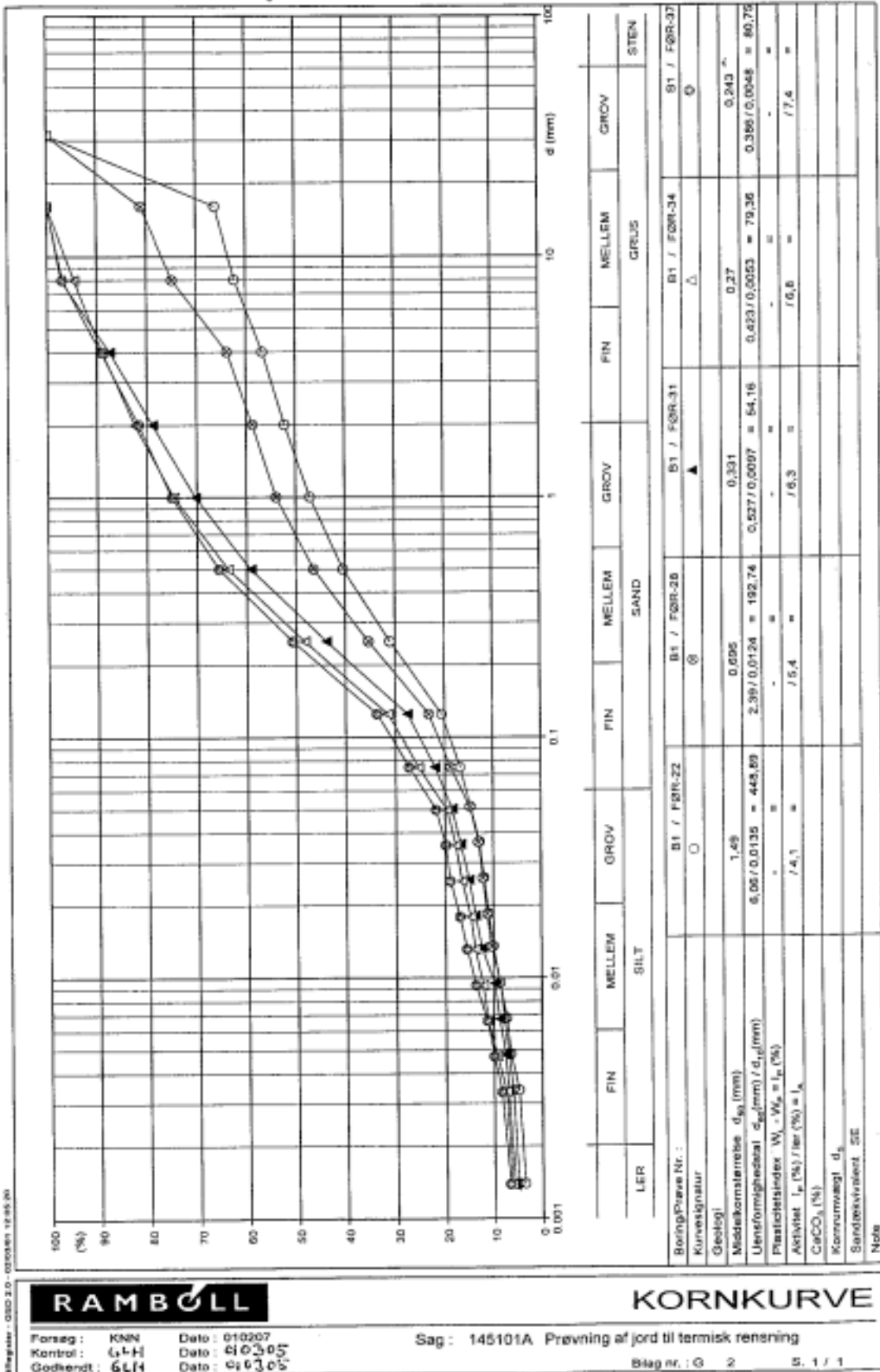
LEIR	SILT		SAND		GRØV		FIN		MELLEM		GRØV		MELLEM		GRØV		MELLEM		GRØV			
	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	FIN	MELLEM	GRØV	
Boring/Prøve Nr.:			B2 / FBR-1		B2 / FBR-13		B2 / FBR-22		B2 / FBR-31		B2 / FBR-40											
Kurvesignatur			○		⊙		▲		△		○											
Geologi																						
Middeldiameter d_{50} (mm)			0,39		0,197		0,174		0,168													
Uænetningsgrad d_{10}/d_{90} (mm)			0,003 / 0,0061 = 0,532,07		0,293 / 0,0029 = 115,36		0,263 / 0,0015 = 168,45		0,242 / 0,0021 = 117,45													
Plastisitetsindeks $W_L - W_p = I_p$ (%)																						
Aktivitet I_a (%) / I_p (%) = I_a			/ 6,0 =		/ 9,1 =		/ 10,7 =		/ 9,9 =													
CaCO ₃ (%)																						
Kornmængde d_{60}																						
Sandekvivalent SF																						
Note																						

KORNBURVE

Forsøg: KNN Dato: 010216
 Kontrol: GLH Dato: 010305
 Godkendt: GLH Dato: 010305

Sag: 145101A Prøvning af jord til termisk rensning

Bilag nr.: 0 3 8. 1 / 1



Bilag nr. : 030 2.0 - 030081 18.05.00



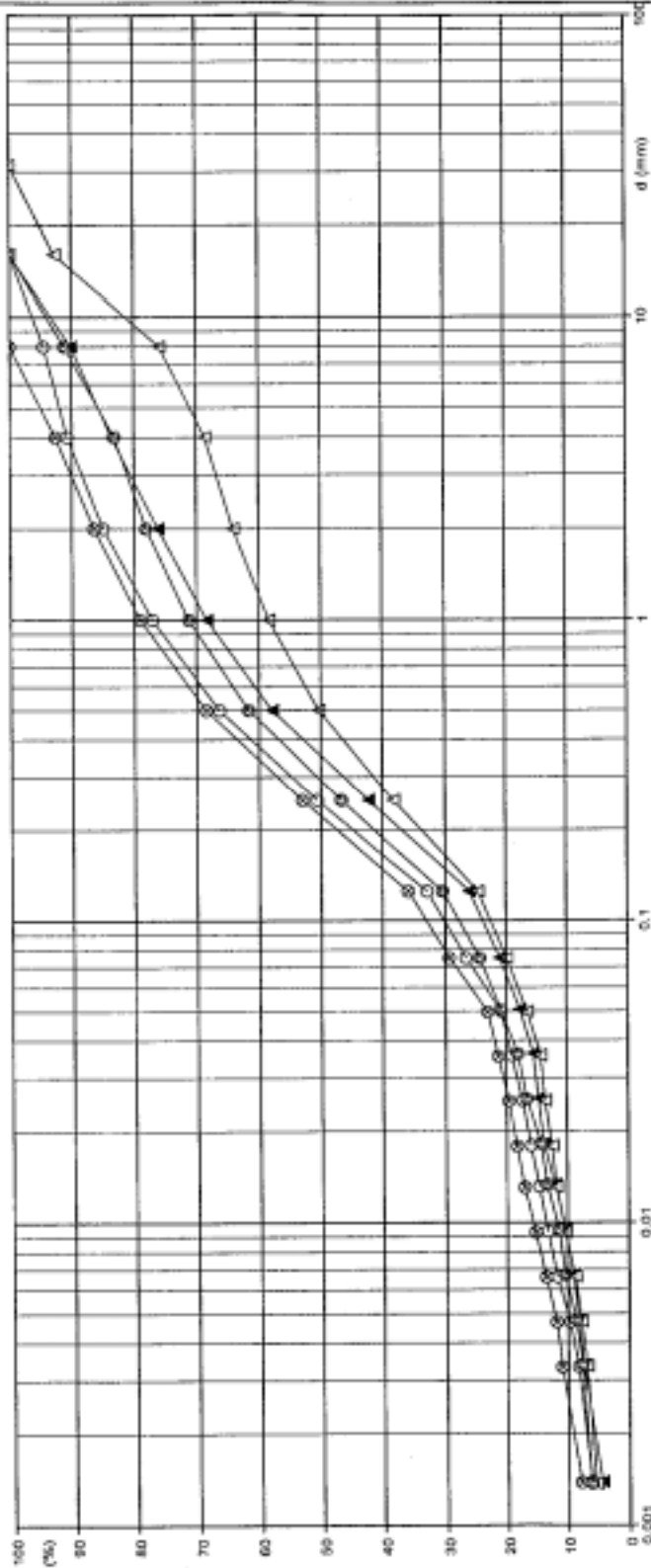
KORNKURVE

Forsøg : KNN Dato : 010207
 Kontrol : G+H Dato : 010305
 Godkendt : GLH Dato : 010305

Sag : 145101A Prøvning af jord til termisk rensning

Bilag nr. : G 2 S. 1 / 1

010216-0001-0001-000001-12-03-43



	SILT			SAND			GRUS			STEN					
	FIN	MELLEM	GROV	FIN	MELLEM	GROV	FIN	MELLEM	GROV						
Boring/Prøve Nr.:			B1 / FBR-1			B1 / FBR-10			B1 / FBR-13			B1 / FBR-19			B1 / FBR-4
Kornstørrelser			○			⊗			▲			△			○
Geologi															
Middeldiameter d_{50} (mm)			0,244			0,221			0,352			0,49			0,291
Uensformighedsstal d_{60}/d_{10} (mm)			0,378 / 0,006 = 75,0			0,342 / 0,0026 = 131,59			0,574 / 0,0087 = 65,88			1,22 / 0,0036 = 142,89			0,464 / 0,0053 = 74,12
Plasticitetsindeks $W_L - W_p = I_p$ (%)			-			-			-			-			-
Aktuelle L_p (%) / ler (%) = I_A			17,0			79,1			75,7			70,0			70,8
CaCO ₃ (%)															
Kornrumf. d_{10}															
Sandskivolum. SE															
Note															



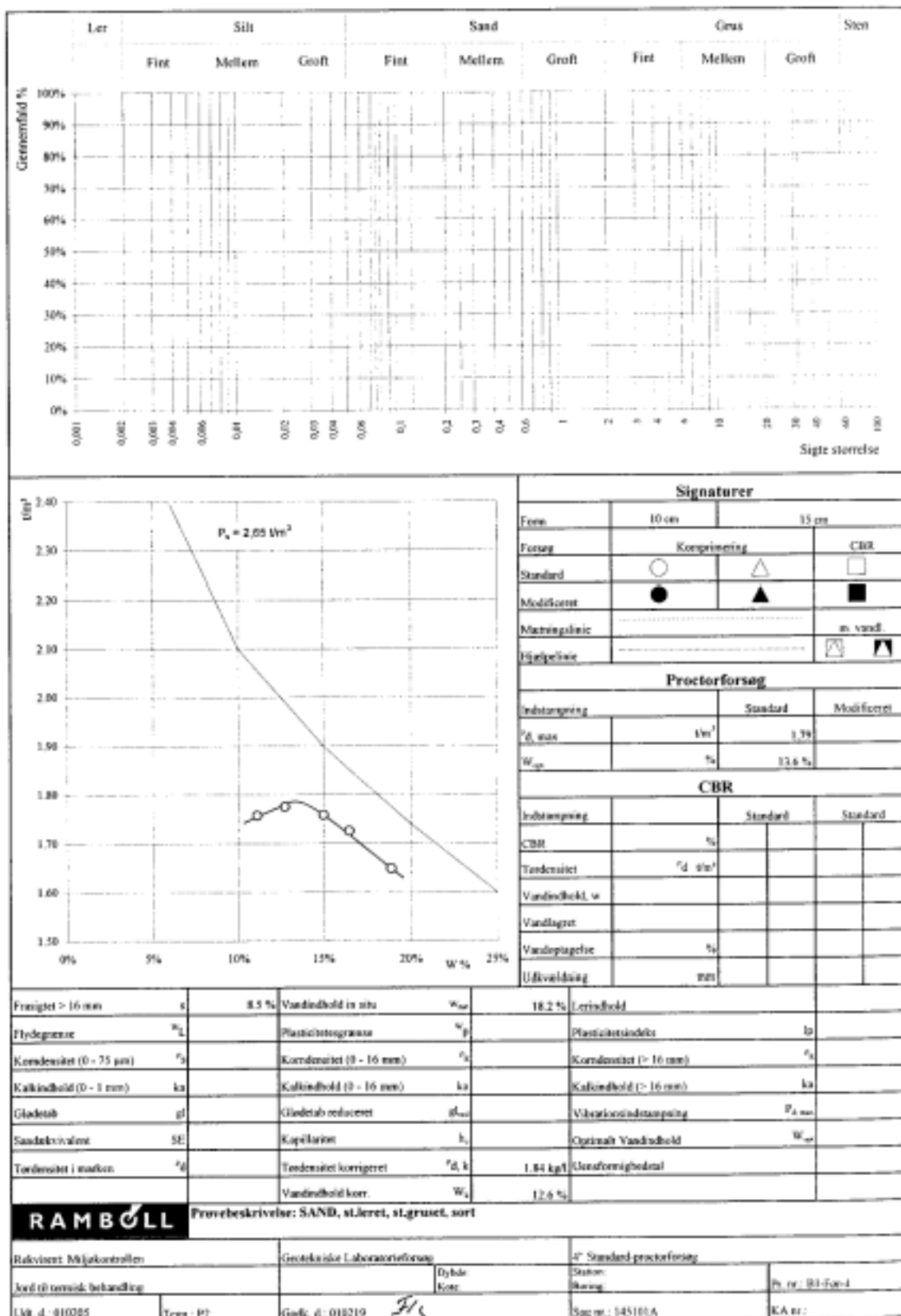
KORNKURVE

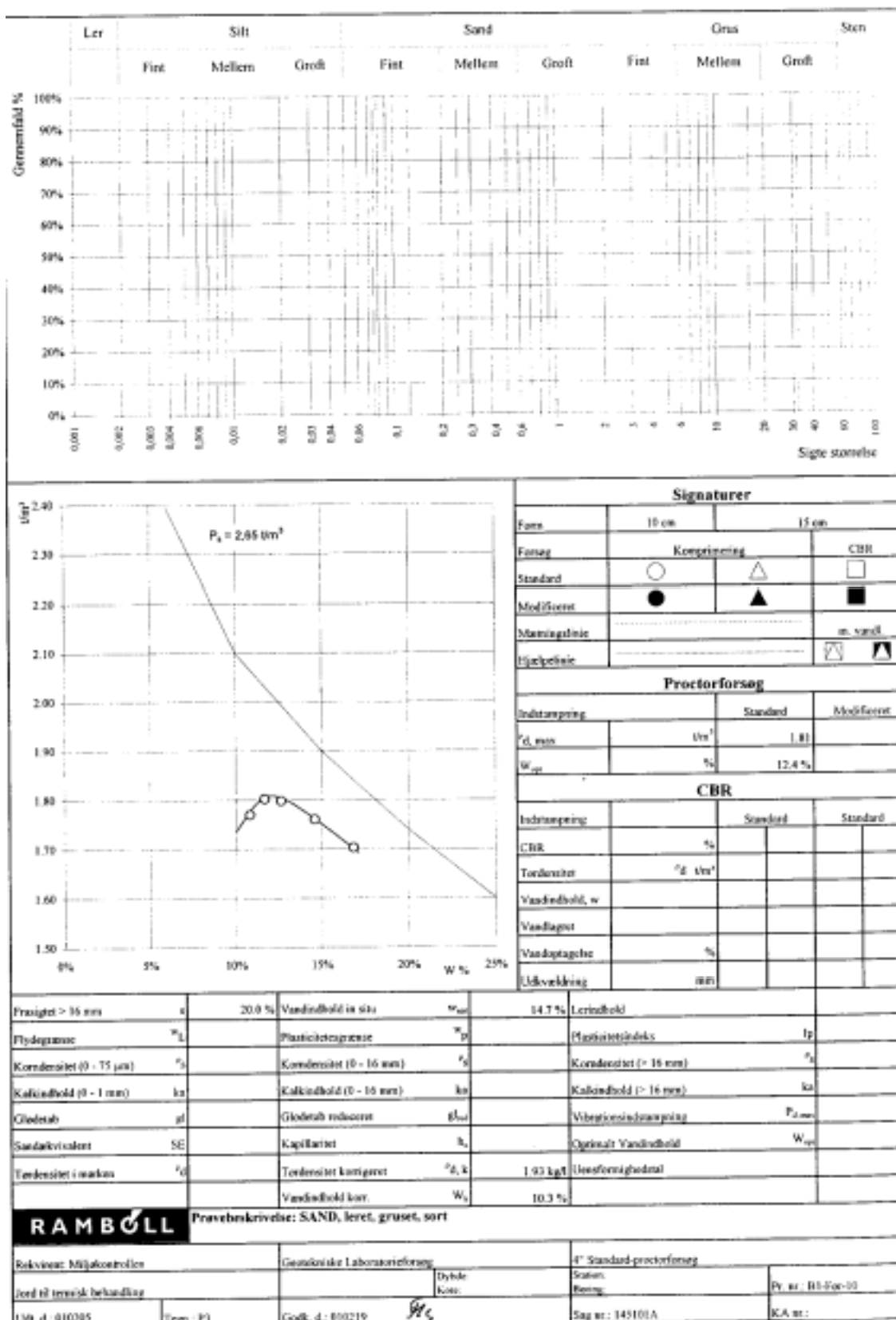
Forseg: KNN Dato: 010216
 Kontrol: GLH Dato: 010305
 Godkendt: GLH Dato: 010305

Sag: 145101A Prøvning af jord til termisk rensning

Bilag nr.: C 1 8. 1 / 1

	Ler			Silt			Sand			Grus																																																																				
		Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem		Groft																																																																
Gennemfald %													Sigte størrelse																																																																	
													<p style="text-align:center;">Signaturer</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Form</th> <th>10 cm</th> <th>15 cm</th> </tr> <tr> <td>Forseg</td> <td colspan="2" style="text-align:center;">Komprimering</td> </tr> <tr> <td>Standard</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">△</td> </tr> <tr> <td>Modificeret</td> <td style="text-align:center;">●</td> <td style="text-align:center;">▲</td> </tr> <tr> <td>Målingslinje</td> <td colspan="2" style="text-align:center;">m. vandl.</td> </tr> <tr> <td>Stjærkelinje</td> <td colspan="2" style="text-align:center;">□</td> </tr> </table>		Form	10 cm	15 cm	Forseg	Komprimering		Standard	○	△	Modificeret	●	▲	Målingslinje	m. vandl.		Stjærkelinje	□																																															
Form	10 cm	15 cm																																																																												
Forseg	Komprimering																																																																													
Standard	○	△																																																																												
Modificeret	●	▲																																																																												
Målingslinje	m. vandl.																																																																													
Stjærkelinje	□																																																																													
Proctorforsøg																																																																														
Indstøvspring			Standard			Modificeret																																																																								
γ _{d, max}			cm ³			1.83																																																																								
w _{opt}			%			11.8%																																																																								
CBR																																																																														
Indstøvspring			Standard			Standard																																																																								
CBR			%																																																																											
Terdesitet			γ _d km ³			1.89																																																																								
Vandindhold, w			%																																																																											
Vandagret			%																																																																											
Vandoptagelse			%																																																																											
Udfældning			mm																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%;">Fragtet > 16 mm</td> <td style="width:10%;">x</td> <td style="width:10%;">9.6 %</td> <td style="width:10%;">Vandindhold in situ</td> <td style="width:10%;">w_{in}</td> <td style="width:10%;">15.7 %</td> <td style="width:10%;">Læsindhold</td> <td style="width:10%;"></td> </tr> <tr> <td>Flydegrænse</td> <td>w_L</td> <td></td> <td>Plasticitetsgrænse</td> <td>w_p</td> <td></td> <td>Plasticitetsindeks</td> <td>Ip</td> </tr> <tr> <td>Kornestør (0 - 75 μm)</td> <td>γ_s</td> <td></td> <td>Kornestør (0 - 16 mm)</td> <td>γ_s</td> <td></td> <td>Kornestør (> 16 mm)</td> <td>γ_s</td> </tr> <tr> <td>Kalkindhold (0 - 1 mm)</td> <td>ka</td> <td></td> <td>Kalkindhold (0 - 16 mm)</td> <td>ka</td> <td></td> <td>Kalkindhold (> 16 mm)</td> <td>ka</td> </tr> <tr> <td>Globulinh</td> <td>gl</td> <td></td> <td>Globulinh vedvandet</td> <td>gl_v</td> <td></td> <td>Vibrationsindstøvspring</td> <td>P_{1, max}</td> </tr> <tr> <td>Sandskvivalens</td> <td>SE</td> <td></td> <td>Kapillaritet</td> <td>h_c</td> <td></td> <td>Optimal Vandindhold</td> <td>w_{opt}</td> </tr> <tr> <td>Terdesitet i marken</td> <td>γ_d</td> <td></td> <td>Terdesitet korrigeret</td> <td>γ_{d, k}</td> <td>1.89 kgf</td> <td>Uensfornighedsind</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Vandindhold kor.</td> <td>w_k</td> <td>10.8 %</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													Fragtet > 16 mm	x	9.6 %	Vandindhold in situ	w _{in}	15.7 %	Læsindhold		Flydegrænse	w _L		Plasticitetsgrænse	w _p		Plasticitetsindeks	Ip	Kornestør (0 - 75 μm)	γ _s		Kornestør (0 - 16 mm)	γ _s		Kornestør (> 16 mm)	γ _s	Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka		Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka		Kalkindhold (> 16 mm)	ka	Globulinh	gl		Globulinh vedvandet	gl _v		Vibrationsindstøvspring	P _{1, max}	Sandskvivalens	SE		Kapillaritet	h _c		Optimal Vandindhold	w _{opt}	Terdesitet i marken	γ _d		Terdesitet korrigeret	γ _{d, k}	1.89 kgf	Uensfornighedsind					Vandindhold kor.	w _k	10.8 %				
Fragtet > 16 mm	x	9.6 %	Vandindhold in situ	w _{in}	15.7 %	Læsindhold																																																																								
Flydegrænse	w _L		Plasticitetsgrænse	w _p		Plasticitetsindeks	Ip																																																																							
Kornestør (0 - 75 μm)	γ _s		Kornestør (0 - 16 mm)	γ _s		Kornestør (> 16 mm)	γ _s																																																																							
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka		Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka		Kalkindhold (> 16 mm)	ka																																																																							
Globulinh	gl		Globulinh vedvandet	gl _v		Vibrationsindstøvspring	P _{1, max}																																																																							
Sandskvivalens	SE		Kapillaritet	h _c		Optimal Vandindhold	w _{opt}																																																																							
Terdesitet i marken	γ _d		Terdesitet korrigeret	γ _{d, k}	1.89 kgf	Uensfornighedsind																																																																								
			Vandindhold kor.	w _k	10.8 %																																																																									
RAMBOLL Prøvebeskrivelse: SAND, leret, gruset, sort																																																																														
Relevant Målekontrol					Geoteknisk Laboratorieforsøg					4" Standard-proctorforsøg																																																																				
Jord til termisk behandling					Dybde Korr.					Serier Boring																																																																				
Udr. d.: 00205					Tegn.: P1					Gulv. d.: 010219					Sag nr.: 145101A																																																															
															Pr. nr.: B1-Tar-1																																																															
															KA nr.:																																																															





Signaturer

Forsøg	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompriering	CBR
Standard	○	△
Modifiseret	●	▲
Mærkeplacering		m. vand
Hjælpeplacering		△

Proctorforsøg

Indstamping	Standard	Modifiseret
ρ _{d, max}	1.81	
W _{opt}	12.4 %	

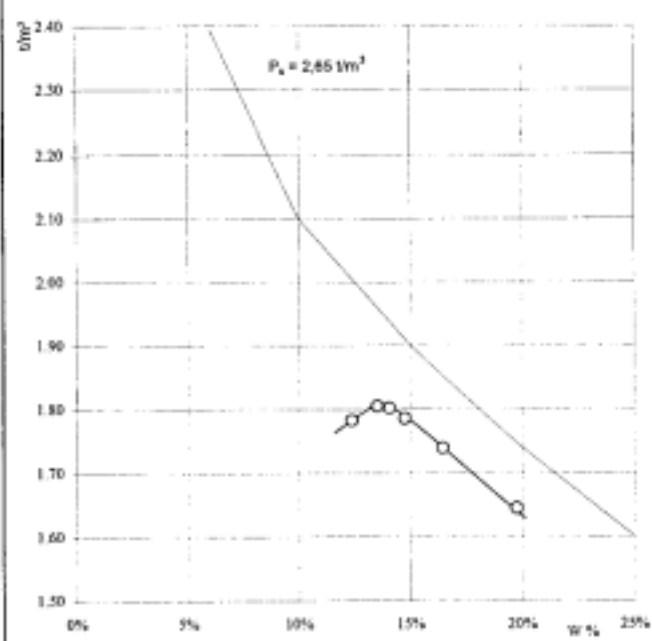
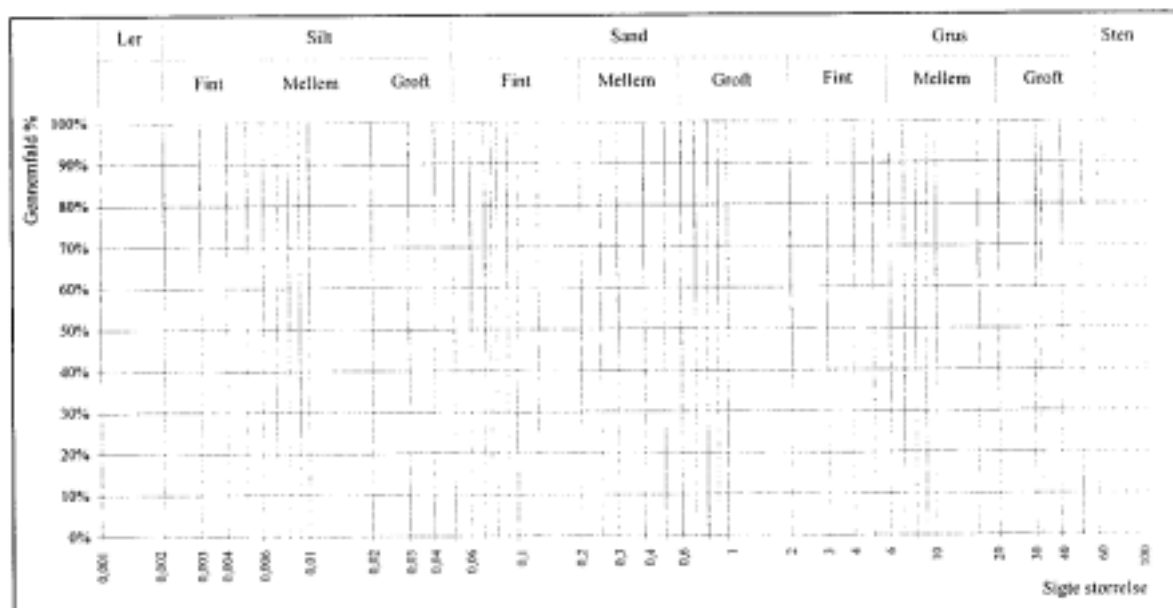
CBR

Indstamping	Standard	Standard
CBR	%	
Tørrestet	ρ _d t/m ³	
Vandindhold, w		
Vandlaget		
Vandoptagelse	%	
Udvælgelse	mm	

Fraktion > 16 mm	4	20.0 %	Vandindhold in situ	w _{in}	14.7 %	Lerindhold	
Flydegrænse	% _L		Plasticitetegrænse	% _P		Plasticitetindeks	I _p
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	%		Kornstørrelse (0 - 16 mm)	%		Kornstørrelse (> 16 mm)	%
Kalkindhold (0 - 1 mm)	kg		Kalkindhold (0 - 16 mm)	kg		Kalkindhold (> 16 mm)	kg
Globetab	g		Globetab reducent	g _{red}		Vibrationsindstamping	P _{d, max}
Sandaktivitet	SE		Kapillæret	h _c		Optimalt Vandindhold	W _{opt}
Tørrestet i oven	ρ _d		Tørrestet kompakt	ρ _{d, k}	1.93 kg/t	Uensformighedstal	
			Vandindhold kom.	W _s	10.3 %		

RAMBOLL Prøvebeskrivelse: SAND, leret, gruset, sort

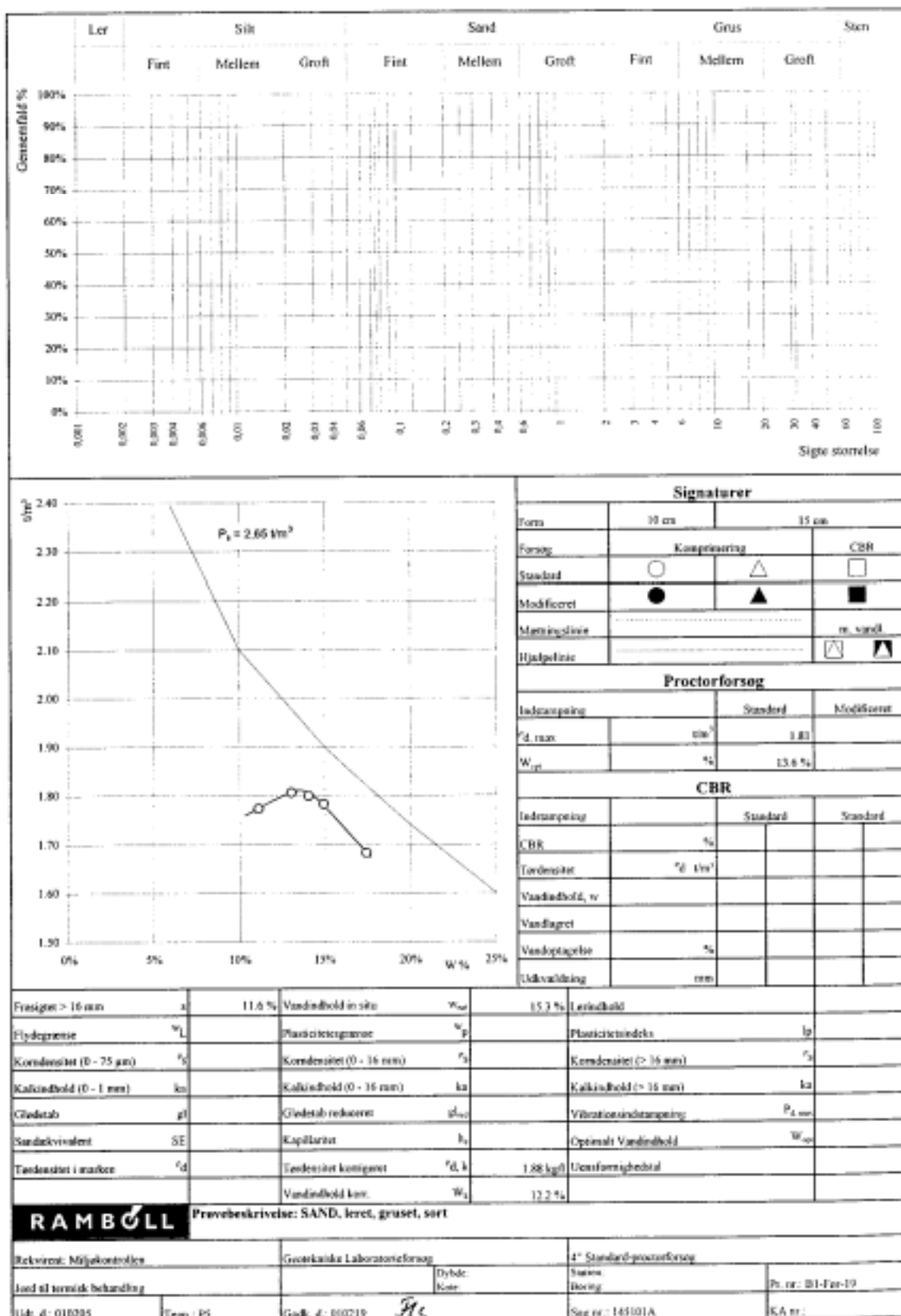
Rokværet: Miljøkontrol	Geoteknisk Laboratorieforsøg	4" Standard-proctorforsøg
Jord til kemisk behandling	Dybde: Kote: <i>HS</i>	Station: Recept: Pr. nr.: B1-000-00
Udt. d.: 010305	Tegn.: P)	Godk. d.: 010219 Sag nr.: 145101A KJA. nr.:

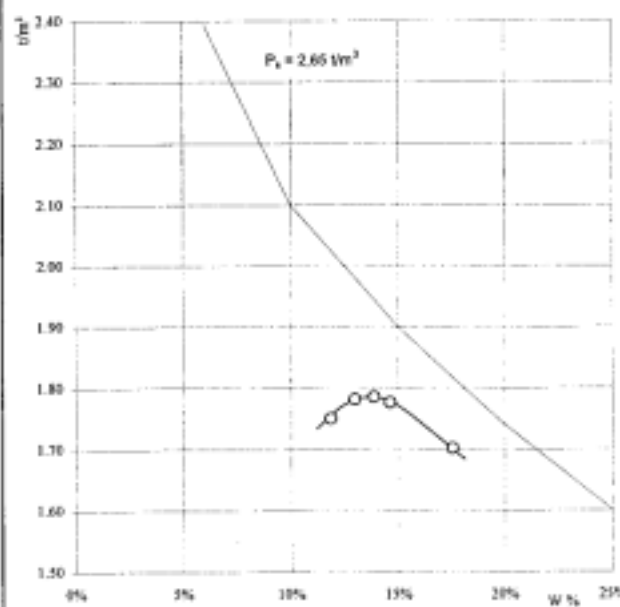
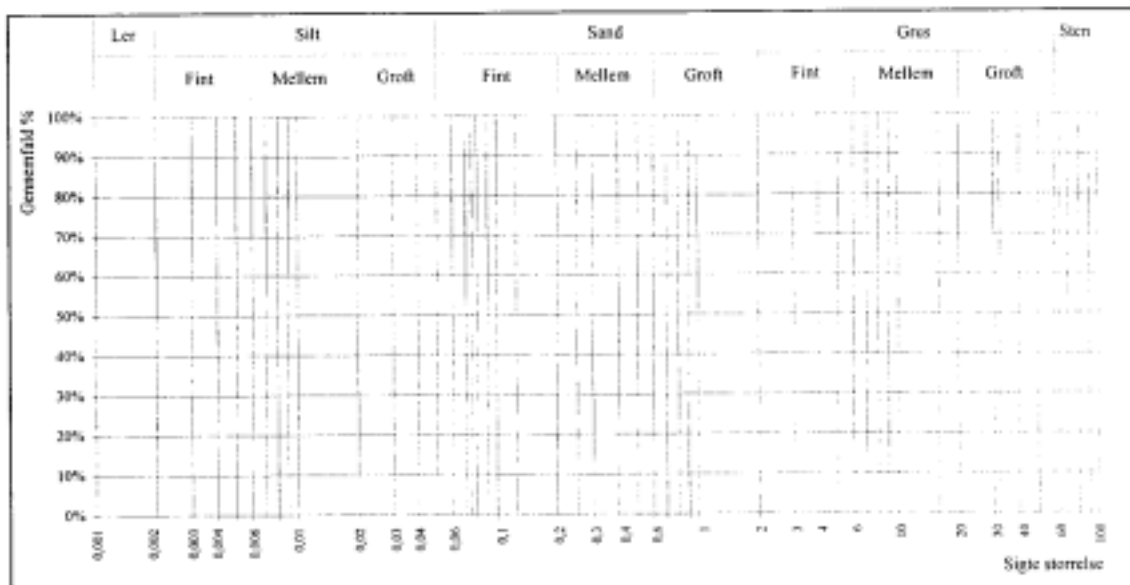


Signaturer		
Forn	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkningsside		n. vandl.
Hjælpside		▽
Proctorforsøg		
Indtærpsring	Standard	Modificeret
$\sigma'_{d, max}$	(kN/m²)	1.81
W_{opt}	%	13.3%
CBR		
Indtærpsring	Standard	Standard
CBR	%	
Tændesnit	$\sigma'_{d, kn}$	
Vandindhold, w		
Vandlaget		
Vandoptagelse	%	
Udkvælbinding	mm	

Fresigt > 16 mm	s	4.2 %	Vandindhold in situ	w_{in}	16.7 %	Lerindhold	
Flydegrænse	w_L		Plasticitetegrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_p
Kornensitet (0 - 75 µm)	$\%_0$		Kornensitet (0 - 16 mm)	$\%_0$		Kornensitet (> 16 mm)	$\%_0$
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k_a		Kalkindhold (0 - 16 mm)	k_a		Kalkindhold (> 16 mm)	k_a
Glødetab	gl		Glødetab reduceret	β_{red}		Vibrationsindtærpsring	$P_{v, max}$
Sandekvivalent	SE		Kapillaritet	h_c		Optimalt Vandindhold	w_{opt}
Tændesnit i marken	$\sigma'_{d, k}$		Tændesnit korrigeret	$\sigma'_{d, k}$	1.83 kN/m²	Uensformighedsstal	
			Vandindhold kor.	w_k	13.3 %		

RAMBOLL		Prøvebeskrivelse: SAND, leret, gruset, sort	
Rekvirert: Miljøkontrol	Geoteknisk Laboratorieforsøg	4" Standard-proctorforsøg	
Jagt til termisk behandling	Dybde: Kor:	Statens Boring	Pr. nr.: BI-Far-13
Udt. d.: 010205	Tegn.: P4	Godk. d.: 010219	Sag nr.: 145101A





Signaturer		
Forn	10 cm	15 cm
Forsøg	Komprimering	
Standard	○	△
Modifiseret	●	▲
Målingsdato	in vand	
Blækbelene	□	

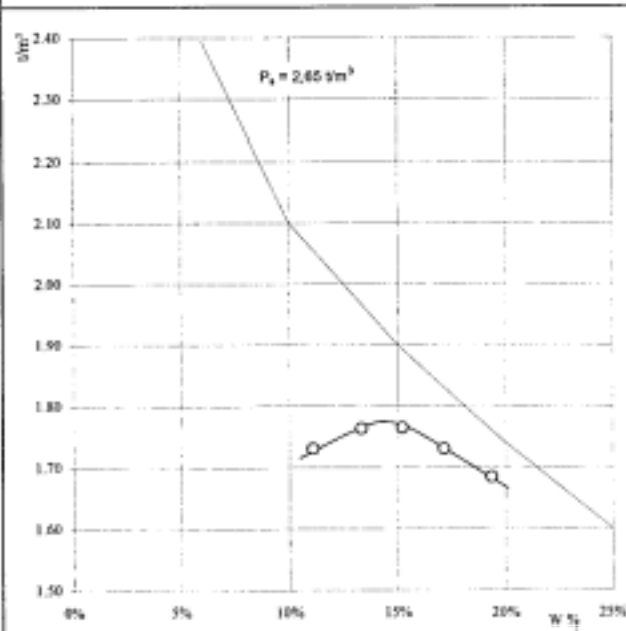
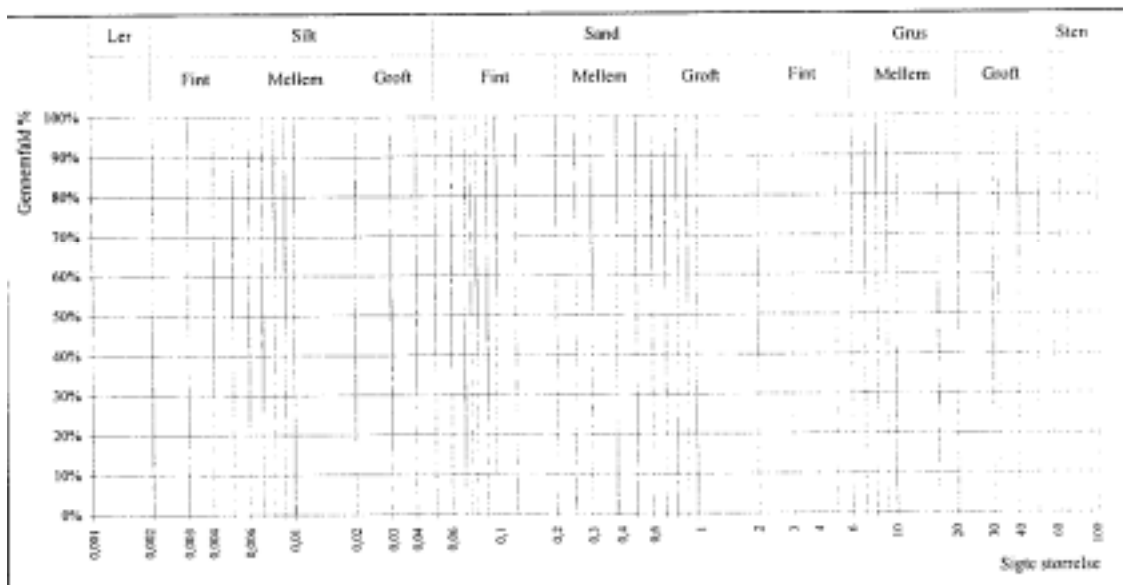
Proctorforsøg		
Indstamping	Standard	Modifiseret
ρ_d , t/m^3	1.79	
w_{opt} , %	13.6%	

CBR		
Indstamping	Standard	Standard
CBR, %		
Tørtesitet, ρ_d , t/m^3		
Vandhold, w		
Vandlaget		
Vandoptagelse, %		
Løskvalitet, mm		

Forsigtigt > 16 mm	8.0 %	Vandhold in situ	w_{in}	16.1 %	Læringshold
Flydegrænse	w_L	Plasticitetegrænse	w_P	Plasticitetsindeks	I_p
Kornenesitet (0 - 75 μm)	ρ_s	Kornenesitet (0 - 16 mm)	ρ_s	Kornenesitet (> 16 mm)	ρ_s
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k_a	Kalkindhold (0 - 16 mm)	k_a	Kalkindhold (> 16 mm)	k_a
Gledetab	g_L	Gledetab reduceret	g_{red}	Vibrationsindtæring	$P_{L,100}$
Sandekvivalens	SE	Kapillaritet	h_c	Optimal Vandhold	w_{opt}
Tørtesitet i marken	ρ_d	Tørtesitet korrigeret	$\rho_{d,k}$	Uensformighedsind	
		Vandindhold kor.	w_k	12.6 %	

RAMBOLL Prøvebeskrivelse: SAND, leret, og gruset, sort

Rekvirent: Målekontrol	Geoteknisk Laboratorieforsøg	Dybde: Kone	4" Standard-procturforsøg
Året til kemisk behandling			Pr. nr.: B1-Far-22
Udt. d.: 09/205	Tegn.: PS	Godk. d.: 01/219	Sag nr.: 145101A



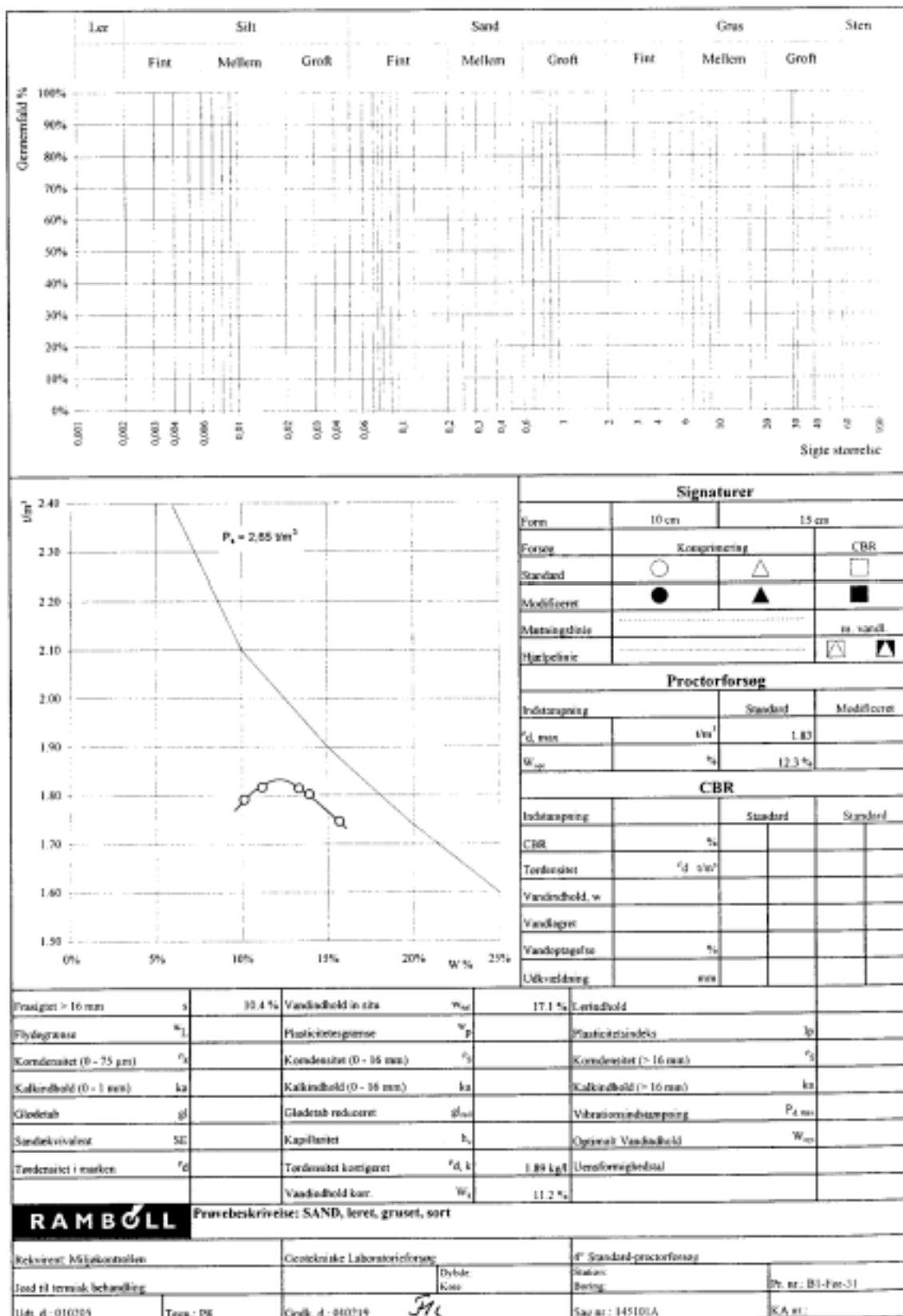
Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Måteangivelse		m. vand
Hjælpefakt		▽

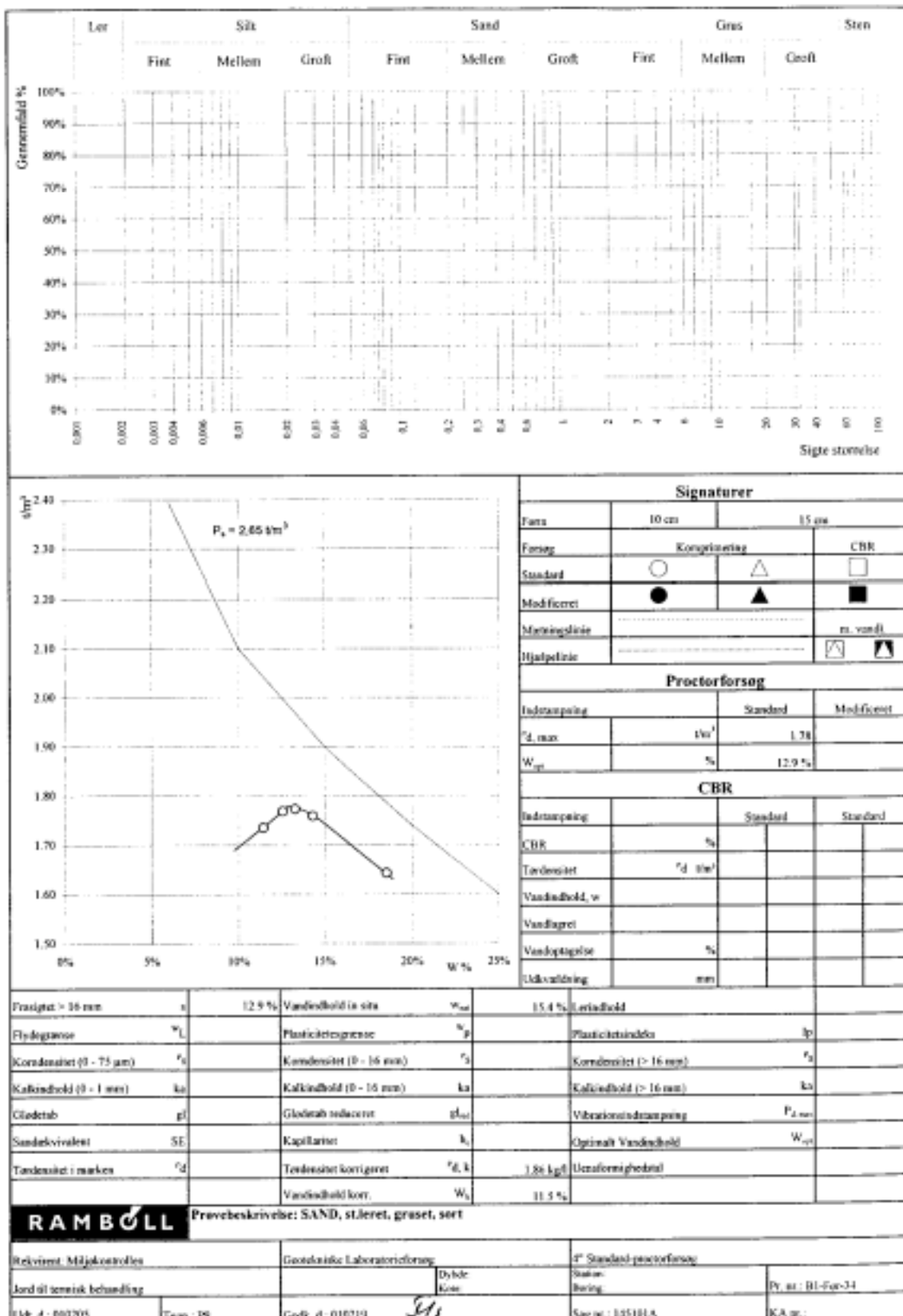
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
ρ_d , max	g/m ³	1.77
W_{opt}	%	14.3%

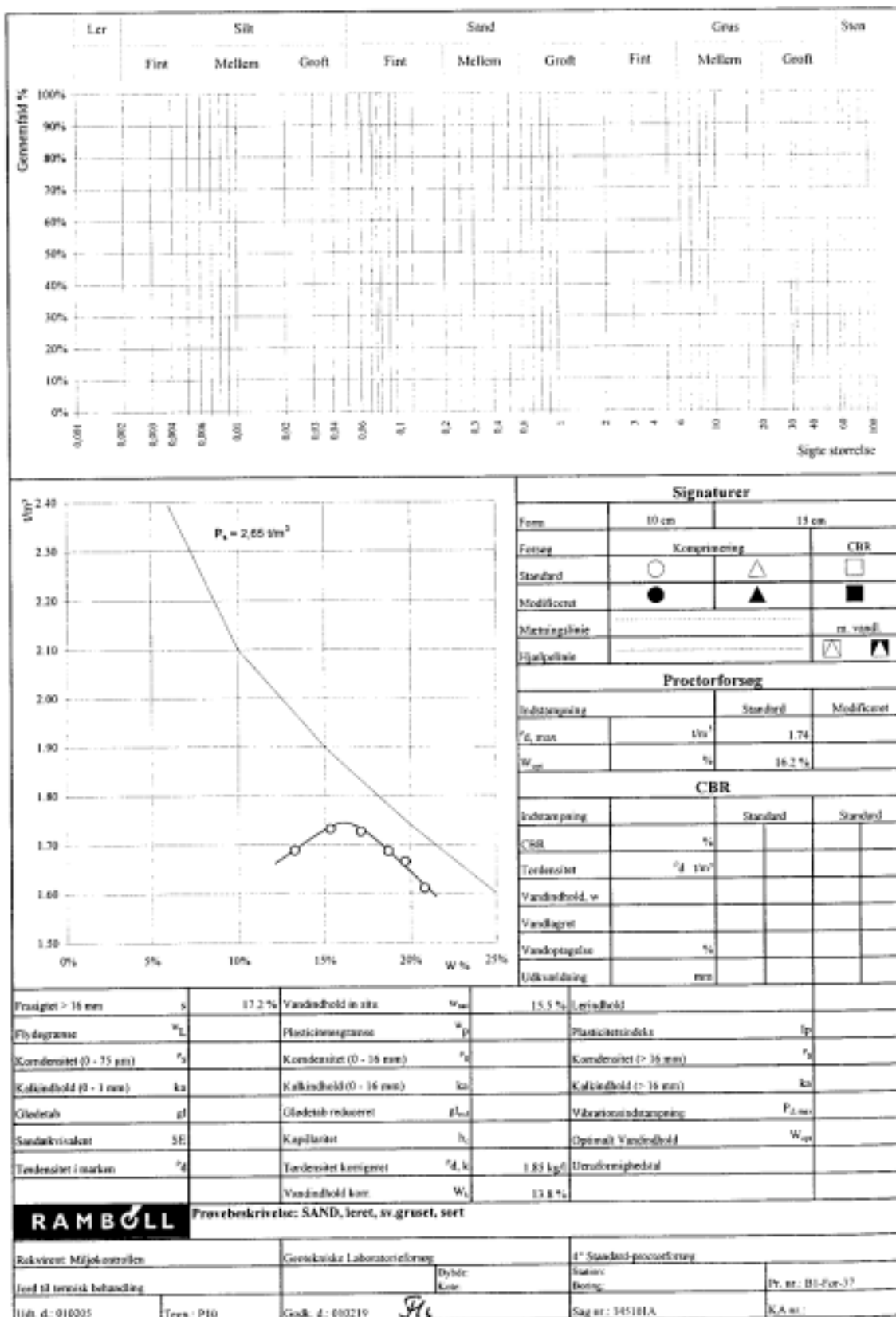
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændesitet	ρ_d (g/m ³)	
Vandindhold, w		
Vandlagret		
Vandoptagelse	%	
Udkvælvning	mm	

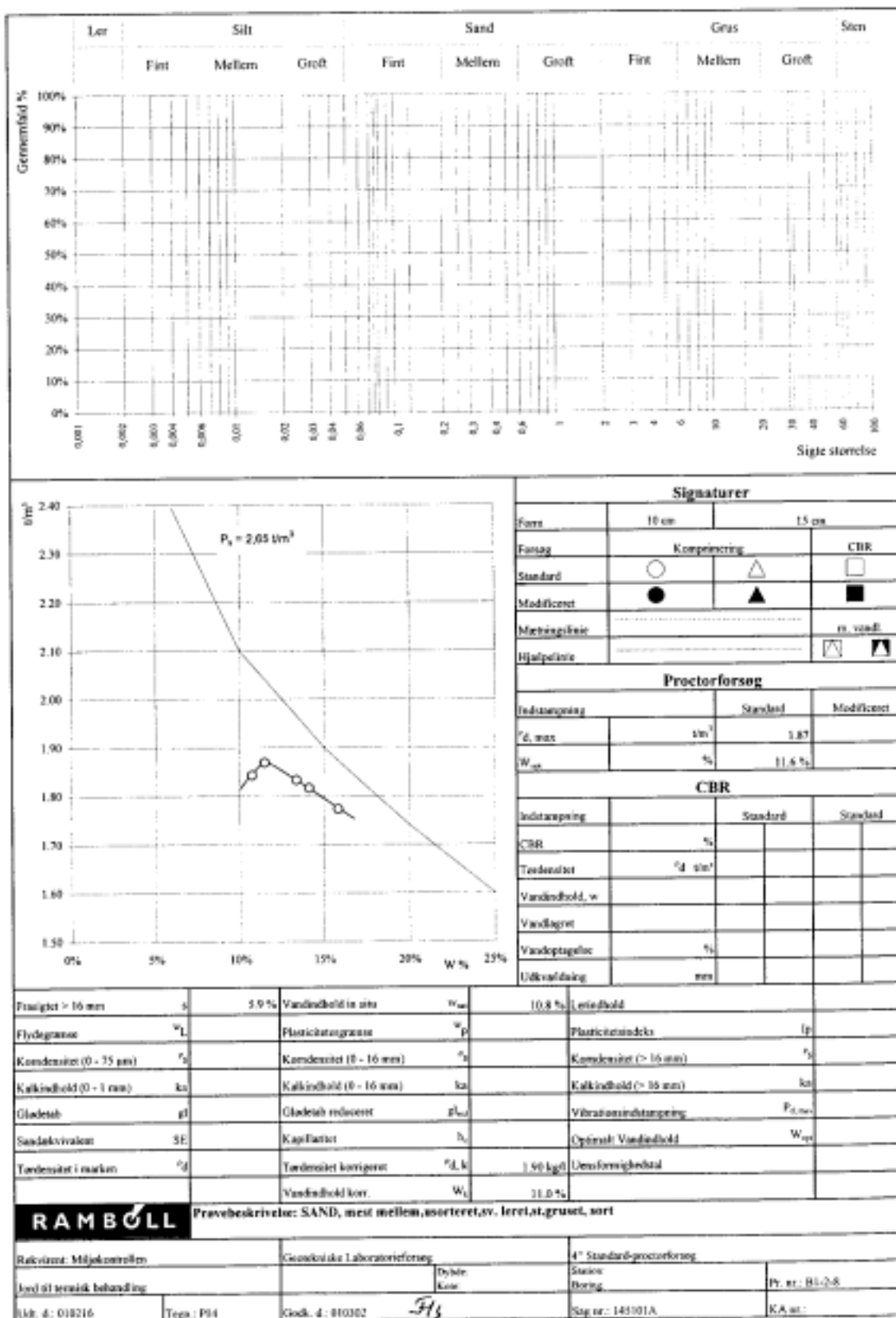
Fraisigt > 16 mm	s	16.2%	Vandindhold in situ	w_w	14.8%	Lerindhold
Flodtgranne	w_L		Plasticitetegrænse	w_p		Plasticitetsindeks
Kornensitet (0 - 75 µm)	r_s		Kornensitet (0 - 16 mm)	r_0		Kornensitet (> 16 mm)
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k_a		Kalkindhold (0 - 16 mm)	k_a		Kalkindhold (> 16 mm)
Gledetab	gl		Gledetab reduceret	gl_{red}		Vibrationsindtæmpning
Sandekvivalent	SE		Kapillaritet	h_c		Optimalt Vandindhold
Tændesitet i madsen	ρ_d		Tændesitet korrigeret	ρ_d, k	1.87 kg/l	Uensformighedsbet
			Vandindhold i m	W_i	12.1%	

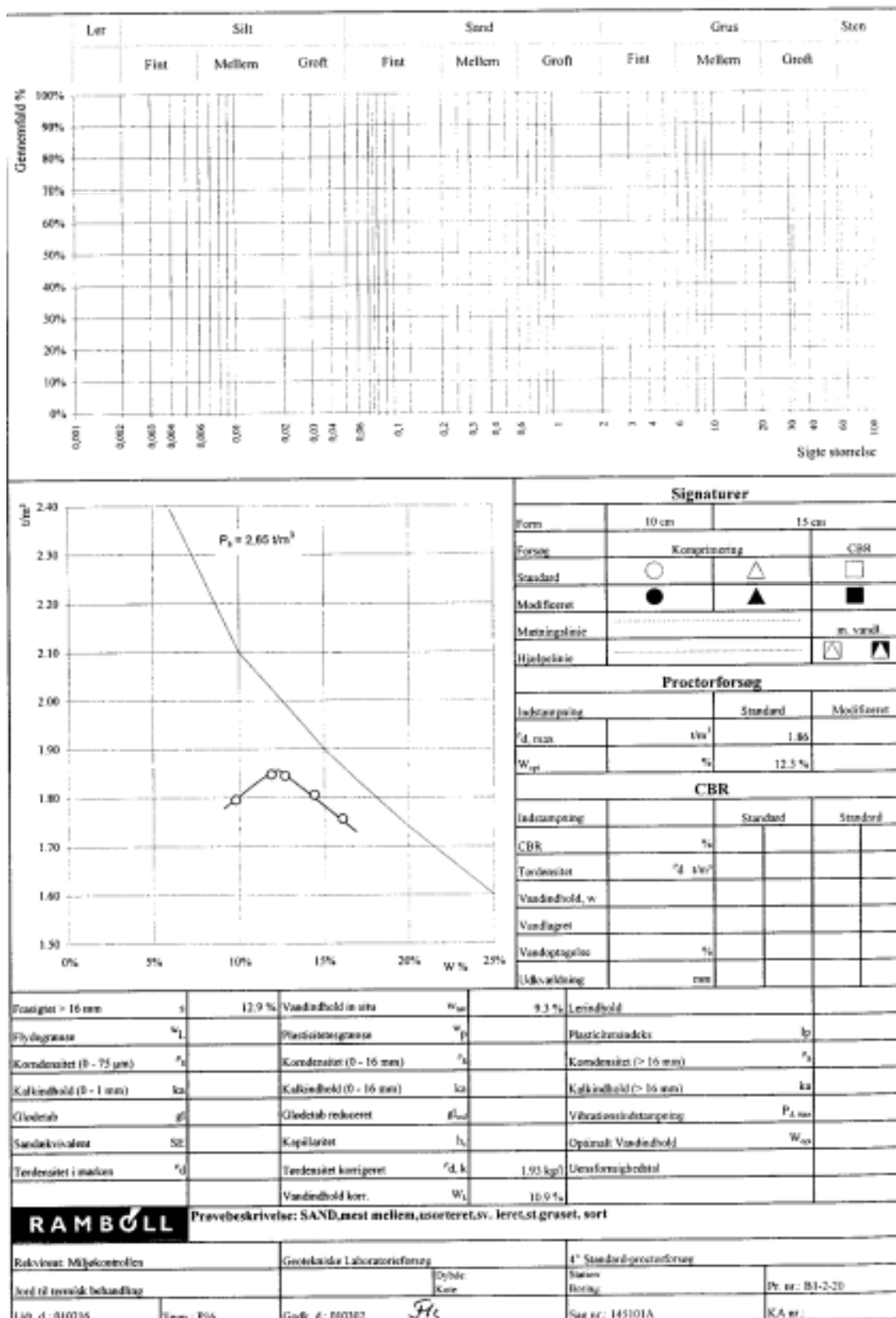
RAMBOLL		Provebeskrivelse: SAND, leret, st.gruset, søft	
Rakvidat: Målekontrol:	Cereskiske Laboratorieforøg	4" Standardproctorforsøg	
Jærf til tørvik behandling		Dybde: 10cm	Start: Bølg
Udt d.: 010205	Tegn.: PT	Kod: d.: 010219	Sag nr.: 145101A
			KA nr.:

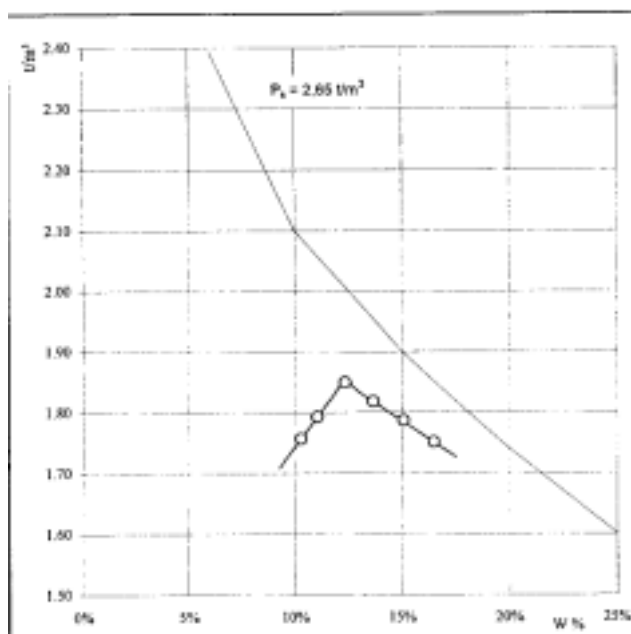
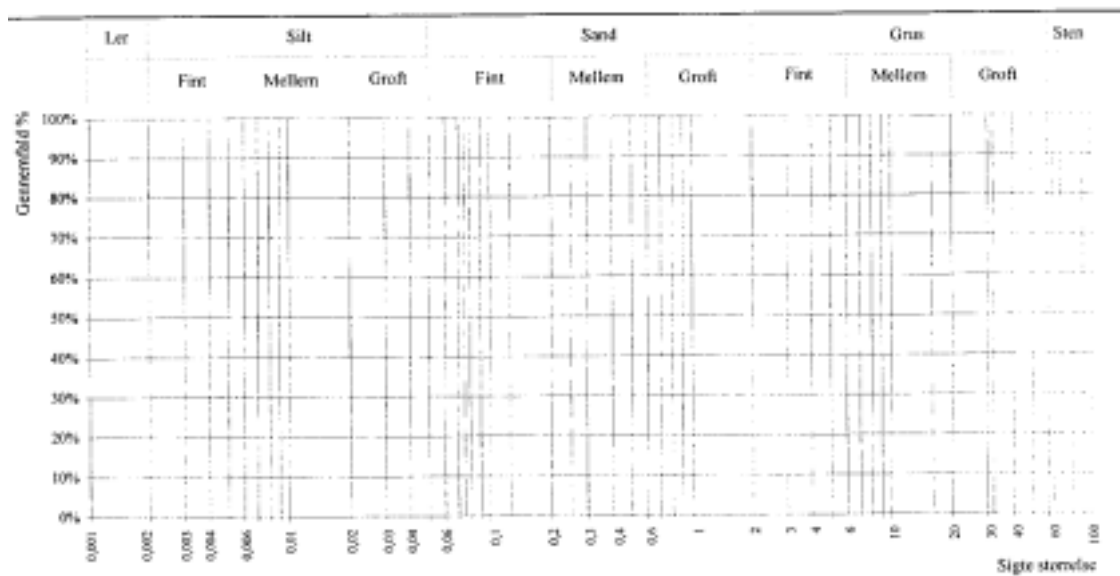








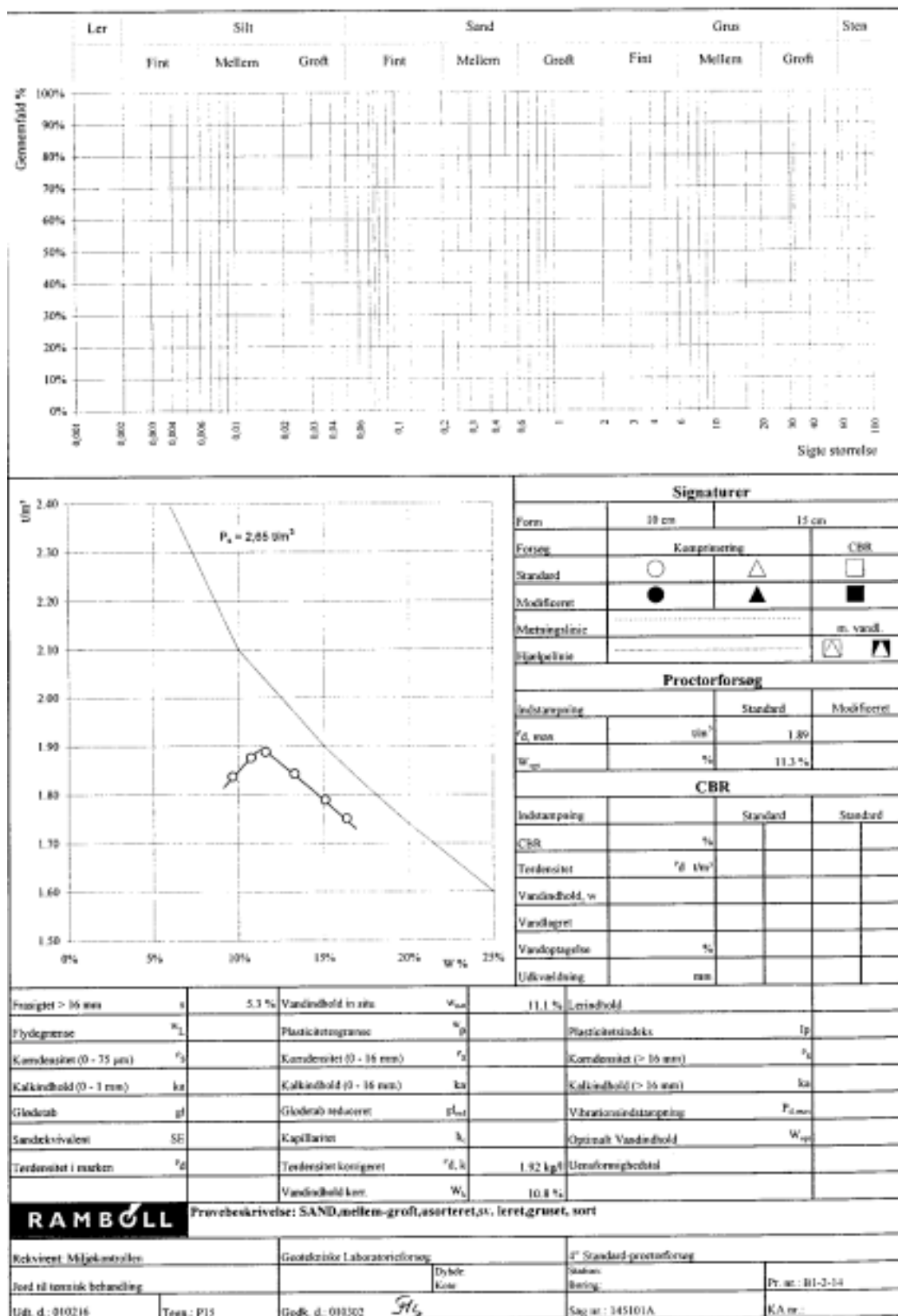


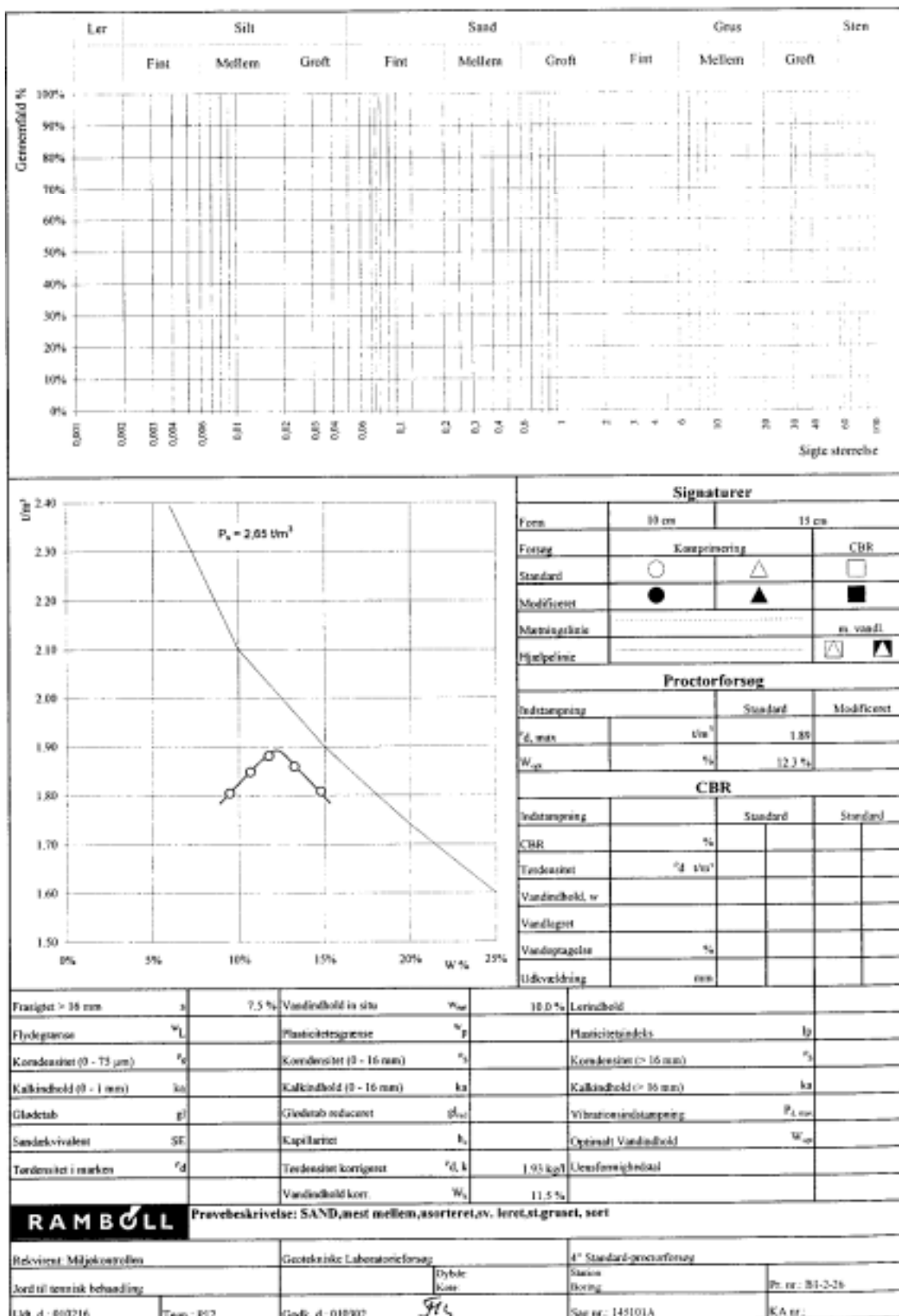


Signaturer			
Form	30 cm	35 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Mærkeskilt			m. vand
Hjælpekort			△ □ ▲
Proctorforsøg			
Indstrøpsring		Standard	Modificeret
$\sigma'_{d, max}$	0 m ²	1.85	
W_{opt}	%	12.3 %	
CBR			
Indstrøpsring		Standard	Standard
CBR	%		
Tendensitet	σ'_d (kPa)		
Vandindhold, w			
Vandlagret			
Vandspælse	%		
Udkvælning	mm		

Fraagret > 16 mm	s	6.5 %	Vandindhold in situ	w_{in}	10.9 %	Lertindhold	
Flydegrænse	w_L		Plasticitetegrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_p
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	σ_d		Kornstørrelse (0 - 16 mm)	σ_d		Kornstørrelse (> 16 mm)	σ_d
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka		Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka		Kalkindhold (> 16 mm)	ka
Glyderab	gl		Glyderab rebarret	β_{re}		Vibrationsindstrøpsring	$\sigma'_{d, max}$
Sandekvivalent	SE		Kapillæritet	h_c		Optimalt Vandindhold	w_{opt}
Tendensitet i væken	σ'_d		Tendensitet korrigeret	$\sigma'_{d, k}$	1.89 kPa	Uensfornighedstal	
			Vandindhold kor.	w_k	11.7 %		

RAMBOLL		Provebeskrivelse: SAND, mest mellem, sorteret, sv. leret, st. gruset, sort	
Rekvirent: Målekontrol		Geoteknisk Laboratorieforsøg	
Fordi til teknisk behandling		Dybde: Kote	Navn: Boring
Udt. d.: 018016	Tegn.: P13	Geotek. d.: 018002	Sag nr.: 145188A
		<i>Sty</i>	Pr. nr.: B1-2-2
			KA nr.:

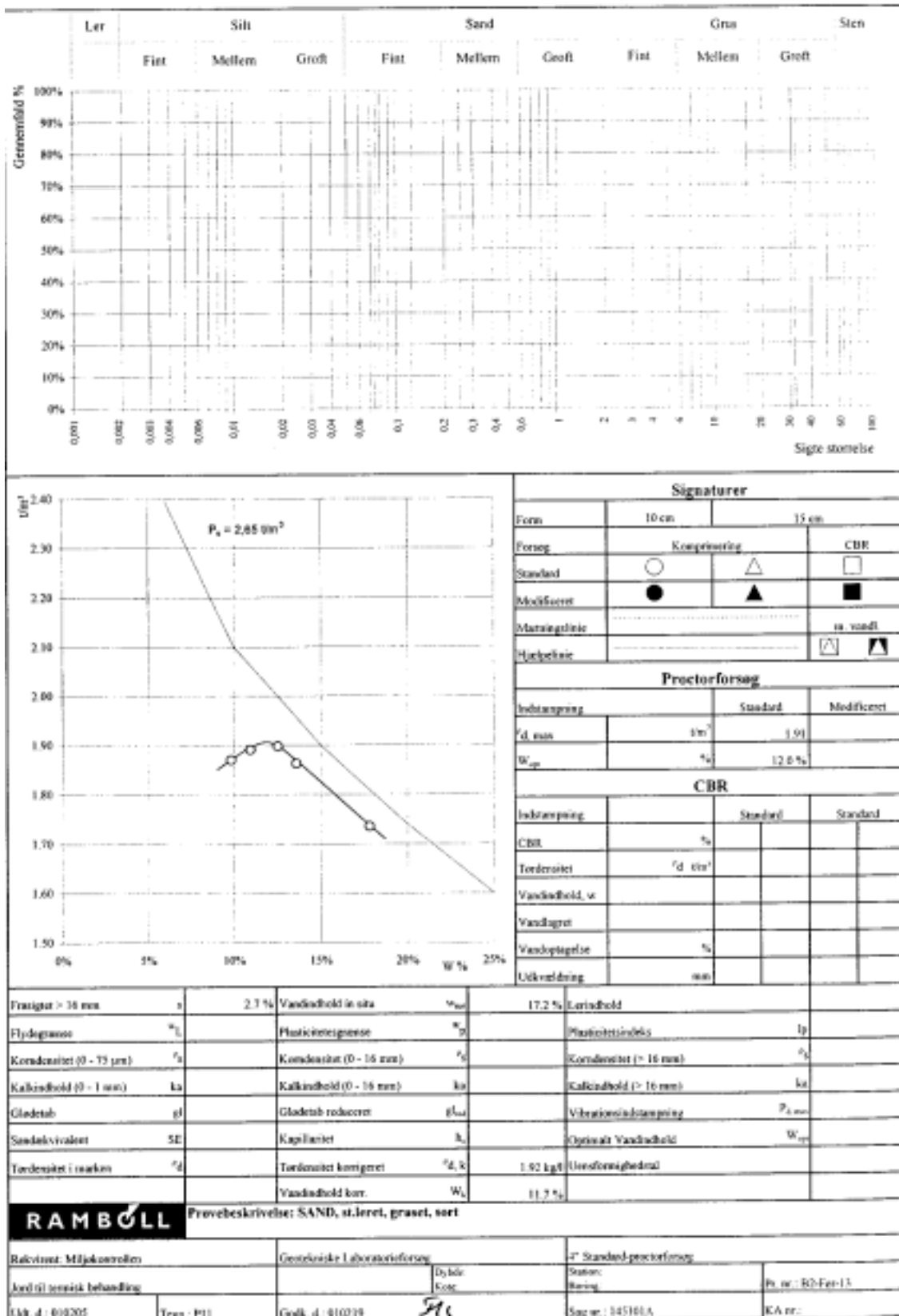


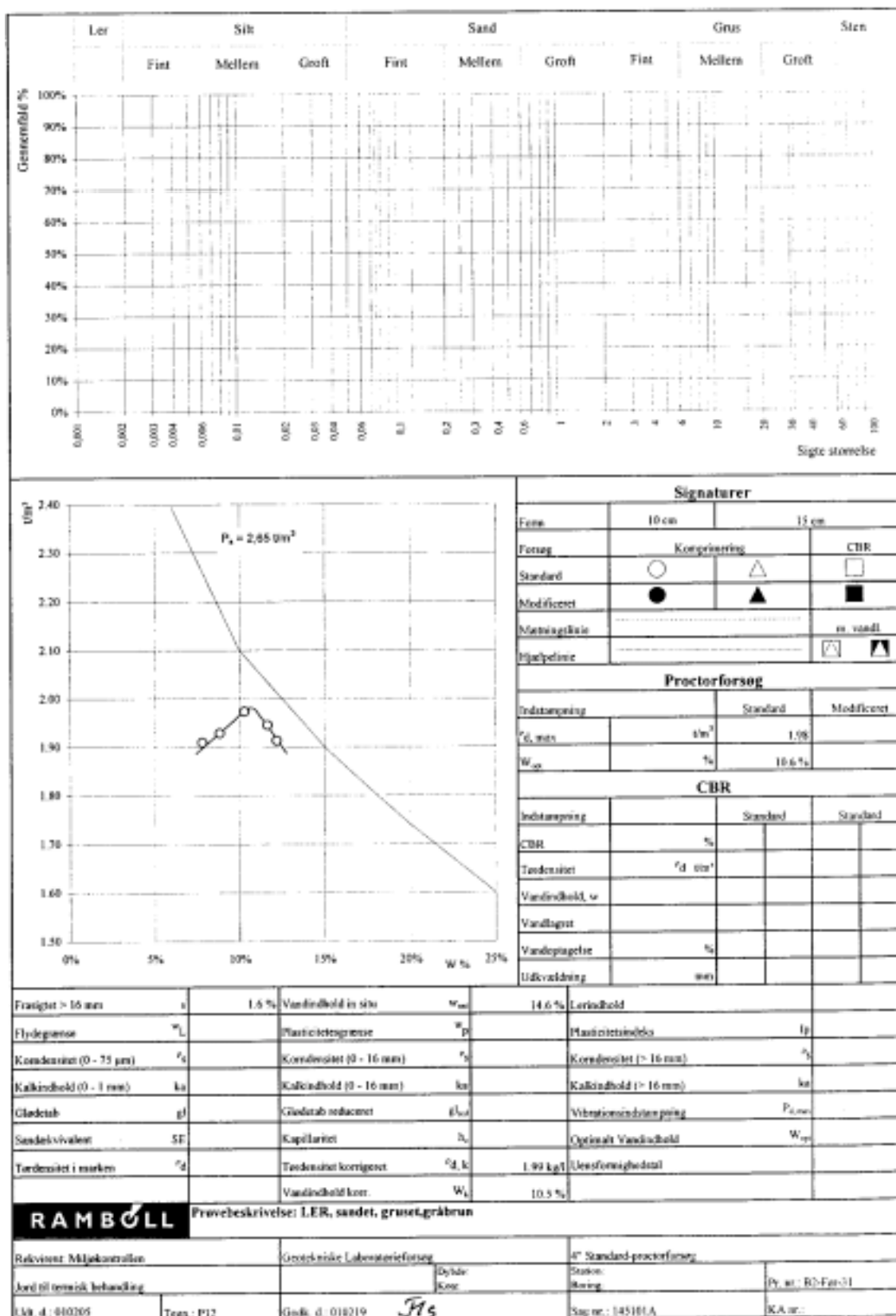


Signaturer		
Form	30 cm	15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkeplade		en vandl.
Hjælpeplade		▽ ▲
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
ρ_d, max	t/m^3	1.85
W_{op}	%	12.2
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tørdebet	$\rho_d, \text{t/m}^3$	
Vandindhold, w		
Vandlagret		
Vandprægelte	%	
Udvælgning	mm	

Frafilter > 30 mm	a	7.5 %	Vandindhold in situ	w_{in}	10.0 %	Lerindhold	
Flydegrænse	v_L		Plasticitetegrænse	v_P		Plasticitetindeks	I_p
Korndebet (0 - 75 μm)	ρ_d		Korndebet (0 - 16 mm)	ρ_s		Korndebet (> 16 mm)	ρ_b
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k_0		Kalkindhold (0 - 16 mm)	k_0		Kalkindhold (> 16 mm)	k_0
Glædetab	gl		Glædetab reduceret	gl_{red}		Vibrationsindtæmpning	$\rho_{L, vib}$
Sædskivalekt	SE		Kapillaritet	h_c		Cyklisk Vandindhold	W_{op}
Tørdebet i marker	ρ_d		Tørdebet korrigert	$\rho_{d, k}$	1.93 kg/m^3	Uensfornøjhedstal	
			Vandindhold korr.	W_s	11.5 %		

RAMBOLL		Provebeskrivelse: SAND, mest mellem, asorteret, v. leret, st. grønt, søet			
Relevans: Miljøkontrollen	Geoteknisk Laboratorieforsøg		4 ^o Standard-procutforsøg		
Jord til teknisk behandling		Dybde: <i>Korr</i>	Stationsnummer	Pr. nr.: B1-2-26	
Udt. d.: 00216	Tegn.: P17	Godk. d.: 018902	<i>PL</i>	Sag nr.: 145101A	KA nr.:





Prøvenummer	Vandindhold %
B1-FØR-1	17,1
B1-FØR-4	18,8
B1-FØR-10	15,0
B1-FØR-13	17,8
B1-FØR-19	16,7
B1-FØR-22	17,8
B1-FØR-28	12,6
B1-FØR-31	19,3
B1-FØR-34	18,5
B1-FØR-37	18,2
B2-FØR-1	24,8
B2-FØR-13	16,2
B2-FØR-22	16,2
B2-FØR-31	15,8
B2-FØR-40	15,7
B2-1-1A	16,6
B2-1-2A	17,2
B2-1-3A	16,0
B2-1-4A	13,7
B2-1-5A	15,4
B1-2-2	8,9
B1-2-8	10,2
B1-2-14	11,3
B1-2-20	7,6
B1-2-26	9,8

Geoteknisk prøvning af jord til termisk behandling.

Vandindhold for prøver til kornkurveanalyse (20 stk) samt fem ekstra prøver.

RAMBØLL, sag 145101A

Dato: 2001-03-05

nr. BG40120

BILAG VI

Tyndslib: Metode og resultater

GEUS-NOTAT

Side 1/!Error! Unknown switch argument.

Til: Carsten Helvind, Rambøll**Fra:** Stig Schack Pedersen

Kopi til: KF, HL

Fortroligt:

Dato: 27.03.01

GEUS-notat nr.: 27.03.01

J.nr. GEUS: 075-011

Emne: Tyndslib af jordprøver

Fire jordprøver er blevet modtaget til mikroskopisk analyse. To af prøverne, B1-1-8 og B1-1-32, GEUS lab. nr. 010151 og 010152, består af olie/tjæreforurenet fyldjord. De to andre prøver, B1-2-8 og B1-2-23, GEUS lab. nr. 010153 og 010154, består af termisk behandlet forurenede jord.

Den mikroskopiske analyse blev foretaget på tyndslib af epoxy-indstøbte prøver af fyldjorden. Efter indstøbningen blev prøverne skåret i skiver, hvoraf der blev fremstillet tyndslib (ca. 30 my tykke) til gennemfaldende lysmikroskopering.

De olie og tjæreforurenede jorde viste tydelige tegn på indtrængning af tjære i fyldjordens porøse partier. Selve jorden må betragtes som et omlejret morænemateriale med en meget usorteret kornfordeling. I partier med tæt siltet lermasse var tjæreforureningen betydeligt mindre og strukturen i jorden var uforstyrret. Tjæren var i den øvrige del af prøven meget uregelmæssigt fordelt, dog med en tendens til at følge kornoverfladerne på de mere grovkornede sandpartikler.

De termisk behandlede prøver viste en gennemgribende sodsværtning. Alle korngrænser er omgivet af sod, og sod findes i større og mindre partier. Sodpartiklerne har trængt ind overalt. Selv i de tætteste partier af siltet lermateriale har soden gennemtrængt materialet. Porøse mineraler, som f.eks. sericitiserede feldspatkorn er blevet kontamineret af sodpartikler. Den mikroskopiske analyse har ikke kunnet konstatere mineralomdannelse af lerpartiklerne. Der er ikke sket nogen amorf omdannelse af det krystalline materiale, men sodgennemtrængning har også påvirket de tættere siltede lerpartier. Det generelle indtryk er tillige, at det termisk behandlede materiale har gennemgået en betydelig granulering og kornfraktionering, hvorved alle korn og partikler (aggregater) er blevet omsluttet af en sodbelægning.

Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse (GEUS)
Miljø- og Energiministeriet

Thoravej 8
2400 København NV

Telefon 38 14 20 00
Telefax 38 14 20 50
E-mail geus@geus.dk

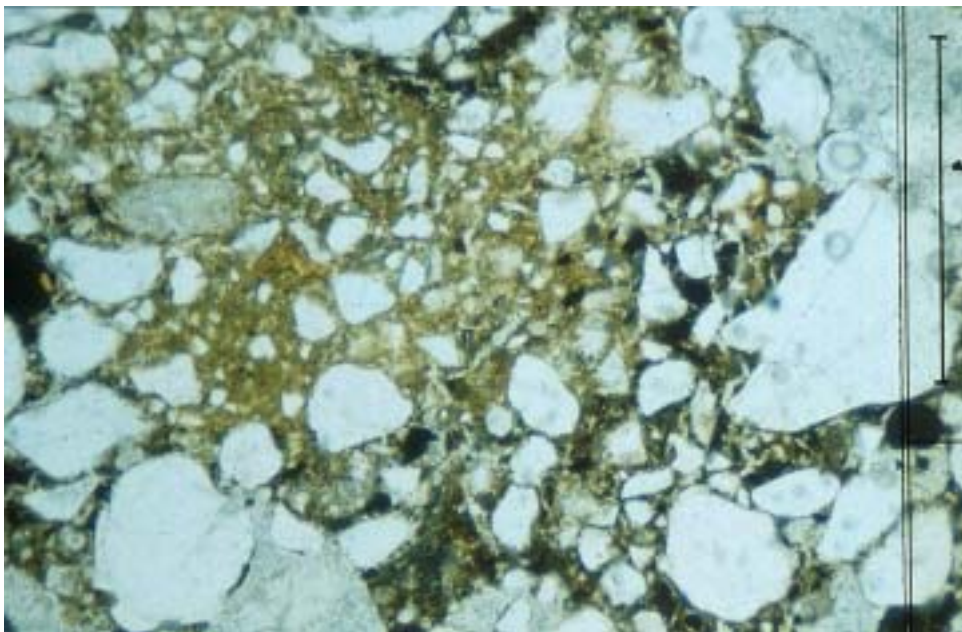


Foto 1: Tjæreforurenet fyldjord før termisk behandling. Billedet viser kvartssandskorn i kornstørrelsen 0,5–0,1 mm i størrelse beliggende i en matrix bestående af ler og silt (grumset gullig semi-transparent masse). Tjæren er her tydeligvis trængt ind langs de mest kornede partier, hvorimod ler-silt matrixen ikke nævneværdig er blevet infiltreret.

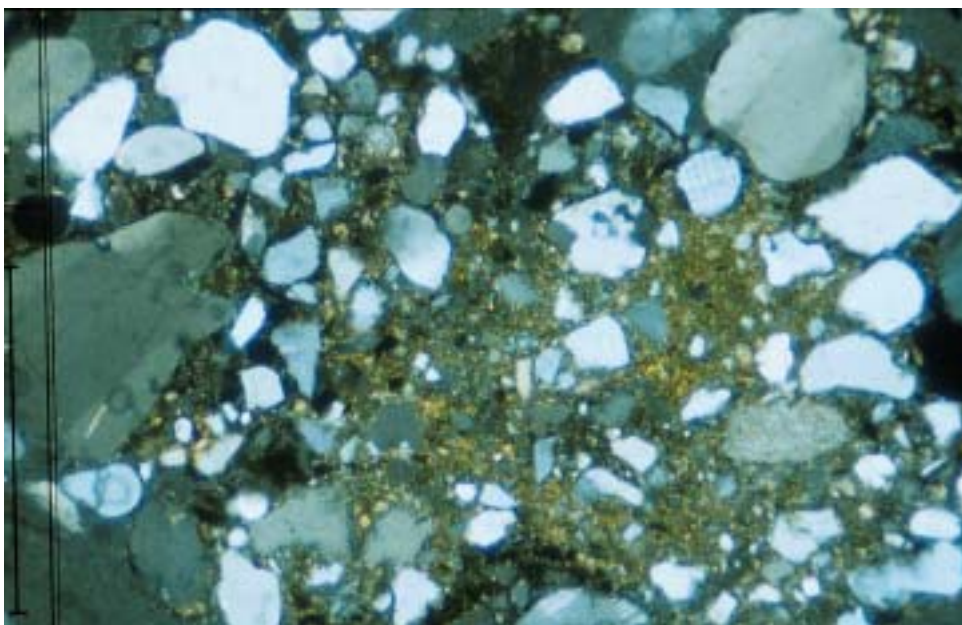


Foto 2: Tjæreforurenet fyldjord før termisk behandling. Samme billede som 1, men med polarisations-analysator. I dette billede ser man, at enkelte af sandkornene består af feldspat (tvillingemønster igennem krystallen). De farvede interferensfarver i grundmassen viser tilstedeværelsen af ler, som kan være illit, smektit og kaolinit (de største korn er dog illit).

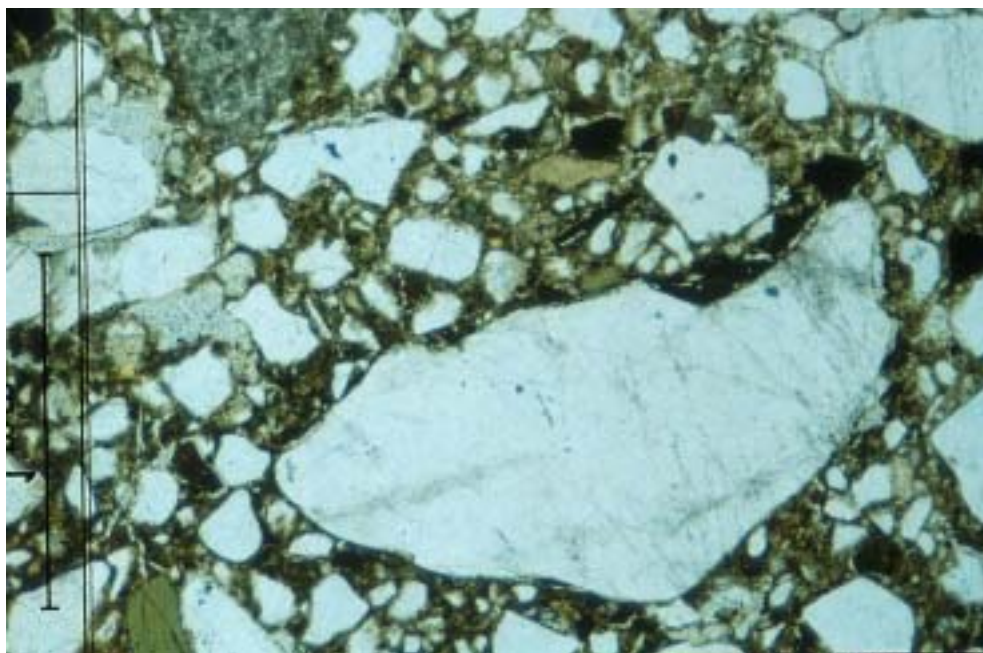


Foto 3: Tjæreforurenet fyldjord før termisk behandling. Et 1 mm stort kvartskorn beliggende i en granular matrix med 0,1 mm store sandkorn i matrix af ler og silt. Bemærk største koncentration af tjære langs det grove korns overflade (korngrænse). Den finkornede matrix er kun lettere gennemtrængt af tjære. Gennemfaldende lys, skala 1 mm

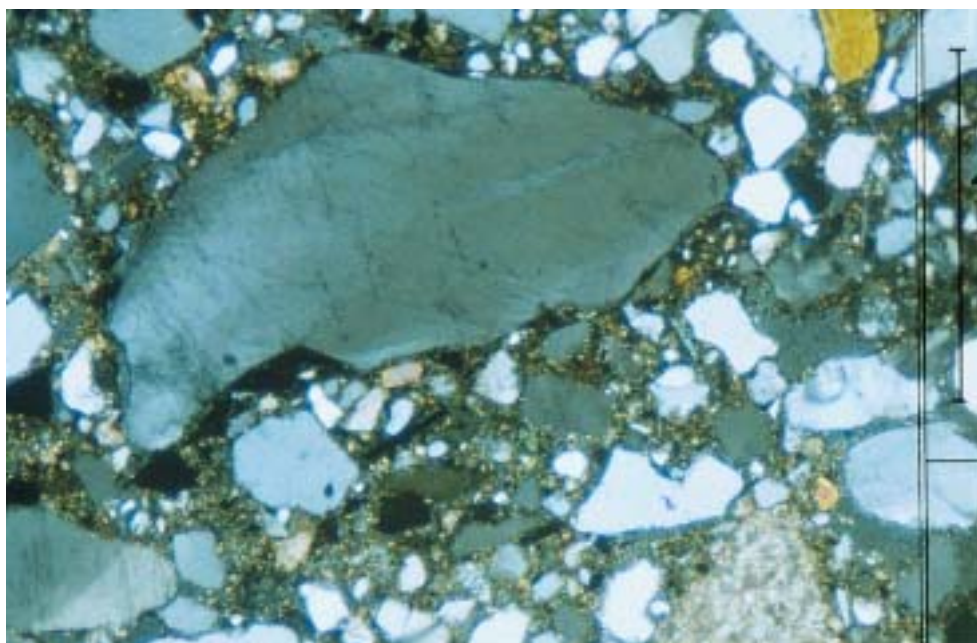


Foto 4: Tjæreforurenet fyldjord før termisk behandling. Samme billede som ovenfor med polarisations-analysator. Demonstrerer tilstedeværelsen af ler.

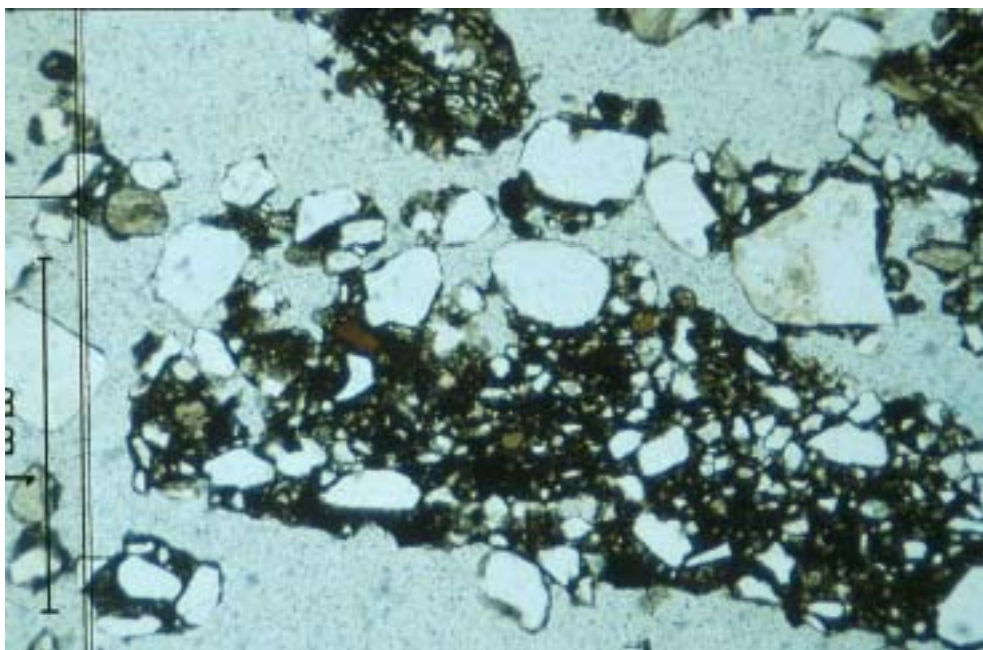


Foto 5: Tjæreforurenet fyldjord efter termisk behandling. Billedet viser et aflangt jordartsfragment af næsten samme type som tjærjord 1. Den lys, grågrumsede matrix uden om de sorte aggregater med hvide sandkorn er indlejningsmedie. Sandkornene består overvejende af afrundede kvartskorn. Den siltede og lerede matrix er fuldstændig gennemsat af sod (mikropartikler af kulstof). Gennemfaldende lys, skala 1 mm.

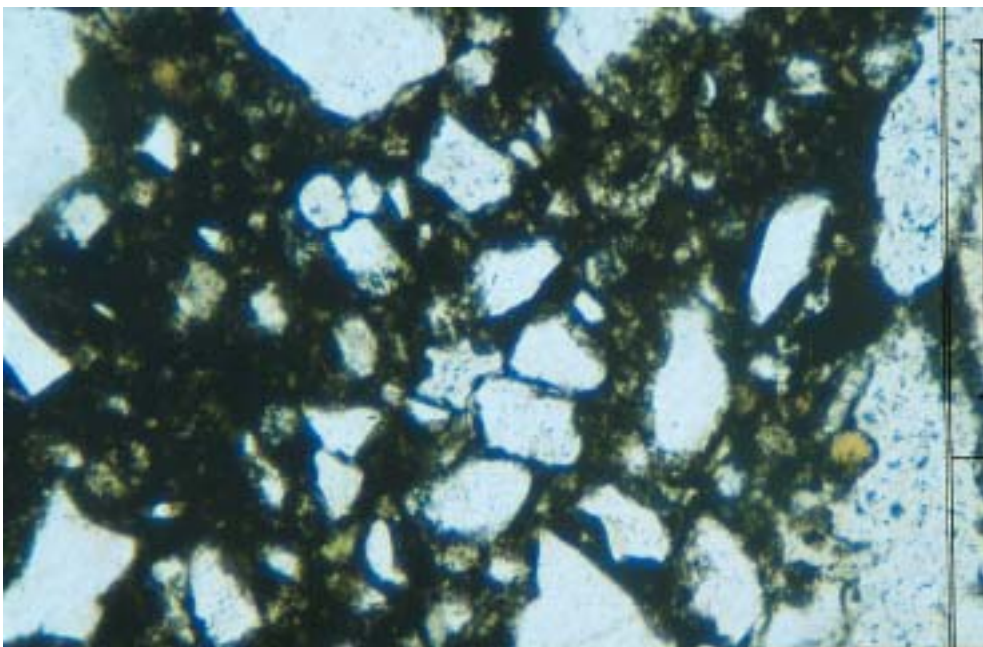


Foto 6: Tjæreforurenet fyldjord efter termisk behandling. Nærbillede af matrixen i foto 5. De ca. 0,1 mm store sandkorn ligger i en fuldstændig sodet matrix. Lyse gulliggrumsede partier i den sorte matrix er aggregater af ler og silt, som ikke er blevet amorft omdannet. Gennemfaldende lys, skala 250 μm .

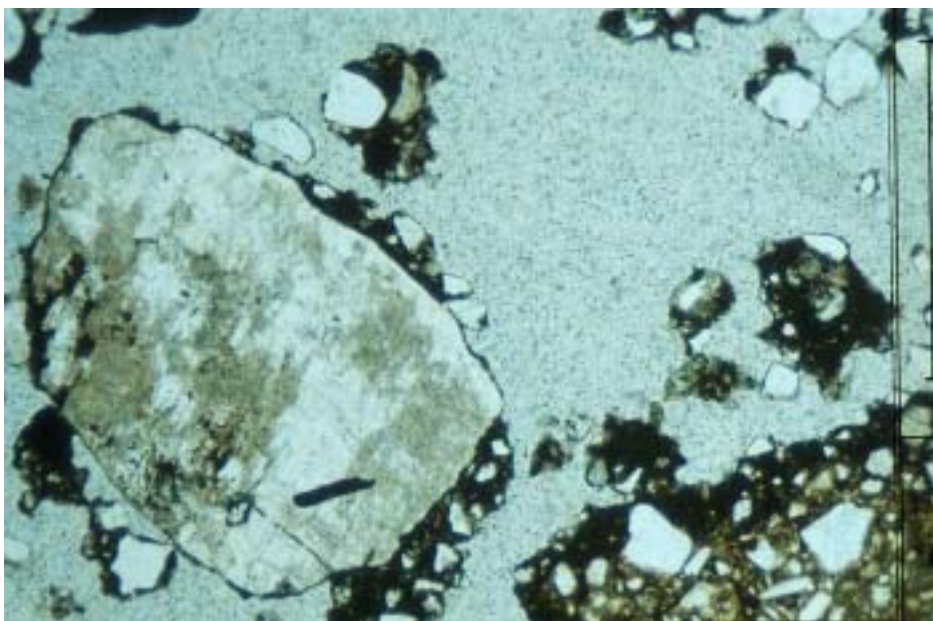


Foto 7: Tjæreforurenet fyldjord efter termisk behandling. Et 1 mm stort feldspat korn omgivet af sod. Grumset lysgrå matrix er indlejringsmedie. Bemærk at sod er trængt ind i den lettere omdannede krystalstruktur. Feldspaten har undergået en korrosion (sericitisering), der har gjort den tilstrækkelig porøs til, at sod også har kunne sætte sig inde i krystallen. Aggregatet i nedersete venstre hjørne viser en zonar sod-påvirkning uden om en klump af moræneler. Den siltede matrix i centret af aggregatet er ikke blevet så kraftigt tilsodet som de øvrige aggregater, muligvis p.g.a. en tidlig belægning af tæt sod på overfladen. Gennemfaldende lys, skala 1 mm.

Kemisk analyse af returvand fra scrubbere



RGS 90
Selinevej 4
2300 København S

Att: Sandie Andersen

Journal nr.:
G201-01605
Side 1 af 2
09.03.2001 AHM
Direkte telefon til laboratorien: 79 24 20 65

A/S AnalyCen
CVR nr. 17 14 86 72

Vesterballevej 4 . DK-7000 Fredericia
Tlf. (+45) 75 94 50 30, fax. (+45) 75 94 50 37

www.analycen.dk

Undersøgelse af Vand

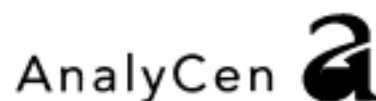
Kunde sagnr: 1512001
Kunde sagnavn: Metts Forsøg
Prøve modtaget: 15.02.2001 12:16
Analyse påbegyndt: 15.02.2001
Analyse afsluttet: 27.02.2001

Løbenummer:	01	02	03
Prøve ID:	B1-4-1	B1-4-2	B1-5-1

Undersøgelser	Metode	CV%	Enhed	Resultater		
Cadmium	KM 9	7	mg/l	<0,002	0,0028	0,0026
Chrom	KM 9	6	mg/l	0,040	0,038	0,019
Kobber	KM 9	5	mg/l	0,30	0,30	0,26
Nikkel	KM 9	5	mg/l	0,035	0,034	<0,02
Bly	KM 9	6	mg/l	0,44	0,39	0,40
Zink	KM 9	5	mg/l	1,0	1,0	0,62
Kviksølv	KM 8	12	µg/l	110	100	2,7
#Arsen	KM 7	6	mg/l	110	91	<0,30
Alkalinitet	DS 9963	1	mækv/l	4,9	1,5	1,5
pH	DS 287	1	-	7,8	6,9	8,4

Undersøgelser mærket # er ikke omfattet af akkrediteringen.
Analyserapporten vedrører kun det prøvede emne.
Analyserapporten må ikke gøres udtagen i sin helhed.

08/06/2001 10:07



RGS 90
Selinevej 4
2300 København S

Att: Sandie Andersen

Journal nr.:
G201-01605
Side 2 af 2
09.03.2001 AHM
Direkte telefon til laboratoriet 79 24 20 65

A/S AnalyCen
CVR nr. 17 14 86 72

Westerballevvej 4, DK-7000 Fredericia
Tlf. (+45) 75 94 50 30, fax (+45) 75 94 50 37

www.analycen.dk

Undersøgelse af Vand

Kunde sagnr: 1512001
Kunde sagnavn: Metts Forsøg

Løbenummer: 04
Prøve ID: B1-5-2

Undersøgelser	Metode	CV%	Enhed	Resultater
Cadmium	KM 9	7	mg/l	<0,002
Chrom	KM 9	6	mg/l	0,010
Kobber	KM 9	5	mg/l	0,21
Nikkel	KM 9	5	mg/l	<0,02
Bly	KM 9	6	mg/l	0,38
Zink	KM 9	5	mg/l	0,51
Kviksølv	KM 8	12	µg/l	1,8
#Arsen	KM 7	6	mg/l	<0,30
Alkalinitet	DS 9963	1	mækv/l	1,5
pH	DS 287	1	-	8,5

Med venlig hilsen

Anita Madsen
laborant Anita Madsen

Undersøgelser mærket # er ikke omfattet af akkrediteringen.
Analyserapporten vedrører kun det prøvede emne.
Analyserapporten må ikke gives udtagen i sin helhed.

00000000000000

Kemisk analyse af filterstøv



MODTAGES

16 FEB. 2001

RGS 90
Selinevej 4
2300 København S

Att: Sandie Andersen

Journal nr.:
G201-01604
Side 1 af 1
22.02.2001 ATK
Direkte telefon til laboratoriet: 79 24 20 65

AnalyCen

A/S AnalyCen
CVR nr. 17 14 86 72

Vesterballevej 4, DK-7000 Fredericia
Tlf. (+45) 75 94 50 30, fax (+45) 75 94 50 37

www.analycen.dk

Undersøgelse af Jord

Kunde sagnr: 1512001
Kunde sagnavn: Metts Forsøg
Prøve modtaget: 15.02.2001 12:01
Analyse påbegyndt: 15.02.2001
Analyse afsluttet: 21.02.2001

Løbenummer: 01 02
Prøve ID: B1-3-1 B1-3-2

Undersøgelser	Metode	CV%	Enhed		Resultater
Tørstof	DS.204		mg/kg VV	1000000	1000000
Chrom	KM 9	5	mg/kg TS	57	57
Kobber	KM 9	5	mg/kg TS	770	690
Nikkel	KM 9	5	mg/kg TS	44	43
Bly	KM 9	5	mg/kg TS	1100	1000
Zink	KM 9	5	mg/kg TS	1900	1800
Kviksølv	KM 8	11	mg/kg TS	<0,01	<0,01
Arsen	KM 7	10	mg/kg TS	15	14
Cadmium	KM 9	5	mg/kg TS	5,3	5,1

Med venlig hilsen

Anette T. Kragelund
lab.ingeniør Annette Timmermann Kragelund

Analysereporten vedrører kun det prøvede emne.
Analysereporten må ikke gengives udtagen i sin helhed.

172 000 000 000 000

Emissionskontrol



Rapport

RGS 90 Jordrens
Miljømåling i skorsten

Februar 2001

Rekvirent: RGS 90 Jordrens
Sandie Andersen
Selinevej 4
2300 København S

Dato: 9. marts 2001 - HL/JV

Udført af: MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S
Holtbjergvej 42, DK-2620 Albertslund


Jens Ege
akademingeniør

Henrik Lindegaard
miljøtekniker

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.
21/01/2011 15:08:54 HVEDSTADENS JORDRENS - RAPPORT_A.DOC



Indholdsfortegnelse

1	Resumé og konklusion	3
2	Måleprogram	3
3	Anlægsbeskrivelse	4
4	Drift	5
5	Målingernes gennemførelse	5
6	Resultater	5

Bilagsfortegnelse

Akkrediteret målerapport



1 Resumé og konklusion

MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S har den 13. februar 2001 foretaget emissionsmåling i skorsten fra termisk jordbehandlingsanlæg ved RGS 90 Jordrens.

Resultatresumé

Resultatresumé af målingerne er angivet nedenfor sammen med vilkår i anlæggets miljøgodkendelse.

Parametre	Skorsten	Vilkår	Kontrolperiode
Røggasmængde	9100	14.000	time
Partikler	13	10*	døgnmiddel
Hg	1,2	0,05	stikprøvemåling
Pb	< 0,02	0,1	stikprøvemåling
Cd	< 0,002	0,05	stikprøvemåling
SO ₂	1,6	50	døgnmiddel
HCl	<0,3	10	døgnmiddel
TOC	20	10	stikprøvemåling
NO + NO ₂ *	110	200	døgnmiddel
O ₂	11,9	-	-

* : Vilkåret er gældende for måling mellem posefilter og efterbrænderen.

Måleenheder

Røggasmængde : Nm³/h, tør ved 11% O₂
 It : vol%, tør
 Øvrige : mg/Nm³, tør ved 11% O₂
 N : Normaltilstanden(0 °C, 1013 mbar)

Konklusion

Alle de målte værdier - undtagen for kviksølv - er mindre end miljøgodkendelsens vilkår. Endelig konklusion kan først foretages efter kontrolperiodens udløb.

2 Måleprogram

Baggrund

RGS 90 Jordrens har af Københavns Kommunes miljøkontrol fået godkendelse i henhold til miljøbeskyttelsesloven af et termisk jordbehandlingsanlæg. I godkendelsen er der bl.a. stillet vilkår vedrørende luftemission fra anlægget.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(i) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

5/1/2001 150085A-HVEMESTADENS JORDRENS - RAPPORT_A.DOC



Formål Målingerne er udført med henblik på at dokumentere om, de i anlæggets miljøgodkendelse stillede emissionsvilkår er overholdt.

Tidspunkt Målingerne blev udført den 13. februar 2001 af miljøtekniker Stein Stabel Moss og miljøtekniker Henrik Lindgaard.

Måleprogram Målingerne har omfattet følgende parametre:

- røggasmængde
- ilt, O₂
- nitrogenmonoxid og nitrogendioxid, NO + NO₂
- total organisk kulstof, TOC
- partikler
- bly, Pb (sum af partikel- og gasfase)
- cadmium, Cd (sum af partikel- og gasfase)
- kviksølv, Hg (sum af partikel- og gasfase)
- svovldioxid, SO₂
- hydrogenklorid, HCl

Røggasmængde er bestemt som stikprøvemålinger. De øvrige parametre er bestemt som 2 enkeltmålinger á 2 timers varighed.

3 Anlægsbeskrivelse

Anlæg RGS 90 Jordrens behandler forurenede jord i et termisk behandlingsanlæg.

Kapacitet Anlægget har en kapacitet på 10-15 t/h. Der behandles 150-200 t/døgn.

**Luftrensning/
Luftemission** Efter behandling af den forurenede jord ved 550 °C i ovnen ledes røggassen til et støvfilter, herefter til en efterbrænder hvor røggassen yderligere forbrændes ved 850 °C, og endelig gennem en røggasscrubber. Den behandlede jord fra ovnen ledes ud og køles ved at spraye kølevand fra scrubberens henover. Dampen fra den afkølede jord ledes gennem en anden scrubber til skorsten. Røggassen emitteres til atmosfæren via en 20 meter høj skorsten.

Målested Målestedet er placeret i skorsten, på lodret røggaskanal i en højde af 10 m. Målestedet er forsynet med 4 stk. 3" målehuller.

Røggaskanalen har på målestedet en diameter på 0,60 m. Målestedet opfylder Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990. For nærmere beskrivelse henvises til akkrediteret målerapport.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for den/ de undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

5115155/150085/HØVEDSTADENS_JORDRENS - RAPPORT_A.DOC



4 Drift

Drift i måleperioden	<p>På måledagen blev der behandlet 9,5 t/h forurenset jord.</p> <p>Forbrændingsanlægget kører i døgndrift.</p> <p>For nærmere beskrivelse af anlæg og drift henvises til Hovedstadens Jordrens A/S.</p>
----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5 Målingernes gennemførelse

Akkreditering	<p>Målingerne er gennemført i henhold til vor akkreditering nr. 168 fra DANAK. I resultaterne indgår bestemmelse af f.eks. areal af afkastkanal og barometer-tilstand som en del af en specifik akkrediteret prøvning. Øvrige måleresultater er akkrediteret under akkreditering nr. 168, hvor intet andet er nævnt. Eventuelle ikke akkrediterede resultater er markeret med *.</p>
Metoder	<p>De anvendte prøvetagnings- og analysemetoder, samt metodeusikkerheden er beskrevet i målerapporten. Der er benyttet instrumenter sporbare til nationale og internationale standarder.</p> <p>Målingerne er delvist gennemført som planlagt. Det var planlagt, at måling for partikler skulle gennemføres i kanal mellem støvfilter og efterbrænder. Dette var imidlertid ikke muligt på grund af uhensigtsmæssig placering af dette målested. Der er i stedet foretaget måling for partikler i skorsten.</p>

6 Resultater

Resultater	<p>Målingernes hovedresultater er anført i resumé. Delresultaterne er gengivet i vedhæftede målerapport. De gennemførte målinger og deraf afledte resultater er udelukkende gældende for de anførte måleperioder ved den aktuelle drifts-situation.</p>
Plausibilitetsvurdering	<p>De fundne resultater vurderes på repræsentativ vis at beskrive emissionen i måleperioden. Der er ikke observeret unormale forhold ved måling og analyse.</p>



Akkrediteret målerapport

Målested:	RGS 90 Jordrens Kraftværksvej 31 2300 København S	
Rekvirent:	RGS 90 Jordrens Sandie Andersen Selinevej 4 2300 København S	
Beskrivelse:	Miljømåling inkl. dioxin i skorsten	
Måledato:	13. februar 2001	
Laboratorieanalyser er udført af:	MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S, Smedeskovvej 38, DK 8464 Galten	
Laboratoriereference:	43840-71-40	
Måletekniker:	Stein Stabel Moss miljøtekniker	Henrik Lindegaard miljøtekniker

Albertslund, den 9. marts 2001

MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S,
Hølsbjergvej 42, DK 2620 Albertslund



Jens Wang
akademiingeniør

Henrik Lindegaard
miljøtekniker

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

\\M-KEM\DATA\ALG\SRV\SRV\150150\150085\HOVEDSTADENS JORDRENS - AKKREDITERET RAPPORT_A.DOC



Resultater :		Skorsten		Virksomhed: RGS 90 Jordrens		Resl
Sagsnr:	150085-155-21					FORBR48.xls
Date:	13.02.01					Rev. 16.05.2000
ID:				Kontrol nr :	09-03-01 13:14:33	
Reggasmængde						Gennemsnit
Måling nr		1	2			
Målestartpunkt	kl	10:15	13:30			-
Kanaldimension	m	0,60	0,60			-
Kanalværsnit	m ²	0,28	0,28			-
Antal målepunkter		8	8			-
Afstand før målested	m	6	6			-
Afstand efter målested	m	3	3			-
Kanal orientering		Lodret	Lodret			-
Luftryk	mbar	1,025	1,025			1,025
Statisk tryk	mmVS	-2	-10			-6
Gastemperatur	°C	73	73			73
Vandindhold	vol%	33,0	33,0			33,0
Middelt Pöyn	mmVS	15,3	16,4			15,8
Gashastighed	m/sek	18,1	18,8			18,4
Reggasmængde	m ³ /h, våd	18,400	19,100			18,800
Reggasmængde	m ³ /h, tør	12,300	12,800			12,600
Reggasmængde	Nm ³ /h, våd	14,700	15,200			15,000
Reggasmængde	Nm ³ /h, tør	9,800	10,200			10,000
Reggasmængde	Nm ³ /h, tør 11 vol%O ₂	9,000	9,300			9,100
Koncentrationer						Gennemsnit
Måling nr		1	2			
Måleperiode start	kl	11:20	12:32			
Måleperiode slut	kl	12:21	13:30			
O ₂	vol%, tør	11,8	12,0			11,9
Partikler	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	13,0	12,9			12,9
Pb	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	< 0,02	< 0,01			< 0,02
Cd	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	< 0,002	< 0,002			< 0,002
Hg	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	1,04	1,43			1,24
HCl	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	< 0,2	0,5			< 0,3
SO ₂	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	0,8	2,3			1,6
NO + NO ₂	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	100	110			110
TOC	mg/Nm ³ , tør 11 vol%O ₂	18	21			20
* : Metoden er ikke omfattet af akkrediteringen						
< : Mindre end						

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

VM-KEM/DATA/KULBESØB/SKEM1/15/15/150085/HOVEDSTADENS_JORDRENS - AKKREDITERET RAPPORT_A.DOC

Metoder, Metodeusikkerhed

Luftmængder, metode nr. 03-961-01	<p>Emitterede luftmængder er bestemt ved differenstrykmåling med pitotrør og elektronisk mikromanometer.</p> <p>Tryk er målt med elektronisk mikromanometer.</p> <p>Temperatur er målt med elektronisk termometer.</p> <p>Reference : VDI 2066</p>
Kulmonoxid, kuldioxid, ilt, metode nr. 03-971-01	<p>Røggassens indhold af ilt er bestemt på en udsuget, filtreret delstrøm med kontinuert registrerende måleudstyr type Oxytron, model 1003. Ilt registreres elektrokemisk eller ved zirkoniumdioxidmålecelle.</p> <p>Rågassens indhold af vanddamp er fjernet ved udkondensering inden måling.</p> <p>Reference : VDI 2459 (CO), EPA 3 (CO, og O₂)</p>
Nitrogenmonoxid og Nitrogendioxid (NO _x), metode nr. 03-138-01	<p>Røggassens indhold af nitrose gasser bestemmes på en udsuget, filtreret delstrøm af røggassen med registrerende måleudstyr type Hartmann & Braun Radas 1 G photometer. Måleprincippet er UV Resonance Absorption.</p> <p>Røggassens indhold af NO_x er inden måling med extern NO_x-NO konverter omdannet til NO.</p> <p>Røggassens indhold af vanddamp fjernes ved udkondensering inden måling.</p> <p>Indholdet af NO_x er beregnet som summen af NO og NO₂ og angivet som NO_x</p> <p>Reference: EPA 7E</p>
Total organisk kulstof, TOC, metode nr. 03-920-03	<p>Måling af afkastluftens indhold af total organisk kulstof er foretaget ved kontinuerligt udsugning og bestemmelse af TOC med FID-detektor.</p> <p>Prøveslange og detektor holdes opvarmet til 200 °C.</p> <p>Reference: VDI 3481, TÜV rapport 128 CO 00530</p>
Støv, metode nr. 03-161-01	<p>Måling for indhold af partikulært stof er foretaget isokinetisk med udstyr af type MK 4 m³.</p> <p>Partikulært stof er opsamlet på planfiltre. Mængden af partikulært stof er på laboratoriet, efter udligning af temperatur og fugtighed, bestemt ved differensvejning på elektronisk mikrovægt.</p> <p>Reference : VDI 2066.</p>

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

UÅ-KEMIFAKTALISERINGSKONTRAKT 15/155153085HØVEDSTADENS JØREHENS - AKKREDITERET RAPPORT_A.DOC



Analysemetode : MK-3406

Metalindhold, metode nr. 03-901-03

Bestemmelse af total metalindhold er foretaget ved udsugning af luftprøve gennem filter og efterfølgende opsamling af filtergennemtrængelige metaller i salpetersyre/hydrogenperoxid. Kviksølv er dog opsamlet i en svovlsur kaliumpermanganat opløsning.

Udtagning af luftprøver er sket med pumper udstyr type 4 m³. Luftmængde ca. 1 m³/h.

De udtagne støvprøver er på laboratoriet ekstraheret med syre. Mængden af partikulære metaller opsamlet på filter og filtergennemtrængelige metaller opsamlet i vaskeflaske, er på laboratoriet bestemt ved atomabsorptionspektrofotometrisk analyse. Metalindholdet er opgivet som summen af metal på filter og i vaskeflaske.

Reference: VDI 2066, VDI 3868, EPA 101A, MK-1420/1430/1530/1540

Hydrogenklorid, metode nr. 03-101-01

Bestemmelse af hydrogenklorid er foretaget ved udsugning gennem filter og opsamling i vaskeflaske indeholdende demineraliseret vand.

Udtagning af luftprøver er sket med pumper af typen ASF 7010V og kritisk dyse/gasur, luftmængde ca. 1 l/min.

Mængden af opsamlet hydrogenklorid er på laboratoriet bestemt ved ionkromatografisk analyse for klorid. Hele mængden er omregnet til hydrogenklorid.

Reference : VDI 3480, MK-8403

Svovldioxid, metode nr. 03-167-01

Bestemmelse af svovldioxid er foretaget ved udsugning gennem opvarmet filter og opsamling i vaskeflaske indeholdende 3 % hydrogenperoxid i vand.

Udtagning af luftprøver er sket med pumper af typen ASF 7010V og kritisk dyse/gasur, luftmængde ca. 1 l/min.

Mængden af opsamlet svovldioxid er på laboratoriet bestemt ved jonkromatografisk analyse for sulfat. Hele mængden er omregnet til svovldioxid.

Reference : VDI 2462.

Analysemetode : MK-8417 (Ionkromatografi)

Dataopsamling, metode nr. 03-980-02

Måleværdier fra kontinuert registrerende udstyr er opsamlet med dataopsamlingsenhed, Analog Device type 6B12 og PC.

Måledata er registreret hvert 5. sek. Der beregnet og lagret 1 minutsmiddelværdier på PC.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, udtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

\\MILJØ\DATA\BIB\BIB\SEK\KEM15112015\20085\NOVEDSTADENS_JONDRENS - AKKREDITERET RAPPORT_A.DOC



Metodeusikkerhed

Parameter	RSD*	DL Typisk	Enhed
Røggasmængde	10%	1	m/s
Hydrogenklorid	15%	0,5	mg/Nm ³ , tør
Partikulært stof	12%	0,1	mg/Nm ³ , tør
Metaller	15%	0,005	mg/Nm ³ , tør
Svovldioxid	15%	1,0	mg/Nm ³ , tør
TOC	20%	2	mg/Nm ³ , tør
Nitrøse gasser	10%	10	mg/Nm ³ , tør
Ilt	10%	0,5	vol%, tør

RSD: Relativ standard afvigelse

DL: Detektionsgrænse (3 gange spredning på blindprøve)

* Gælder for måleværdier større end 10 gange DL.

Ved DL estimeres RSD til 50%.

For værdier mellem DL og 10 gang DL estimeres usikkerheden ved lineær interpolation.

Eksempel: Bestemmelse af usikkerheden ved 7 gange DL

Parameter	RSD*	DL Typisk	Enhed
Svovldioxid	15%	2	mg/Nm ³ , tør

RSD ved 10 gange DL (20 mg/Nm³, tør): 15 % svarende til 3 mg/Nm³, tør

RSD ved DL (2 mg/Nm³, tør): 50 % svarende til 1 mg/Nm³, tør

Ved lineær interpolation estimeres den absolutte usikkerhed ved 7 gange DL (14 mg/Nm³, tør) til 2,4 mg/Nm³, tør.

RSD ved 7 gange DL kan da beregnes til 17%.

Den rapporterede detektionsgrænse kan afvige fra ovenstående afhængig af opsamlet mængde kondens, udsuget luftmængde, ilt korrektion, samtidig opsamling af flere parametre etc.

Chromatogrammer fra GC-MS full scan

MILANA - Miljølaboratoriet

Fiolgade 13A, 3000 Helsingør
Tlf. 49 21 13 31, fax 49 20 23 66

Analyserapport 14310/1

RAMBØLL
Att.: Mette Andersson
Teknikerbyen 31
2830 Virum

UDSKREVET : 19/11/2001
UDTAGN.TIDSPUNKT: 29/10/2001 kl.
(TIL): kl.
MODTAGET PÅ LAB.: 02/11/2001 kl.
ANALYSE PÅBEG. : 07/11/2001
UDTAGET AF : Rambøll
ÅRSAG :
KOMMUNE : ikke afklaret

Jord

REKVIRENT: Miljøkontrollen, Flasketorvet 68, 1711 København V

PRØVESTED: Sag 1512068,
(9032) Termisk Jordbehandlingsanlæg,
Prøve mrk. 1512001-B1-2-14

PRØVE NR.:	14310/01 Jord	ENHED	ANALYSEMETODE
Tørstofindhold GC/MS Analyse	90.3 se bilag	%	DS 204 GC/MS
Tegnforklaring:	< Mindre end	> større end	i.p. ikke påvist

BEMÆRKNINGER:

Resultater fremsendes ukommenterede


Jens Rasmussen

SENDT TIL:

RAMBØLL

side 1 af 1

MILANA - Miljølaboratoriet

Fiolgade 13A, 3000 Helsingør
Tlf. 49 21 13 31, fax 49 20 23 68

Analyserapport 14311/1

RAMBØLL
Att.: Mette Andersson
Teknikerbyen 31
2830 Virum

UDSKREVET : 19/11/2001
UDTAGN.TIDSPUNKT: 29/10/2001 kl.
(TIL): kl.
MODTAGET PÅ LAB.: 02/11/2001 kl.
ANALYSE PÅBEG. : 07/11/2001
UDTAGET AF : Rambøll
ÅRSAG :
KOMMUNE : ikke afklaret

Jord

REKVIRENT: Miljøkontrollen, Flæsketorvet 68, 1711 København V

PRØVESTED: Sag 1512068,
(9032) Termisk Jordbehandlingsanlæg,
Prøve mrk. 1512001-B2-2-29

PRØVE NR.:	14311/01 Jord	ENHED	ANALYSEMETODE
Tørstofindhold GC/MS Analyse	98.1 se bilag	%	DS 204 GC/MS
Tegnforklaring:	< Mindre end	> større end	i.p. ikke påvist

BEMÆRKNINGER:

Resultater fremsendes ukommenterede


Jens Rasmussen

SENDT TIL:

RAMBØLL

side 1 af 1

MILANA - Miljølaboratoriet

Fiolgade 13A, 3000 Helsingør
Tlf. 49 21 13 31, fax 49 20 23 66

Analyserapport 14312/1

RAMBØLL
Att.: Mette Andersson
Teknikerbyen 31
2830 Virum

UDSKREVET : 19/11/2001
UDTAGN.TIDSPUNKT: 29/10/2001 kl.
(TIL): kl.
MODTAGET PÅ LAB.: 02/11/2001 kl.
ANALYSE PÅBEG. : 07/11/2001
UDTAGET AF : Rambøll
ÅRSAG :
KOMMUNE : ikke afklaret

SOD

REKVIRENT: Miljøkontrollen, Flåsketorvet 68, 1711 København V

PRØVESTED: Sag 1512068,
(9032) Termisk Jordbehandlingsanlæg,
Prøve mrk. Standard af diesel sod

PRØVE NR.:	14312/01 SOD	ENHED	ANALYSEMETODE
GC/MS Analyse	se bilag		GC/MS
Tegnforklaring:	< Mindre end	> større end	i.p. ikke påvist

BEMÆRKNINGER:

0,1 g af sodstandarden er ekstraheret med 5,0 ml dichlormethan i 16 timer på rystebord.


Jens Rasmussen

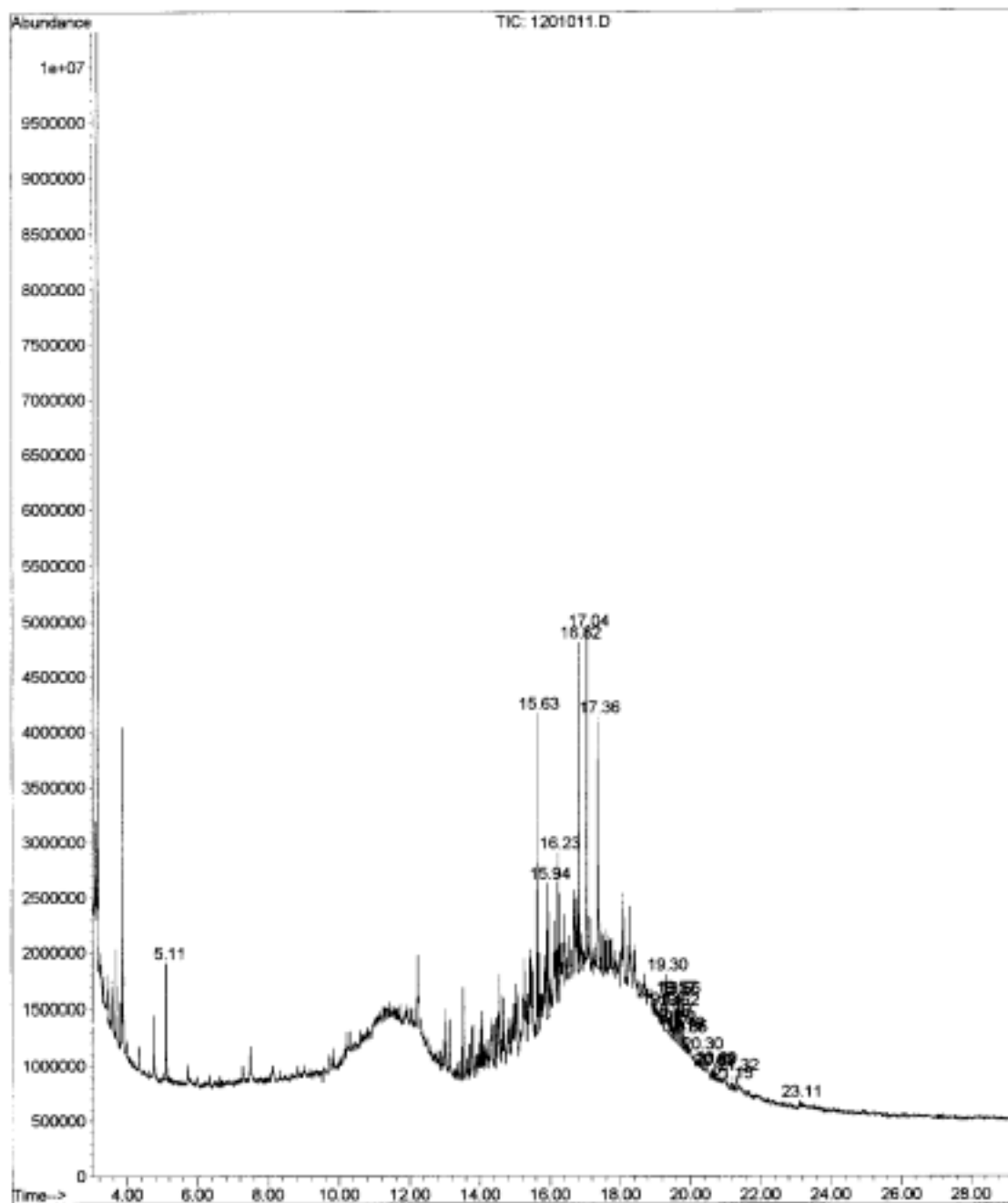
SENDT TIL:

RAMBØLL

side 1 af 1

MILANA - Miljølaboratoriet, Fiolgade 13A, 3000 Helsingør

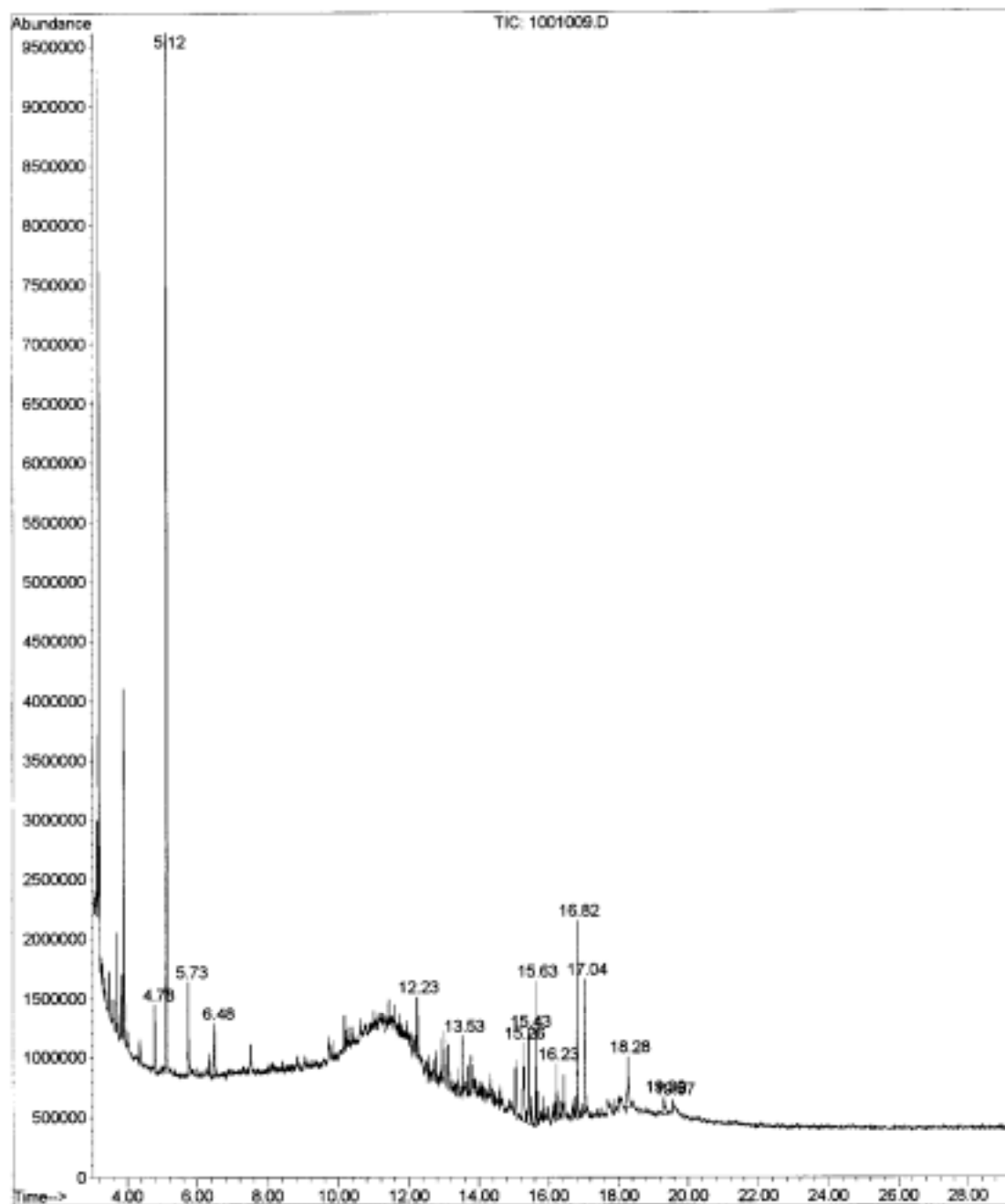
Metode: GC/MS-analyse
Prøvenr: 14310/01
Sag: Sag 1512068
Adresse: Termisk Jordbehandlingsanlæg
Tekst: Prøve mrk. 1512001-B1-2-14



Filnavn: M:\DATA\KU091101\1201011.D
Analysedato: 9 Nov 2001 21:13
Instrument: GC/MS Ins

MILANA - Miljølaboratoriet, Fiolgade 13A, 3000 Helsingør

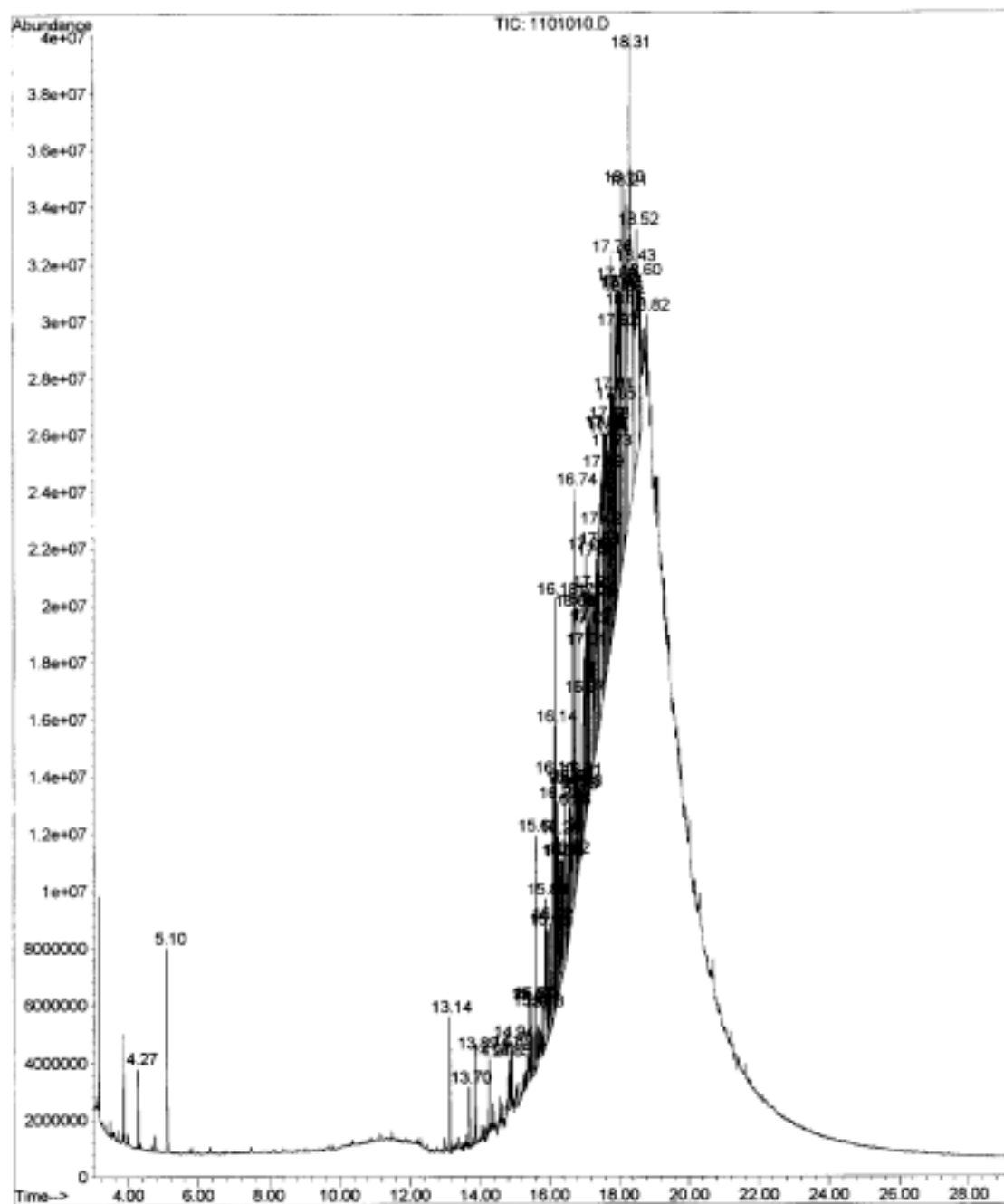
Metode: GC/MS-analyse
Prøvenr: 14311/01
Sag: Sag 1512068
Adresse: Termisk Jordbehandlingsanlæg
Tekst: Prøve mrk. 1512001-B2-2-29



Filnavn: M:\DATA\KU091101\1001009.D
Analysedato: 9 Nov 2001 19:47
Instrument: GC/MS Ins

MILANA - Miljølaboratoriet, Fiolgade 13A, 3000 Helsingør

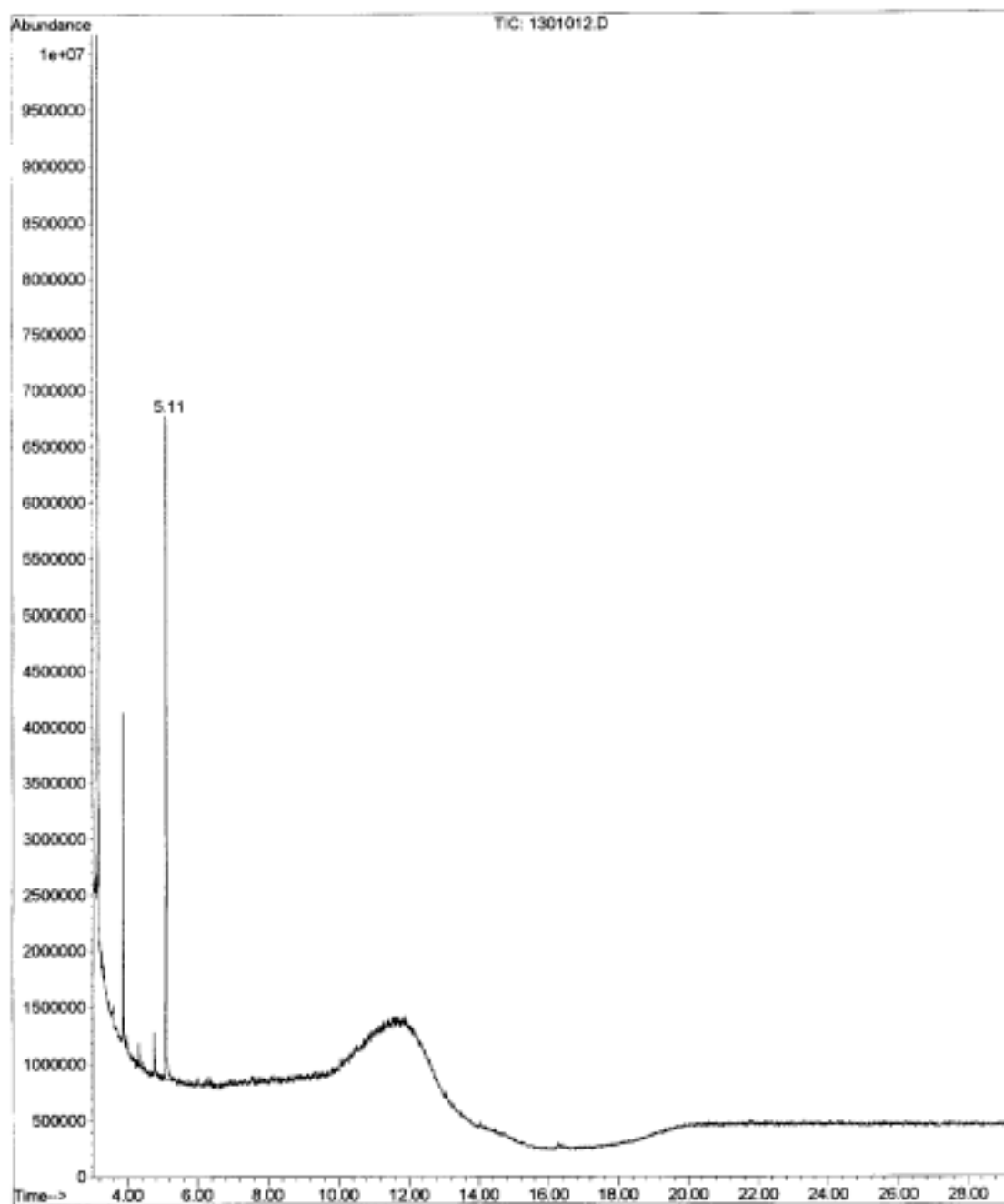
Metode: GC/MS-analyse
Prøvenr: 14312/01
Sag: Sag 1512068
Adresse: Termisk Jordbehandlingsanlæg
Tekst: Prøve mrk. Standard af diesel sod



Filnavn: M:\DATA\KU091101\1101010.D
Analysedato: 9 Nov 2001 20:30
Instrument: GC/MS Ins

MILANA - Miljølaboratoriet, Fiolgade 13A, 3000 Helsingør

Metode: GC/MS-analyse
Prøvenr: Blind-2 071101



Filnavn: M:\DATA\KU091101\1301012.D
Analysedato: 9 Nov 2001 21:57
Instrument: GC/MS Ins

Quantitation Report

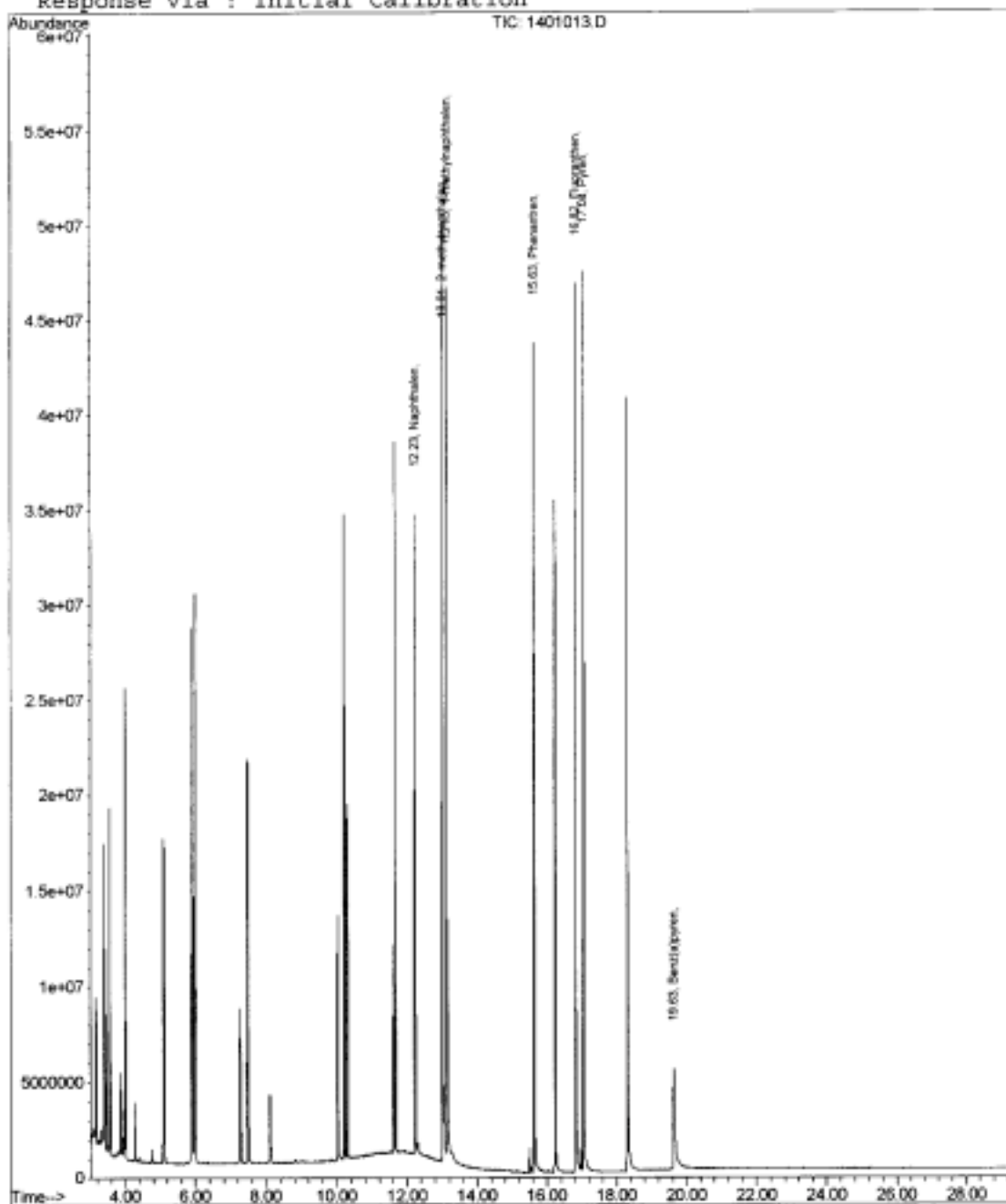
Data File : M:\DATA\KU091101\1401013.D
Acq On : 9 Nov 2001 22:40
Sample : GCP 2
Misc :

Vial: 14
Operator: Anita
Inst : GC/MS Ins
Multiplr: 1.00
Sample Amount: 0.00

MS Integration Params: events.e
Quant Time: Nov 15 14:03 19101

Quant Results File: GCMSSOD.

Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\GCMSSOD.M (Chemstation Integrator)
Title :
Last Update : Thu Nov 15 16:00:57 2001
Response via : Initial Calibration





Dato 19.11.2001

Analysemetodebeskrivelse

Metode:	<u>GC/MS-analyse, vand/jord/andet, AK141</u> Ved denne metode påvises stoffer med kp. ca. 75-480 °C.
Anvendelse:	Vand/Jord.
Prøveudtagning:	Vand: som instruks IK90. Jord: i tæt prøvebeholder.
Ekstraktion:	
Vand:	500 ml prøve ekstraheres med 10,0 ml dichlormethan. Indholdet af ekstraherbare stoffer undersøges ved injektion af organisk fase i gaschromatograf.
Jord:	Ca. 50 g homogeniseret prøve ekstraheres med 20 ml dichlormethan tilsat 20 ml 0,05 M natriumpyrophosphat i 16 timer. Organisk fase injiceres ligeledes.
GC-metode:	Kolonne: HP-5MS, 5% phenyl methyl silicone gum Temperatur: 35 °C. i 2 min. 5 °C/min. til 70 °C, 25 °C/min. til 325 °C, 10 °C/min til 340 °C som holdes i 9 min. Bæregas: Helium. Injektionsform: Splitless 2 µl. Detektor: Masse Selektiv Detektor. (MSD)
Massedetektor:	HP 5972 MSD el. HP 5973 MSD
Detektor:	Scan mode: 33 - 500 amu. Ionisering: Electron Impact 70 eV. Temperatur: Interface: 280 °C.
Bibliotek:	NIST MS (74.828 Spektre) Rev. C.00.00 NIST/EPA/NIH Chemical Structures(61.952 strukturformler). Rev A.00.00.
Dataanalyse:	Ved en standard GC/MS-Analyse vil man koncentrere sig om de største toppe i totalionstrømmen, indenfor et antal på maximum 10 toppe. Disse toppes spektre vil blive sammenlignet med (databasens) bibliotekets spektre. Udfrå dette foreslår databasen en identitet med en givet sikkerhed (% sandsynlighed). Afvigelser herfra aftales mellem laboratorie og rekvirent. Laboratoriet sammenligner med analyse af af foreslåede stoffer, såfremt de findes i laboratoriets kemikaliesortiment.
Konklusion:	Laboratoriet samler tilsidst alle data, og kommer med en konklusion, der beskriver hvilke stoffer der indeholdes i prøven, samt hvorfra de evt. stammer.
Kvantisering:	Såfremt laboratoriet råder over standardstoffet, er kvantisering mulig.

Resultatet fra kolonne udvaskningsforsøg

Column leaching test		Page 1 of 2							
Nordtest NT ENVIR 002 (DHI M14)									
Test sample:	Termisk behandlet jord fra Rambøll	Date:	November 2001						
Lab sample ID:									
Dry mass of test sample:	kg								
Pretreatment:	Ingen	Performed by:	DHI						
Leachant:	0,001 M CaCl ₂ - opløsning i DMV								
Column dimensions:	Diameter = 52 mm								
Flow rate in column test:	4,0 - 5,3 cm/24 hrs								
Fractions of leachate collected									
Fraction 1 (litres):	0,0857 l	0,12	0,12						
Fraction 2 (litres):	0,0579 l	0,08	0,20						
Fraction 3 (litres):	0,219 l	0,31	0,51						
Fraction 4 (litres):	0,355 l	0,49	1,00						
Fraction 5 (litres):	0,7151 l	1,00	2,0						
Fraction 6 (litres):	2,155 l	3,00	5,0						
Fraction 7 (litres):	l	0,00	5,0						
Eluate composition:									
Parameter	Unit	L/S (l/kg)							
		From:	0,00	0,12	0,20	0,51	1,00	2,00	5,00
		To:	0,12	0,20	0,51	1,00	2,00	5,00	5,00
Na	mg/l	1900	800	170	24				
Chloride	mg/l	2000	245	80	75				
As	mg/l	0,010	0,010	0,006	0,006				
Ba	mg/l	0,050	0,035	0,036	0,046				
Cd	mg/l	0,0035	0,0015	0,0008	0,0005				
Cr	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,001				
Cu	mg/l	0,24	0,21	0,13	0,10				
Hg	mg/l	0,001	< 0,0008	< 0,0002	0,0003				
Mn	mg/l	0,41	0,30	0,30	0,21				
Ni	mg/l	0,030	0,025	0,022	0,014				
Pb	mg/l	0,005	0,005	< 0,002	0,001				
Zn	mg/l	0,14	0,085	0,046	0,03				
pH	-	7,4	7,6	7,7	7,6	7,6	7,8		
Conduct.	mS/m	1300	710	460	280	150	54		

Column leaching test		Page 2 of 2						
Nordtest NT ENVIR 002 (DHI M14)								
Test sample:	Termisk behandlet jord fra Ramball							
	0							
Lab sample ID:	R-192-01/M14-1					Date:	November 2001	
Dry mass of test sample:	0,7179 kg							
Pretreatment of sample:	Ingen							
Leachant:	0,001 M CaCl ₂ - opløsning i DMV					Performed by:	DHI	
Column dimensions:	Diameter = 52 mm							
Flow rate in column test:	4,0 - 5,3 cm/24 hrs							
Fractions of leachate collected		Fraction	Cummul					
		L/S (l/kg)	L/S (l/kg)					
Fraction 1 (litres):	0,0857	0,12	0,12					
Fraction 2 (litres):	0,0579	0,08	0,20					
Fraction 3 (litres):	0,219	0,31	0,51					
Fraction 4 (litres):	0,355	0,49	1,00					
Fraction 5 (litres):	0,7151	1,00	2,0					
Fraction 6 (litres):	2,155	3,00	5,0					
Fraction 7 (litres):	0,000	0,00	5,0					
Accumulated leached amounts:								
Parameter	Unit	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)	L/S (l/kg)
		To	0,12	0,20	0,51	1,00	2,00	5,00
Na	mg/kg		227	291	343	365		
Chloride	mg/kg		239	259	263	300		
As	mg/kg		0,00119	0,0020	0,0038	0,0068		
Ba	mg/kg		0,006	0,0088	0,0188	0,04		
Ca	mg/kg		0,0004	0,0005	0,0008	0,0010		
Cr	mg/kg	<	0,0006	<	0,0010	<	0,002	<
Ce	mg/kg		0,029	0,045	0,085	0,134		
Hg	mg/kg		0,0001	<	0,0002	<	0,00024	0,0004
Ks	mg/kg		0,049	0,073	0,165	0,289		
Ni	mg/kg		0,0038	0,0056	0,0123	0,0192		
Pb	mg/kg		0,0006	0,0010	=	0,0016	0,0021	
Zn	mg/kg		0,017	0,024	0,039	0,052		

Thomas H. Christensen: "Aspekter omkring tungmetaller i gennemførte forsøg med rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening" 14. december 2001.

Notat

Til

Rambøll, ved Carsten H. Helvind

Fra

Thomas H. Christensen

Miljø & Ressourcer DTU

Danmarks Teknisk Universitet

12 december, 2001

Aspekter omkring tungmetaller i gennemførte forsøg med rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudviklings-program for jord- og grundvandsforurening

Baggrund

Rambøll har i 2001 under Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvand gennemført en undersøgelse af et termisk jordrensningsanlæg opstillet hos RGS 90 Jordrens. Resultaterne heraf foreligger i udkast i rapporten "Forsøg med rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg".

Undersøgelsen dokumenterer at jordrensningsanlægget er effektivt med hensyn til fjernelse af organiske forureninger. De udtagne prøver har imidlertid også været analyseret for tungmetallindhold ligesom der har været foretaget batch-udvaskningstest og enkelte kolonne-udvaskningstest på jordprøver. Resultaterne herfra forekommer overraskende og ikke umiddelbart forklarlige.

Rambøll har i brev af 2. oktober, 2001 anmodet Miljø & Ressourcer DTU om at kommenterer de fundne resultater. Rapportudkastet forelå tilsendt 28. november, 2001.

Tungmetaller: Totalindhold

Tungmetal indholdet er målt før og efter behandling af 2 batche jord: 10-15 prøver er udtaget ved indfødningen til behandlingsenheden fordelt over forsøgets gennemførelse og udmålt individuelt. Et tilsvarende antal prøver er udtaget analyseret efter behandlingen.

Enkeltanalyserne er præsenteret i Bilag 4. I Bilag 2, Tabel 4 og 5 er resultaterne ”før” og ”efter” præsenteret som median-værdier og ln-gennemsnit. For sammenligning af ”før” og ”efter” er beregnet en p-værdi for 0-hypotesen om ingen forskel. Her konstaterer rapporten at der på et 5% niveau efter behandlingen er konstateret forøget indhold af bly og nikkel og formindskede indhold af kviksølv og zink i Batch 1 (højt metalindhold) og for Batch 2 (lavt metalindhold) forhøjet indhold af arsen, bly og cadmium, mens kviksølv er formindsket.

Under opvarmningen af jorden, der i et ikke nærmere defineret antal minutter (???) kommer op over 550 C (???) under iltunderskud, sker der et vist tab af tørstof ved forbrænding og afgasning. Dette tab er ikke nærmere vurderet, men det angives at kulstofindholdet (Figur 3.3) i Batch 1 er faldet ca. 1.5%, hvilket svarer mindst til et tørstofftab på 3 %. Dette betyder at tungmetaller, der ikke flygtiggøres under opvarmningen, vil fordeles i en mindre mængde tørstof og indholdet på tørstofbasis stige tilsvarende.

Bortset fra kviksølv, der helt forventeligt afdamper ved de aktuelle temperaturer, vurderes det at for Batch 1 er det kun bly der udviser væsentlige (>10%) og signifikante (<5%) stigninger og for Batch 2 er det arsen, bly og cadmium der udviser væsentlige (På medianværdier: As: 40%, Pb: 80% og Cd: 40%) og signifikante stigninger. I Batch 2 er metalindholdene lave og stigningerne for arsen og cadmium, om end signifikante, dog uden praktisk betydning for vurdering af jordens anvendelse. Det væsentlige og umiddelbare uforklarlige i resultaterne er således den observerede stigning i totalindholdet i bly, især i Batch 1, hvor stigningen udgør 250 mg Pb/kg jord TS.

Ud fra rapportens oplysninger synes prøveomfanget rimeligt og, bortset fra at signifikansniveauet for det øgede blyindhold er 3 % (0-hypotese) og dermed med en lille sandsynlighed kunne være en statistisk tilfældighed, kan følgende indgange søges som forklaringsmulighed. Det skal dog siges at betydningen af nedenstående muligheder ikke kan vurderes ud fra det foreliggende materiale.

- *Prøvetagningsudstyr:* Det beskrives at prøverne af det behandlede jord, i modsætning til jorden før behandlingen, udtages i metalspande (Bilag 1), hvori prøven tilsyneladende opholder sig til den er nedkølet og klar til emballering. Det kan ikke udelukkes, at spanden med det opvarmede jord kan afgive bly til jorden. Mod denne hypotese taler, at ikke begge batche jord er blevet beriget lige meget, idet det antages at begge jorde har opholdt sig nogenlunde lige længe i spandene og at de har været af samme kvalitet og stand. Denne forklaringsmulighed forekommer ikke særlig sandsynlig.
- *Oplukning:* Inden analyse oplukkes jorden i salpetersyre ifølge Ds ???. Denne oplukning er ikke total, og det er muligt at den varmebehandlede jord er lettere at oplukke end den ubehandlede jord. Batch 1 betegnes som ”byjord” og findes der i jorden stumper af gammel plast og/eller maling, der sagtens kunne indeholde høje koncentrationer af bly, kunne dette betyde en større mængde tilgængelig bly i det varmebehandlede jord. En nøje visuel vurdering af den ubehandlede jord kunne afgøre om der var stumper af plast og/eller maling i den ubehandlede jord. En kontakt til laboratoriet kunne muligvis belyse om oplukningen, det vil sige resten efter oplukningen, havde være forskellig for den ubehandlede og behandlede jord. Såfremt disse opfølgninger peger i den rigtige retning kunne man med en ubehandlet jordprøve foretage en simulering af processens temperaturforløb under reduceret atmosfære og

under oxiderende atmosfære i en muffel-ovn og derefter foretage fornyet oplukning og analyse.

- *Afsmitning fra behandlingsanlæg:* Såfremt der i behandlingsanlægget sker afsmitning fra udstyr (slitage af malinger o.l.) eller lejlighedsvis frigivelse af tidligere ophobet støv o.l. kunne dette bidrage til øget blyindhold i de behandlede prøver. Ændringer i fysiske forhold og i temperaturer kunne forårsage afsmitninger fra udstyr, men på det foreliggende grundlag kan dette ikke vurderes nærmere.

Det er ikke muligt på det nuværende grundlag at vurdere nærmere hvorfor blyindholdet tilsyneladende øges i jorden under behandlingen. Det foreslås, at hvis dette skal nærmere undersøges, at undersøgelserne i første omgang kigger på oplukningen af prøverne.

Tungmetaller: Udvaskning

Udvaskningen af tungmetaller er for Batch 1 belyst ved batch-udvaskningsforsøg (L/S 2) på jord "før" og "efter" behandlingen og der er endvidere udført kolonneudvaskningsforsøg på behandlet jord. Det er ikke udført udvaskningsforsøg vedrørende Batch 2. Batch-udvaskningsforsøgene er udført på 15 batche før behandlingen og 10 batche efter behandlingen. Resultaterne fremgår af Bilag 4. I Bilag 2, Tabel 6 er resultaterne "før" og "efter" præsenteret som median-værdier og ln-gennemsnit. For sammenligning af "før" og "efter" er beregnet en p-værdi for 0-hypotesen om ingen forskel. For arsen, klorid og natrium er udvaskningen øget (faktor 2-3 på medianværdien), mens udvaskningen for metallerne bly, cadmium, krom, kobber, mangan, nikkel og zink er faldet (faktor 2-30 på medianværdien). Der er ikke oplyst pH-værdier for de udførte batche, men målinger af jordens pH viser en stigning fra 7,7 til 9,1 ved behandlingen.

Øgningen i natrium og klorid udvaskningen skyldes NaOH tilført processen til neutralisering af sure gasser, hvoraf HCL forventes at udgøre en væsentlig del. Scrubbervandet, der tilbageføres til jorden, er ikke målt med hensyn til natrium og klorid (??????), men udgør høst sandsynligt den øgede udvaskning af disse to elementer i batch-udvaskningstesten.

Arsen optræder som anion i jordmiljøet og er kun i begrænset omfang knyttet til jordpartiklerne ved sorption. Ved øget pH vil udvaskningen stige og øgningen af de i øvrigt lave værdier efter behandlingen synes forklarlige. Krom, der også kan optræde som anion, findes udvasket i meget lave koncentrationer faldende fra ca. 0.002 mg/l til ca. 0.001 mg/l efter behandlingen. Jordens pH, indhold af organisk kulstof og iltunderskudet under behandlingen sandsynliggør at krom findes i jorden som Cr(III) og dermed bundet som et hydroxid. Derfor synes de lave udvaskninger og det svage fald ved pH stigningen sandsynlige.

Den reducerede udvaskning af tungmetallerne i øvrigt kan skyldes flere forhold:

- *pH-stigning:* Det er konstateret at jordens pH-værdi stiger under behandlingen og det er derfor meget sandsynligt at pH har været højere i batch-udvaskningen for den behandlede jord end for den ubehandlede jord. Bindningen ved sorption stiger typisk med en faktor 2-5 for hver pH-enheds stigning, hvilket betyder at udvaskningen falder tilsvarende. Det observerede fald i udvaskningen er således konsistent med stigningen i pH

- *Tilsodning og sammenkitning:* Kornstørrelsesanalysen og mikroskoperingen af prøverne viser tydeligt at partiklerne efter behandlingen er tilsodede og delvist sammenkittede. Dette kan indebære en mindre effektiv kontakt mellem vandet og partiklerne under udvaskningen og dermed reducere udvaskningen under den relative begrænsede udvaskningsperiode som benyttes i batch-testen.
- *Kolloid-indhold i udvaskningstesten:* Koncentrationen af tungmetal, der udvaskes i batch-udvaskningstesten, bestemmes efter centrifugering og filtrering af vandet. Denne proces fjernes dog ikke finere kolloidt materiale, idet definitionen af opløst metal ofte omfatter partikler mindre end 0.00045 mm. Det er dog ikke usandsynligt, selv om det ikke er målt, at mængden af fint-kolloidt materiale i udvaskningsvandet fra de behandlede jordprøver er mindre end fra de ubehandlede jordprøver på grund af tilsodningen og sammenkitningen. Dette vil betyde at udvaskningen (reelt opløst + fint-kolloidt) vil være størst fra den ubehandlede jord.

Det kan på det nuværende grundlag ikke afgøres i hvilket omfang de ovenfor nævnte faktorer hver for sig har betydning for ændringen i udvaskningen, men det er muligt at de alle 3 bidrager til det observerede fald i udvaskningen efter behandlingen af jorden. Det konstaterede fald i udvaskningen af tungmetallerne synes således konsistent med øvrige observationer og sandsynligt. Det konstaterede fald i udvaskningen af bly på ca. en faktor 8 er således ikke nødvendigvis i konflikt med en tilsyneladende stigning i blyindholdet i jorden på en faktor 1,8.

Thomas H. Christensen
Professor, dr.agro. Ph.d., civ.ing.