

Afprøvning af immunoassaymetode til bestemmelse af PAH-indhold i jord

Ann Steen Jensen, Nordjyllands Amt

Miljøprojekt **Nr. 1170** 2007
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening

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 BAGGRUND	11
1.2 FORMÅL	11
2 VALG AF SCREENINGSMETODE	12
2.1 DE FORSKELLIGE SCREENINGSMETODER	12
<i>Farvebedømmelse</i>	13
<i>Immunoassay</i>	13
<i>UV-fluorescens</i>	14
<i>Tyndtlagskromatografi</i>	14
2.2 VALG AF SCREENINGSMETODE	15
2.3 INDLEDENDE FINANSIEL ANALYSE	15
3 PRINCIP FOR IMMUNOASSAY TEKNIK	17
3.1 IMMUNOASSAY-PRINCIPPET	18
4 PILOTUNDERSØGELSEN	21
4.1 VURDERING AF EFFEKTIVITETEN AF EKSTRAKTION MED METHANOL	21
4.2 DE INDLEDENDE RESULTATER MED IMMUNOASSAY TESTKIT	23
4.3 UDVIKLING AF EKSTRAKTIONSTRIN	26
5 FINANSIEL ANALYSE 2003	28
6 KONKLUSION	29
7 ORDFORKLARING	30
8 REFERENCER	31

Forord

Nærværende projekt om afprøvning af immunoassaymetoden til bestemmelse af indhold af Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner (PAH) i jordprøver er iværksat og udført af Nordjyllands Amt med tilskud fra Miljøstyrelsens teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening. Projektet har det overordnede formål at afklare, om analyse for PAH ved en immunoassaymetode – en screeningsmetode - kan anvendes ved tekniske undersøgelser i forbindelse med kortlægning frem til vidensniveau 2.

Anvendelse af immunoassaymetoden i stedet for akkrediterede laboratorieanalyser er begrundet i et ønske om at minimere udgifterne til orienterende forureningsundersøgelser samt at udføre undersøgelserne fleksibelt og hurtigt.

Projektet er udført af Nordjyllands Amt og den endelige rapportering af projektet er udført af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S i samarbejde med Amtet.

Projektet har af forskellige årsager været lang tid undervejs. Der skal gøres opmærksom på, at jordkvalitets- og afskæringskriterierne for PAH i mellemtiden er blevet ændret. Jordforureningsloven er desuden blevet ændret, således at kortlægning først sker, når afskæringskriteriet overskrides.

Sammenfatning og konklusioner

Med henblik på at minimere udgifterne til de tekniske undersøgelser ved kortlægning frem til Vidensniveau 2 samt kunne udføre hurtige undersøgelser, er der et ønske om at afprøve en screeningsmetode, som kan supplere og erstatte flere af de akkrediterede analyser for PAH-forbindelser. Der er således behov for en metode, der kan afgøre følgende forhold:

- Om en jordprøve indeholder PAH (metoden skal være forurenings-specifik)
- Om indholdet er mindre end Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterium på 1,5 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 4 mg/kg TS) for sum af 7 MST PAH (metoden skal være semi-quantitativ)
- Om indholdet er over Miljøstyrelsens afskæringskriterium på 15 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 40 mg/kg TS) for sum af 7 MST PAH (metoden skal være semi-quantitativ)

Formålet med projektet er at afklare, om sikkerheden ved anvendelse af immunoassaymetoden er tilstrækkelig til at den kan anvendes ved tekniske undersøgelser af forurenede grunde frem til Vidensniveau 2.

Til analyse af tjæreforurenet jord er fire forskellige screeningsmetoder overvejet:

- Farvebedømmelse – dichlormethan-ekstraktion
- Immunoassay
- UV-fluorescens - fluorimeter
- Tyndtlagskromatografi

Det er kun immunoassaymetoden, som er vurderet at besidde de fornødne egenskaber til at der kan foretages en screening af tjæreforurening ved de tekniske undersøgelser frem til Vidensniveau 2. Immunoassay-metoden blev også vurderet som økonomisk fordelagtig ved opstart til projektet i oktober 2000, idet ca. 45% flere prøver kunne analyseres inden for samme budget, hvilket gav flere muligheder for at afgrænse en jordforurening.

Interferens fra andre kulbrinter, som BTEX, phenoler, olieculbrinter m.fl. er minimal. Da jordkvalitetskriteriet for sum af PAH er baseret på 7 PAH med 4 - 6 ringe, er det en fordel, at immunoassay-testkittet er mest følsomt over for netop de tungere stoffer (4 - 6-ringede PAH).

Testkittet er af US EPA godkendt og valideret som metode 4035 til screening af, hvorvidt jorden indeholder mere end 1 mg total PAH/kg. Der foreligger dokumentation for metodens ydeevne, og der er generelt god overensstemmelse mellem testniveauer og laboratorieresultater, ligesom sandsynligheden for et falsk negativ resultat er vurderet som lav. Det er dog rapporteret, at jordforhold såvel som tilstedeværelse af komplekse blandinger samt nedbrudt forurening kan medføre mindre god overensstemmelse mellem testkit og laboratorieresultater.

Ved afprøvning i Skagen er der valgt to testniveauer på henholdsvis 1,5 og 15 mg/kg TS sum af PAH svarende til følgende tre koncentrationsniveauer:

- <1,5 mg/kg TS
- 1,5 – 15 mg/kg TS
- > 15 mg/kg TS

Ud over screeningsanalyser med testkittet er der foretaget en vurdering af effektiviteten af ekstraktionsmetoden anvendt ved immunoassay-metoden. Kun omkring 25% af PAH ekstraheres med methanol ved 1 minuts udrystning i forhold til en 16 timers standard ekstraktion med dichlormethan ved laboratorieanalyse med GC-FID. Især de tungere PAH (indeno(123-cd)-pyren og dibenz(a,h)anthracen) viser en ringe ekstraktion i methanol.

Ved praktisk afprøvning af immunoassay-testkittet på 164 jordprøver er der desuden fundet en tydelig tendens til at testkittet underestimerer PAH-indholdet i forhold til GC-FID-analyserne, og der er foreslået ændringer i ekstraktionstrinnet til immunoassay-metoden.

En ændret ekstraktionsprocedure som omfatter opvarmning til 55 °C og ekstraktion over 1 time er derfor afprøvet. Denne procedure giver tilsyneladende bedre overensstemmelse med GC-FID- analyserne.

Derimod er der med prisniveau'et i 2003-2004, ingen økonomisk gevinst ved immunoassay-metoden frem for laboratorieanalyse. Da immunoassay-metoden yderligere kun giver en semi-kvantitativ vurdering af forurenings-niveauerne, frarådes anvendelse af immunoassay-metoden i forbindelse med kortlægning.

Immunoassay-metoden kan dog i forbindelse med afværgeprojekter give en tidsmæssig fordel.

Summary and conclusions

An evaluation of a screening method to supplement and replace some of the accredited analyses for PAH compounds was carried out. The objective was to use a screening method in order to reduce the cost of the technical investigations during mapping of soil pollution at information level 2 and to enable investigations to be performed quickly.

A screening method must determine the following conditions:

- whether the soil sample contains PAH (requires analysis for a specific group of pollutants)
- whether the content is less than the Danish Environmental Protection Agency's soil quality criterion of 1.5 mg/kg DW (NB: later changed to 4 mg/kg TS) for the sum of 7 MST PAH (requires a semi-quantitative method)
- whether the content exceeds the Danish Environmental Protection Agency's soil intervention criterion of 15 mg/kg DW (NB: later changed to 40 mg/kg TS) for the sum of 7 MST PAH (requires a semi-quantitative method)

The objective for the project is to determine if the immunoassay method is sufficiently reliable to enable its use for technical investigations of contaminated sites at information level 2.

For the analysis of soils contaminated with tars, four different screening methods are considered:

- Colour determination – dichloromethane extraction
- Immunoassay
- UV-fluorescence – fluorimeter
- Thin layer chromatography

Only the immunoassay method was assessed to have the necessary properties to be able to carry out screening for the content of tar in contaminated soils during technical investigations at information level 2. The immunoassay method was also assessed to be the most financially advantageous method at the commencement of the project in October 2000 because an additional 45% of the normal number of soil samples could be analysed within the same budget and this improves the chances of delineating the soil pollution.

Interference from other hydrocarbons such as BTEX, phenols, oil hydrocarbons etc. is minimal. Since the soil quality criterion for the sum of PAH is based on seven PAH with 4 to 6 rings, it is an advantage that the immunoassay test kit is most sensitive to the 4-to-6-ringed PAH.

The test kit is approved and validated by the US EPA as method 4035 and is described as a method to screen soil samples for content of PAH in excess of 1 mg total PAH/kg. The method's characteristics and capability are documented and there is generally good agreement between test levels and laboratory results. Likewise, the probability of a false negative result is assessed to be low. It is however reported that soil conditions as well as the presence of complex mixtures of hydrocarbons and degraded pollutants can

lead to discrepancies between the results obtained with the test kit as compared to laboratory results.

During the trial of the test kit in Skagen, two tests of pollutant concentration are applied which defined the following three classification levels:

- <1.5 mg/kg DW
- 1.5 – 15 mg/kg DW
- > 15 mg/kg DW

Apart from the trial of the screening method, the effectiveness and efficiency of the extraction method used in the immunoassay method is also evaluated.

Only about 25% of the content of PAH is extracted using methanol and shaking for one minute as compared with a 16-hour standard extraction with dichloromethane in the laboratory GC-FID method. Especially the heavier 5 and 6-ringed PAH (indeno(1,2,3-c,d)pyrene and dibenz(a,h)anthracene) are poorly extracted in methanol.

The practical trial of the immunoassay test kit based on 164 soil samples indicated a clear tendency to underestimate the content of PAH as compared to the content determined by GC-FID and a suggestion to improve the extraction step in the immunoassay method was made.

The improved extraction method is based on warming the extract to 55 °C and increasing duration of extraction from one minute to one hour. This method is also evaluated for some soil samples and appears to give better agreement with the GC-FID analyses.

However with 2003-04 price levels, there is no longer a financial benefit to be achieved by using immunoassay instead of laboratory analyses. Since the immunoassay method is only a semi-quantitative screening method, it can therefore no longer be recommended in connection with mapping contaminated soils.

The immunoassay method is however still advantageous with respect to optimisation in connection with time restraints during remediation projects.

1 Indledning

1.1 Baggrund

I de fleste fiskelejer langs øst- og vestkysten samt i de indre farvande er der foregået tjæring af fiskegarn og tovværk /1, 2/. Imprægnering af garn og tove er hovedsageligt udført i perioden fra starten af 1900-tallet og frem til 1960'erne. De mest almindelige tjæretyper til imprægnering af fiskegarn har været stenkulstjære, træstjære samt catechu. Stenkulstjære blev købt hos gasværkerne og er et produkt bestående af mere end 60% PAH-forbindelser (polyaromatiske cykliske hydrocarboner), mens træstjære er et produkt fremstillet ved tørdestillation af saft fra træer, ofte fyrretræer (finsk eller svensk træstjære), som hovedsagelig indeholder terpener (cykliske langkædede kulbrinter) og kun mindre mængder af PAH-forbindelser /1/. Catechu er fremstillet af indtørret plantesaft, og består primært af garvesyre og catechin uden PAH-forbindelser /2/. Efter tjæring blev garnene hængt til tørre på en række pæle (stejler – stejlepladser), eller spredt ud på frie strandarealer.

På disse imprægnerings-/stejlepladser konstateres der ofte væsentlige jordforureninger med tjærekompener. Ifølge /2/ er der pr. 2000 på landsplan lokaliseret 565 tjærepladser, hvoraf 155 findes i Nordjyllands Amt. Kortlægningen af tjærepladser i Nordjyllands Amt har medført, at ca. 77 pladser svarende til 297 matrikler er blevet kortlagt på Vidensniveau 1. Herudover er 65 pladser svarende til 461 matrikler kortlagt på Vidensniveau 2, mens kortlægning af 6 pladser er uopklarede og de resterende 7 pladser er udgåede fra kortlægning.

Erfaringerne fra undersøgelser af tjærepladser har vist, at der omkring tjæregryden kan findes tjærekulper og koncentrationer langt over 1.000 mg/kg TS (sum af 7 MST PAH). På arealerne, hvor garnene har ligget til tørre, findes der koncentrationer op til et par hundrede mg/kg TS (sum af 7 MST PAH). Forureningen er typisk beliggende i den øverste halv til hele meter, og de højeste koncentrationer findes i de øverste 10 cm.

Da mange arealer er potentielt forurenede, er der behov for at minimere udgifterne til orienterende forureningsundersøgelser samt for at kunne udføre undersøgelserne hurtigere.

1.2 Formål

Formålet med projektet er at afklare, om sikkerheden ved anvendelse af immunoassaymetoden er tilstrækkelig til at den kan anvendes ved tekniske undersøgelser af forurenede grunde frem til Vidensniveau 2. Immunoassay ønskes anvendt som et screeningsværktøj, som kan supplere og erstatte flere (men ikke alle) akkrediterede analyser for PAH-forbindelser.

2 Valg af screeningsmetode

For et areal, som skal kortlægges frem til Vidensniveau 2, skal det dokumenteres, om forurening af arealet er af en sådan art og koncentration, at den kan have skadelig virkning på mennesker og miljø.

På arealer, som formodes at være forurenede med tjærestoffer, vil man foretage en vurdering i henhold til Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier (JKK) på 1,5 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 4 mg/kg TS) for sum af de 7 MST PAH (fluoranthen, benzo(b)fluoranthen, benzo(j)-fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, dibenz(a,h)anthracen and indeno(123-cd)pyren) og 0,1 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 0,3 mg/kg TS) for henholdsvis benzo(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen /3, 4/. Forureningsniveauet vurderes også i forhold til afskæringskriterierne på 15 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 40 mg/kg TS) for sum af 7 MST PAH og henholdsvis 1 mg/kg TS (OBS: er efterfølgende blevet ændret til 3 mg/kg TS) for benzo(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen /3, 4/.

Afskæringskriteriet angiver det niveau, hvorover der skal foretages fuldstændig afskæring fra jorden, således at mennesker ikke udsættes for påvirkning fra den forurenede jord. Intervallet mellem jordkvalitetskriteriet og afskæringskriteriet benævnes rådgivningsintervallet. Ligger forureningen inden for rådgivningsintervallet, må jorden kun bruges til den mest følsomme anvendelse, såfremt de lokale myndigheder rådgiver offentligheden og jordejerne om forholdsregler, der kan nedsætte belastningen fra forureningen, således at det sædvanlige beskyttelsesniveau opretholdes /3/.

Med henblik på at minimere udgifterne til de tekniske undersøgelser samt kunne udføre hurtige undersøgelser, er der et ønske om at afprøve en screeningsmetode, som kan supplere og erstatte flere af de akkrediterede analyser for PAH-forbindelser. Der er således behov for en metode, der kan afgøre om

- en jordprøve indeholder PAH (metode skal være forureningsspecifik)
- indholdet er mindre end 1,5 mg/kg TS, sum af 7 MST PAH (semi-kvantitative metode)
- indholdet er over 15 mg/kg TS, sum af 7 MST PAH (semi-kvantitative metode)

2.1 De forskellige screeningsmetoder

Til analyse af tjæreforurenet jord er følgende fire screeningsmetoder overvejet:

- Farvebedømmelse – dichlormethan-ekstraktion
- Immunoassay
- UV-fluorescens - fluorimeter
- Tyndtlagskromatografi

Farvebedømmelse

Metoden er en ekstraktfarve-test, hvor en delprøve udrystes med dichlormethan, hvorefter den aktuelle farve vurderes visuelt ud fra et standardfarvekort, delt op i følgende 6 intensiteter, hvor sort svarer til den mest forurenede:

0	Klar	<20 mg totaltjære/kg TS
1	Svag gul	
2	Gul	
3	Svag brun	
4	Brun	
5	Sort	>100 mg totaltjære/kg TS

Detektionsgrænsen for metoden er ca. 20 mg tjære/kg. Metoden giver begrænsede muligheder for at bedømme og sammenligne forureningsniveauer i forskellige jordprøver. I /5/ er metoden vurderet som uspecifik og kvalitativ, idet andre stoffer såsom olie og naturlige organiske stoffer, kan interferere.

Metoden er ikke umiddelbart egnet som screeningsmetode, da der som ekstraktionsmiddel anvendes dichlormethan, som er uønsket i arbejdsmiljøer (må kun anvendes i stinkskab med udsugning). Endvidere skal stoffet udfases, da det er kræftfremkaldende. Endelig er metoden uegnet til kortlægning frem til Vidensniveau 2, idet detektionsgrænsen er højere end både jordkvalitets-kriteriet og afskæringskriteriet.

Ke-Mi-Lab i Aalborg (nu en del af Eurofins, Danmark) har forsøgt at forbedre metoden og arbejdsmiljøproblemet ved at ekstrahere med methanol, hvorefter farven bedømmes spektrofotometrisk. Anvendelse af et spektrofotometer forbedrer følsomheden og medfører en lavere detektionsgrænse. Resultaterne viste imidlertid, at methanolekstraktion på våde prøver medfører interferens ved farvedannelse, hvilket gør metoden uegnet som en screeningsmetode, da jordprøverne først skal tørres. Ved en tidligere afprøvning af farvebedømmelse på 20 jordprøver fra arealer i Skagen er målt følgende resultater, jf. tabel 2.1.

Ekstraktfarve	Antal prøver	Total tjære (GC/FID)* mg/kg TS		
		< 20	20-100	> 100
0 Klar	1	1		
1 Svag gul	2	2		
2 Gul	10	6	4	
3 Svag brun	1		1	
4 Brun	4	1	2	1
5 Sort	2			2

* GC/FID analyse for kulbrinter (total tjære)

Tabel 2.1 Tidligere resultater hos Nordjyllands Amt ved farvereaktion på tjære-forurenede jordprøver

Previous results for soil samples at Nordjylland Amt

Som det ses af tabel 2.1, viser farvereaktionen en rimelig overensstemmelse med de målte niveauer ved GC/FID, men niveauerne er ikke anvendelige for kortlægning frem til Vidensniveau 2. Metoden har vist størst anvendelighed på analyselaboratoriet ved udvælgelse af prøver til GC-MS analyse for PAH.

Immunoassay

Metoden er en stofs specifik test baseret på reaktionen mellem et stofs specifikt antistof og stoffet ekstraheret i methanol. Metoden er semi-kvantitativ, idet det afsluttende trin omfatter farvekompleksring af antistoffer, som ikke er bundet

til det stof, som skal måles. Farven vurderes i et spektrofotometer. Jo mindre farve, der dannes, jo højere koncentration af PAH /5/. Normalt leveres testkittet kalibreret med reagens til at foretage en række forudbestemte fortyndinger af methanolekstraktet. Jo mere prøven fortyndes (stofkoncentrationen bliver mindre), jo større sandsynlighed for farvedannelse. Hver fortynding kan relateres til et bestemt testniveau og ved at måle farvedannelsen i en række fortyndinger kan indholdet i prøven vurderes i forhold til de forudbestemte testniveauer, f.eks. <1,5, 1,5 -15 og > 15 mg total PAH/kg TS. Detektionsgrænsen er ca. 1 mg/kg. Metoden kræver omhu under udførelsen, og tidsfristerne for de enkelte analysetrin skal overholdes. Metoden omfatter håndtering af giftige kemikalier, hvorfor arbejdsmiljøgener skal forebygges.

Metoden er beskrevet i detaljer i afsnit 3.

UV-fluorescens

Metoden bygger på måling af fluorescens i jordprøver eller på jordoverflader efter UV-bestråling. Resultaterne er forureningsspecifikke, idet der måles på de fluorescerende organiske forbindelser, typisk aromater som BTEX, naphthalener og PAH-forbindelser, dvs. indikatorer for olie- og tjæreforurening. Resultaterne angiver ikke en bestemt koncentration, men et tal, som er et kvalitativt mål for forureningsmængden og som kan anvendes til sammenligning af jordprøver fra samme lokalitet /5/. Metoden finder især anvendelse ved jordstyring ved bortgravning af olieforurenet jord. Metoden har den fordel, at der findes kommercielt, bærbart og feltvenligt udstyr, som efter en kort vejledning kan anvendes i felten. Metoden har flere ulemper, idet fluorescens er stærkt afhængig af jordarten, forureningssammensætningen og vandindholdet, ligesom responsen ikke er lineær. Ved høje forureningsindhold ses mætning, og responsen kan endog falde ved stigende koncentrationer. Herudover kan baggrunds niveauerne i uforurenede prøver vise stor spredning /5/.

Metoden er afprøvet af Nordjyllands Amt og er ikke fundet egnet til tjæreforurening.

Tyndtlagskromatografi

Metoden er baseret på en kromatografisk separering af de enkelte forureningsstoffer ekstraheret fra jordprøven med dichlormethan. Den kromatografiske separering foretages på en plade (evt. glas) belagt med et tyndt lag af det kromatografiske medie. Den nederste del af pladen placeres oprejst i elueringsvæsken i en lukket beholder. Pladen fjernes, når elueringsvæsken næsten har nået toppen af pladen. Pladen tørres, hvorved der på pladen fremkommer pletter, som repræsenterer de separerede stoffer. Pletterne fremkaldes/visualiseres ved bestråling med UV-lys samt eventuelt ved eksponering med kemiske reagenser (fremkaldervæske). Pletternes vandringsafstand i forhold til eluentfronten og startpositionen (retentionstiden) måles, og intensiteten (størrelsen) af de individuelle pletter vurderes. Retentionstiderne sammenlignes eventuelt med standardstoffer. Intensiteten af pletterne sammenlignes for de jordprøver, der skal screenes. Metoden må betegnes som hverken forurenings- eller stofspecifik, men kvalitativ, idet intensiteten ikke umiddelbart kan relateres til en bestemt koncentration i jordprøven.

Metoden er ikke umiddelbart egnet til feltbrug, da der som ekstraktionsmiddel anvendes dichlormethan, som er uønsket i arbejdsmiljøet (må kun anvendes i stinkske med udsugning). Endvidere skal stoffet udfases, da det er kræftfremkaldende. Ligeledes anvendes en elueringsvæske, som oftest er et

organisk opløsningsmiddel. Detektionsgrænsen er ca. 1 mg PAH/l ekstraktionsvæske, dvs. ca. 10 mg PAH/kg jord, hvis der anvendes 25 g jord til 250 ml ekstraktionsvæske. Metoden er ifølge Ke-Mi-Lab i Aalborg (nu en del af Eurofins, Danmark) næsten lige så dyr som en akkrediteret analyse.

2.2 Valg af screeningsmetode

På baggrund af redegørelsen i afsnit 2.1 er det kun immunoassaymetoden, som er vurderet relevant ved screening af tjæreforurening ved de tekniske undersøgelser frem til Vidensniveau 2. Immunoassaymetoden er endvidere vurderet i den efterfølgende finansielle analyse før afprøvning i feltforsøg.

2.3 Indledende finansiell analyse

Til begrundelse af afprøvningen af immunoassay som en mulig screeningsmetode er der i oktober 2000 foretaget en finansiell sammenligning af immunoassay-metoden og akkrediterede laboratorieanalyser.

Analysen er baseret på, at der udføres 140 analyser af jordprøver.

	Akkrediteret laboratorieanalyse	Immunoassay
Styk. pris for analyse	900	400*
140 jordprøver	126.000	56.000
Køb af spektrofotometer**		10.800**
Kontrol med akkrediterede laboratorieanalyser i 20% af prøverne		25.200
I alt. Ekskl. Moms	126.000	92.000

* inkl. timeløn på 250 kr./time, hvor der kan analyseres 4 prøver/time og med en rabat på 5% ved køb af mere end 100 testkits.

**Engangsbeløb - Leje af spektrofotometer udgør 1.800 kr./ uge eller 10.800 kr. ved køb.

Tabel 2.2 Finansiell analyse ved anvendelse af immunoassay testkit - 2002
Financial analysis for the use of immunoassay test kit -2000

Som det ses af tabel 2.2, er prisen for immunoassay-metoden kun det halve af en akkrediteret laboratorieanalyse. Den samlede pris ved anvendelse af immunoassay som et screeningsværktøj, inklusive kontrolanalyse, er ca. 25% billigere end ved akkrediterede laboratorieanalyse, idet der spares kr. 34.000 (kr. 126.000 - 92.000). Dette betyder, at der yderligere kan analyseres ca. 60 prøver udover de oprindelige 140 prøver, idet der spares kr. 34.000 svarende til 60 immunoassay á kr. 400 samt 11 akkrediterede analyser á kr. 900 til kontrolanalyser.

Det vil sige, at der ved anvendelse af immunoassay som et screeningsværktøj kan analyseres ca. 45% flere prøver inden for samme budget, hvilket giver flere muligheder for at afgrænse en jordforurening.

Immunoassay har følgende fordele:

- God til specifik screening af koncentrationsniveauer
- Batteridreven (egnet til brug i felten, hvor der ikke er strøm)
- Bærbar/transportable

- Resultaterne kan aflæses direkte som mere eller mindre end testniveauet

Immunoassay har følgende ulemper:

- Kun niveauangivende resultater
- Utilstrækkelig ekstraktion kan medføre falske negative
- Metoden kræver uforstyrrede omgivelser af hensyn til tidsfrister og behov for omhu ved kemikalietsætning
- Der anvendes kemikalier, som skal bortskaffes
- Analysemetoden kræver stor omhu samt, at den detaljerede analyseprocedure inklusive tidsfrister overholdes
- Der anvendes giftige kemikalier, hvorfor operatører skal instrueres i forebyggelse af arbejdsmiljøgener.

3 Princip for immunoassay teknik

Det anvendte immunoassay-testkit er produceret af Strategic Diagnostics Inc. SDI /6/, et bioteknologisk selskab, som producerer produkter til analyse af vand, levnedsmidler og jordforurening, baseret på antistoffer og immunologiske reagenser.

Til analyse af PAH i jordprøver er anvendt testkittet EnSys PAH soil test system. Dette testkit er beregnet til anvendelse ved afværgeprojekter og angiver kvalitative eller semi-kvantitative oplysninger om tilstedeværelse af de 3-, 4- og 5-ringede PAH, som typisk findes ved stenkulstjære- og olieforurenede lokaliteter. I tabel 3.1 angives de koncentrationer af enkelte PAH-forbindelser, der er nødvendige for at få et positivt resultat på mere end 1mg/kg.

PAH-forbindelse	Konc. i mg/kg for angivelse af resultater over 1 mg PAH/kg
2-ringede	
Naphthalen	200
3-ringede	
Acenaphthen	8,1
Acenaphthylen	7,5
Phenanthren	1,0
Anthracen	0,81
Fluoren	1,5
4-ringede	
Benz(a)anthracen	1,6
Chrysen	1,2
Fluoranthren	1,4
Pyren	3,5
5-ringede	
Benzo(b)fluoranthren	4,6
Benzo(j)fluoranthren	?
Benzo(k)fluoranthren	9,4
Benzo(a)pyren	8,3
Dibenz(a,h)anthracen	>200
6-ringede	
Indeno(123-cd)pyren	11
Benzo(ghi)perylene	>200

 Omfattet af MST 7 PAH

Tabel 3.1 Følsomhed ved immunoassay /6/
Sensitivity of the immuno assay

Som det ses af tabel 3.1, har testkittet kun ringe følsomhed over for naphthalen, dibenz(a,h)anthracen og benzo(ghi)perylene, men rimelig følsomhed over for de fleste af de andre 4-, 5- og 6-ringede PAH, som indgår i MST's jordkvalitetskriterier. Det vil sige, at høje koncentrationer af naphthalen (2 ringe) kun giver lav respons. Interferens fra andre kulbrinter, som BTEX, phenoler, olieculbrinter m.fl. er minimal. Da jordkvalitetskriteriet for sum af PAH er baseret på 7 PAH med 4 - 6 ringe, er det en fordel, at kittet er mest følsomt over for netop de tungere stoffer.

PAH testkittet giver en respons svarende til det totale indhold af de 3-6 ringede PAH. Det vil sige, at en PAH-sammensætning bestående af mange PAH-forbindelser, vil give en respons svarende til en lidt højere koncentration (falsk positive værdier) end ved en laboratorieanalyse af de 7 enkelte PAH, som indgår i PAH-jordkvalitetskriteriet. Konsekvenserne ved vurdering af forureningsforhold ved undersøgelser og afgravninger vurderes dog at være uden betydning, idet det kun testes, om jordprøven indeholder mere eller mindre end testniveauerne. Ligeledes noteres det, at dibenz(a,h)anthracen ifølge litteraturkilder kun giver lav respons ved anvendelse af SDI PAH-testkit. Da en PAH-forurening typisk består af en hel række PAH-forbindelser, er lav respons for ét enkelt stof dog uden betydning.

Testkittet er af US EPA godkendt og valideret som metode 4035 til screening af, hvorvidt jorden indeholder mere end 1 mg total PAH/kg /7/. Der foreligger dokumentation for metodens ydeevne, og der er generelt god overensstemmelse mellem testniveauer og laboratorieresultater, ligesom sandsynligheden for et falsk negativt resultat er vurderet som lav /7, 8, 12/. Disse resultater er dog delvist afhængige af, hvorledes forureningsniveauerne ligger i forhold til testniveauerne, om der er anvendt aktuelle forurenede jordprøver eller prøver tilsat standardstoffer, som medfører lempelige ekstraktionsforhold. Det er dog rapporteret, at jordforhold såvel som tilstedeværelse af komplekse blandinger samt nedbrudt forurening kan medføre mindre god overensstemmelse mellem testkit og laboratorieresultater /13/.

Ved afprøvning i Skagen er der valgt to testniveauer, svarende til følgende tre koncentrationsniveauer:

- <1,5 mg/kg TS
- 1,5 – 15 mg/kg TS
- > 15 mg/kg TS

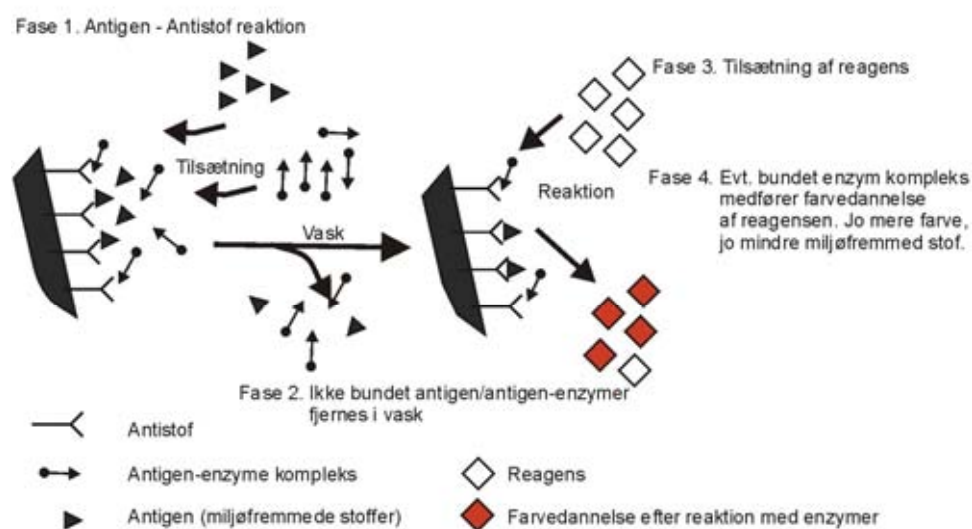
Testkittet kalibreres normalt hos leverandøren (SDI) i forhold til US EPA's 16 PAH; naphthalen, acenaphthylen, acenaphthen, fluoren, phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren, benz(a)anthracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, dibenz(a,h)anthracen, benzo(ghi)perylene og indeno(123-cd)pyren. Testkittet er dog indstillet i forbindelse med afprøvning hos leverandør (SDI), således at testniveauerne svarer til de PAH, som indgår i Miljøstyrelsens sum af 7 PAH (fluoranthen, benzo(b)fluoranthen, benzo(j)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, dibenz(a,h)anthracen and indeno(123-cd)pyren).

Ved indstilling af testkittet antages, at alle jordprøver, som skal screenes, har en sammenlignelig PAH-sammensætning (ikke altid opfyldt, hvis PAH er fra forskellige kilder og nedbrudt i forskellig grad). Der analyseres for alle 16 US EPA PAH i en repræsentativ jordprøve fra lokaliteten, og de indbyrdes forhold mellem de tilstedeværende PAH anvendes sammen med følsomhedsdata i tabel 3.1 til at beregne fortyndingsforholdene for de ønskede testniveauer. Beregningsmetoden er beskrevet i /9/.

3.1 Immunoassay-princippet

Ca. 10 g jord ekstraheres med methanol ved rystning i 1 minut /5, 6/. Princippet illustreres i figur 3.1 fra /5/.

- Fase 1: Ekstraktet med eventuelt indhold af PAH (**antigen**) bringes i kontakt med specifikke **antistoffer** bundet til væggen af et reagensglas. Desuden tilsættes en bestemt mængde "ren" **antigen-enzym kompleks**, som kongruerer med **prøvens antigen** for at binde til **antistoffer** på overfladen. Jo mere **antigen** i prøven, jo mere bindes til **antistoffer** på væggen af reagensglasset. Jo mere **prøvens antigen** bindes til væggen, jo mere **antigen-enzym konjugat** findes der i væsken.
- Fase 2: Herefter fjernes væsken (og overskydende **antigen-enzym konjugat**), og overfladen (reagensglas) vaskes grundigt.
- Fase 3: Herefter tilsættes en reagens til reagensglasset, hvilket medfører en farvedannelse i **det bundne antigen-enzym konjugat** alene.
- Fase 4: Farvedannelsen er således større ved et lavt indhold af stoffet (**antigen**) i prøven, idet en større mængde **antigen-enzym konjugat** vil kunne binde til reagensglasset. Ved at vurdere farvedannelsen efter en række fortyndinger af ekstraktet, kan koncentrationsniveauet i prøven evalueres.



Figur 3.1 Princip for immunoassay-teknik (figur fra /5/)
Principle for immunoassay technique

Ved "EnSys-PAH-metoden" sammenlignes farvedannelsen i et testrør for prøven med et testrør for "blindprøve" (ingen farve). Blindprøven er en PAH-standard (phenanthren) i methanol, som analyseres parallelt med prøven. Farvedannelsen sammenlignes ved hjælp af et fotometer. Med et fotometer måles farveforskellen mellem testrøret for blindprøven (højt indhold af PAH - ingen farve) og testrørene for de forskellige fortyndingsrør for hver enkelt prøve, der skal undersøges. Fotometeret benyttes for at undgå subjektive vurderinger af, om farve og intensitet er mere eller mindre end i blindprøven. Der opnås således en høj grad af reproducerbarhed m.h.t. koncentrationsbestemmelsen.

For at kunne evaluere koncentrationsniveauerne foretages en række forudbestemte fortyndinger af prøvens methanolekstrakt, normalt tre eller fire. Jo mere prøven fortyndes (stofkoncentrationen bliver mindre), jo større sandsynlighed for farvedannelse. Hver fortynding kan relateres til et test-niveau, f.eks. <1,5, 1,5 -15 og >15 mg/kg.

En prøve med højt indhold PAH vil ikke kunne fortyndes ned til en tilstrækkelig lav koncentration, og alle fortyndinger vil være farveløse. Resultatet for sådanne prøver opgives som større end det højeste testniveau, f.eks. > 15 mg/kg.

Ved moderate indhold vil der ske farvedannelse efter 2. eller 3. fortynding. Koncentrationen kan opgives som et interval mellem koncentrationen med negativ farvedannelse og koncentrationen med positiv farvedannelse, f.eks. 1,5-15 mg/kg.

Ved lavt eller intet indhold er der farvedannelse ved alle fortyndinger og koncentrationen er mindre end det laveste testniveau, f.eks. <1,5 mg/kg.

Analyseusikkerheden er typisk $\pm 25\%$ /5-10/. Nøjagtigheden er typisk >70% med en tendens til falsk positive resultater /5-10/. Interferens er generelt minimal, idet metoden er specifik.

4 Pilotundersøgelsen

Til afprøvning af immunoassay-metoden som screeningsværktøj ved kortlægning er der iværksat en pilotundersøgelse på tjærepladser i Skagen. Der er udført orienterende forureningsundersøgelser på 34 grunde. På hver grund er der udført ca. 5 boringer til 0,80 meters dybde. I 0,10 og 0,40 meters dybde er der udtaget en jordprøve til analyse for PAH. Den udtagne jordprøve er delt i to, hvoraf den ene prøve er sendt til akkrediteret laboratorieanalyse for sum af PAH (ekstraktion med dichlormethan ved 16 timers udrystning efterfulgt af en GC-FID-analyse) på Ke-Mi-Lab i Aalborg (nu en del af Eurofins, Danmark). Den anden jordprøve er analyseret af amtets egne teknikere ved anvendelse af SDI- EnSys RISC immunoassay testkit for PAH.

I alt er 164 jordprøver blevet analyseret ved hjælp af immunoassay-metoden.

Ud over screeningsanalyser med testkittet er der foretaget en vurdering af effektiviteten af ekstraktionsmetoden, og ekstraktionstrinnet er efterfølgende udviklet som beskrevet i de efterfølgende afsnit.

4.1 Vurdering af effektiviteten af ekstraktion med methanol

Til vurdering af effektiviteten af ekstraktionstrinnet i testkittet er 4 jordprøver ekstraheret med methanol (MeOH) ved rystning i 1 minut. Methanolekstraktet er herefter inddampet og opløst i dichlormethan. Ekstraktet er analyseret ved en GC-FID-analyse med kvantificering af de enkelte PAH. Resultaterne er sammenlignet med resultaterne for de samme 4 prøver fra en GC-FID-analyse efter en 16 timers standard udrystning med dichlormethan (DCM). Resultaterne er vist i tabel 4.1.

Prøve nr.	Fluoranthen		Benzo(b+j+k) fluoranthen		Benzo(a)pyren		Indeno(123-cd)-pyren		Dibenz(a,h)-anthracen		Sum af PAH	
	Mg/kg TS											
	DCM	MeOH	DCM	MeOH	DCM	MeOH	DCM	MeOH	DCM	MeOH	DCM	MeOH
471-1	12	3,3	9,8	0,49	6,5	i.p.	3,6	i.p.	0,69	i.p.	33	3,8
471-2	9,0	2,8	8,5	4,5	6,0	2,5	3,8	i.p.	0,38	i.p.	28	9,9
471-5	6,4	1,2	4,5	2,1	3,7	1,3	2,1	i.p.	0,34	i.p.	17	4,5
472-2	14	4,0	14	5,4	8,5	2,2	4,6	i.p.	0,63	i.p.	42	12
Gns. mg/kg TS	10	2,8	9,2	3,1	6,2	1,5**	3,5	i.p.	0,51	i.p.	30	7,5
% genfindning*	100	28	100	34	100	25	100	0	100	0	100	25

i.p. ikke påvist

* ift. GC/FID-DCM-16t

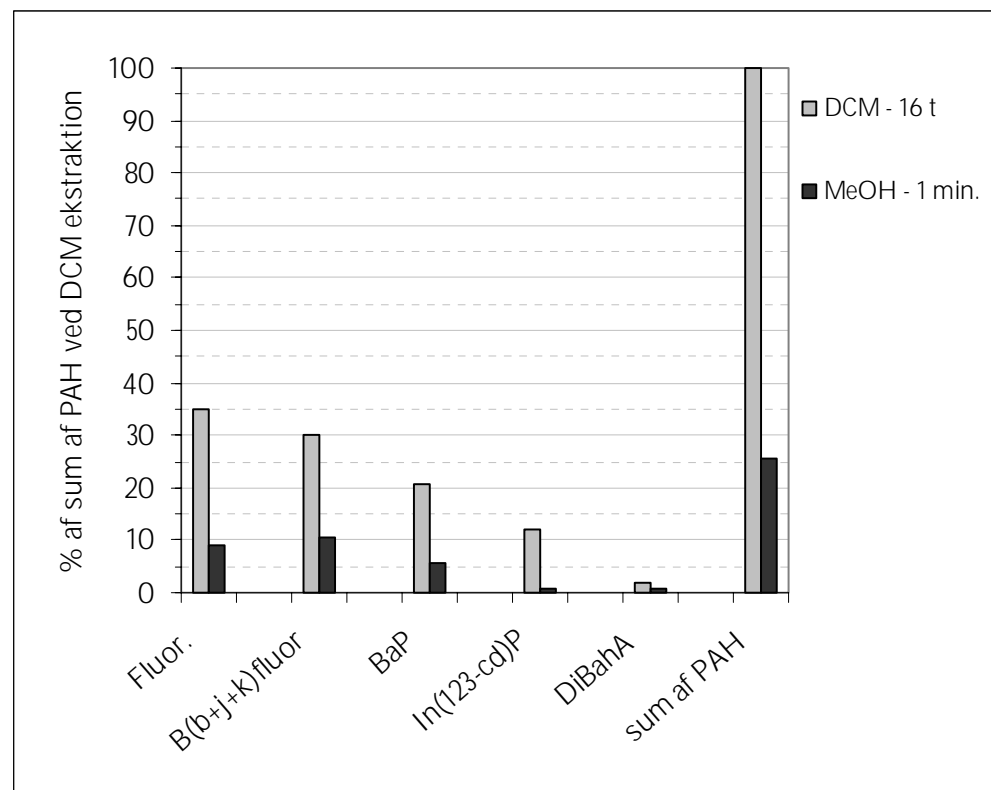
** hvor intet er påvist antages en værdi på det halve af detektionsgrænse (0,2 mg/kg TS)

Tabel 4.1 Sammenligning af ekstraktion med DCM i 16 timer og med MeOH i 1 min.
Comparison of extraction with dichloromethane for 16 hours and methanol for 1 minute

I figur 4.1 sammenlignes procentindholdet af de enkelte PAH i forhold til sum af PAH ved henholdsvis DCM-ekstraktion og MeOH-ekstraktion. Som det ses af tabel 4.1 og figur 4.2, er det kun omkring 25% af sum af PAH, som ekstraheres med methanol ved 1 minuts udrystning. Især de tungere PAH (indeno(123-cd)pyren og dibenz(ah)anthracen, som henholdsvis er 5- og 6-ringede PAH), viser en ringe ekstraktion i methanol. Ved en 16 timers

ekstraktion med DCM ses, at benzo(a)pyren (BaP) udgør ca. 21% af sum af PAH, mens dibenz(a,h)anthracen (DiBahA) udgør 2%. Disse forhold svarer til lignende forhold målt i tidligere undersøgelser i forbindelser med analyse af diffus jordforurening i byområder og langs veje. I disse undersøgelser er der konstateret et stabilt forhold ($R^2 = 0,98$) imellem indholdet af benzo(a)pyren (BaP) og dibenz(a,h)anthracen (DiBahA) på henholdsvis 15 - 20% og 2% af summen af de 7 MST PAH /10,11/. Miljøstyrelsens standardmetode omfattede en GC-MS-SIM-teknik, hvor jordprøven ekstraheres med toluen på rysteapparat i 16 timer. Dette betyder, at indholdet af BaP er bestemmende for overskridelser af jordkvalitetskriteriet (JKK) for PAH. JKK for BaP er 0,1 mg BaP/kg TS. Da BaP udgør ca. 15-20% af sum af PAH svarer 0,1 mg BaP/kg TS til en koncentration af ca. 0,6 mg (sum af 7 PAH)/kg TS, dvs. mindre end JKK for sum af PAH på 1,5 mg/kg TS. Derimod vil 0,1 mg DiBahA/kg TS svare til en koncentration på ca. 5 mg (sum af 7 PAH)/kg TS. Det vil sige, at JKK for BaP og sum af PAH er allerede overskredet, når der måles mere end 0,1 mg DiBahA/ Kg TS i jorden.

Der skal igen gøres opmærksom på, at jordkvalitetskriterierne efterfølgende er blevet ændret.



DCM: Dichlormethan MeOH: Methanol

Figur 4.1 Sammenligning af ekstraktionsbetingelser
Comparison of extraction conditions

Resultatet kan imidlertid ikke anvendes direkte som en korrektionsfaktor for ekstraktionstrinnet, idet testkittet vil give respons for de fleste PAH, herunder mange 3- og 4-ringede PAH, som ikke er omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier, men vil være til stede i en jordforurening. Resultatet indikerer dog, at ekstraktionstrinnet er mindre effektivt, og at større forskelle i PAH-sammensætningen kan påvirke resultaterne. På imprægnerings-/stjeplepladser vil der kunne forventes en nedbrudt forurening med lavt indhold

af de lettere 3-4 ringede PAH og dermed lavere respons ved anvendelse af testkittet.

4.2 De indledende resultater med immunoassay testkit

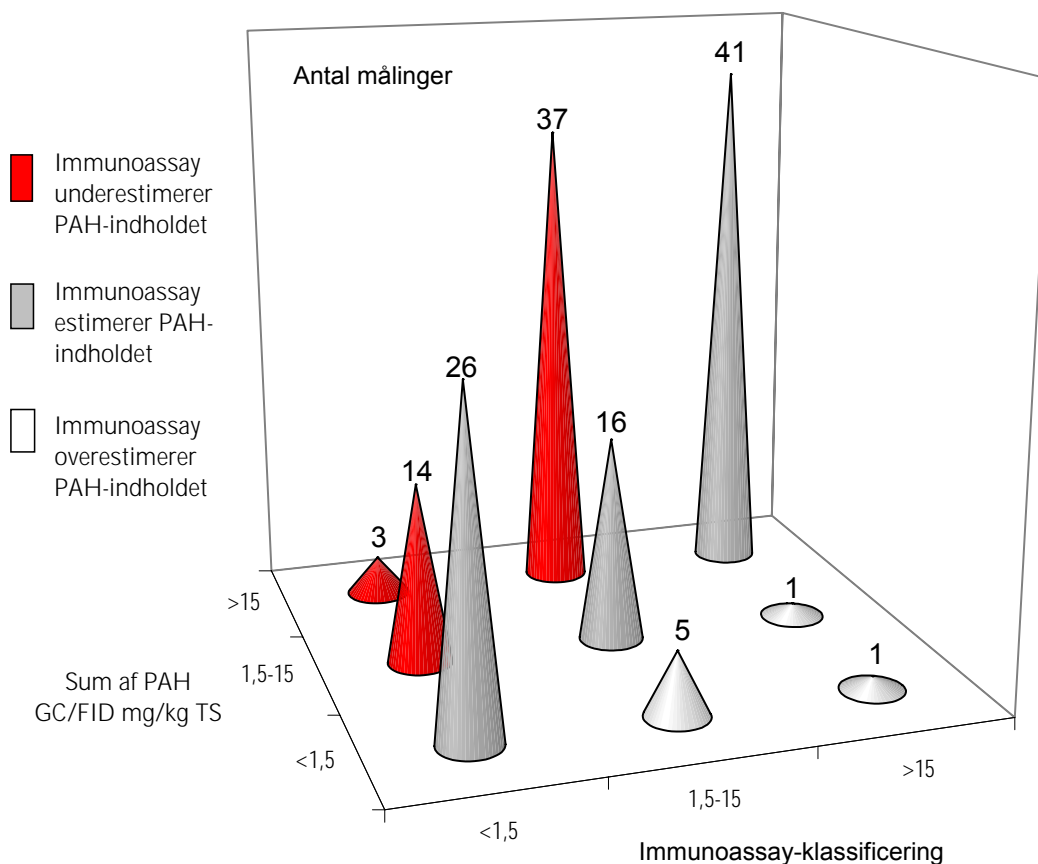
Indledningsvist er der analyseret i alt 144 delprøver udtaget fra 0,1 eller 0,4 m u. t. på tjærepladser i Skagen. For de fleste jordprøver er der udtaget to delprøver; én til analyse hos analyselaboratorium ved GC-FID-analyse efter ekstraktion med dichlormethan i 16 timer, og én til immunoassay.

For 20 af jordprøverne er der dog udtaget flere delprøver, og udført tre dobbeltbestemmelser for immunoassay og dobbeltbestemmelser af GC-FID-analyser.

Resultaterne er opdelt i følgende tre koncentrationsniveauer:

- <1,5 mg/kg TS
- 1,5 – 15 mg/kg TS
- > 15 mg/kg TS

I figur 4.2 er klassifikation efter immunoassay-testkittet sammenlignet med klassifikation efter GC-FID-teknikken (ekstraktion med dichlormethan efter udrystning i 16 timer).

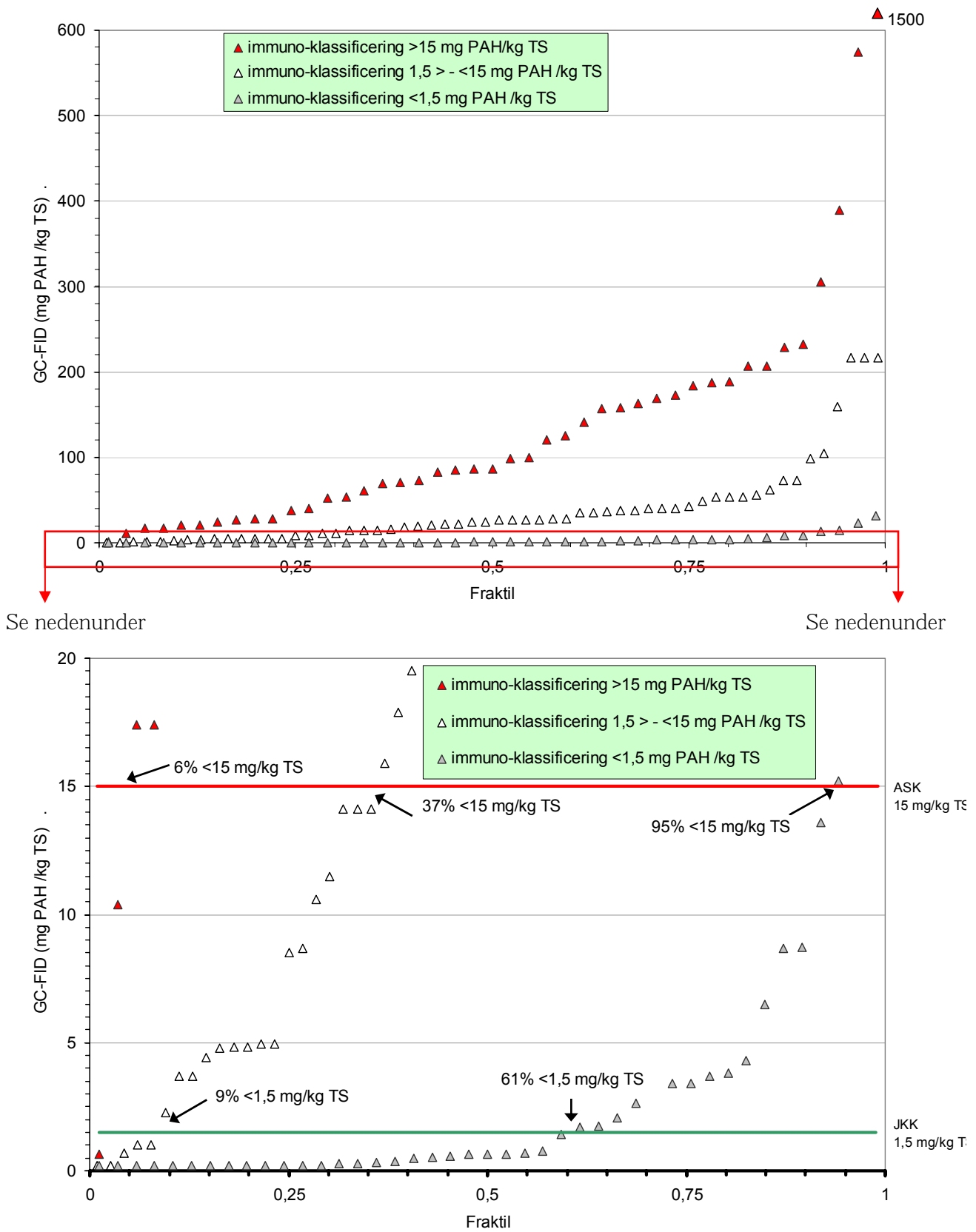


Figur 4.2 Sammenligning af klassificering af PAH-indhold ved GC-FID og immunoassay

Comparison of classification with GC-FID and immunoassay

Som det ses af figur 4.2, er der en tydelig tendens til at immunoassay-teknikken underestimerer PAH-indholdet i forhold til GC-FID-analyserne. Denne tendens er ligeledes demonstreret ved laboratoriets vurdering af methanolekstraktionens effektiviteten, jf. afsnit 4.1.

I figur 4.3 er alle resultater opdelt i de tre immunoassay-koncentrations-niveauer, og de aktuelle GC-FID-resultater er vist som tre fraktilplots, hvor hvert resultat plottes som en fraktil. På et fraktilplot kan der aflæses, hvilket resultat (X mg/kg TS) svarer til f.eks. 0,80 fraktil. Dette betyder, at 80% af resultaterne har koncentrationer svarende til eller mindre end X mg/kg TS.



Figur 4.3 Tre fraktilplot af GC-FID data opdelt i henhold til de tre immunoassay klassificering (vist med to forskellige skala) *Three quantile plots of GC-FID data according to the three immunoassay classification groups /shown with to different scales*

Testkittet klassificerer 43 prøver i koncentrationsniveauet <1,5 sum PAH /kg TS. Heraf ses følgende forhold i figur 4.3:

- 61% af prøverne (svarende til 0,61 fraktil) klassificeres korrekt som indeholdende mindre end 1,5 mg/kg TS
- 34% af prøverne (svarende til 0,95 minus 0,61) klassificeres fejlagtigt, idet de ved GC-FID analysen indeholder mellem 1,5 og end 15 mg/kg TS
- 5% af prøverne (svarende til 1,00 minus 0,95) klassificeres fejlagtigt, idet de ved GC-FID analysen indeholder mere end 15 mg/kg TS

Testkittet klassificerer 58 prøver i koncentrationsniveauet 1,5 - 15 mg PAH/kg TS. Heraf ses følgende forhold i figur 4.3:

- 9% af prøverne (svarende til 0,09 fraktil) klassificeres fejlagtigt, idet de ved GC-FID analysen indeholder mindre end 1,5 mg/kg TS
- 28% af prøverne (svarende til 0,37 minus 0,09) klassificeres korrekt som indeholdende mellem 1,5 og end 15 mg/kg TS
- 63% af prøverne (svarende til 1,00 minus 0,37) klassificeres fejlagtigt, idet de ved GC-FID analysen indeholder over 15 mg/kg TS

Testkittet klassificerer 43 prøver i koncentrationsniveauet >15 mg PAH/kg TS. Heraf ses følgende forhold i figur 4.3:

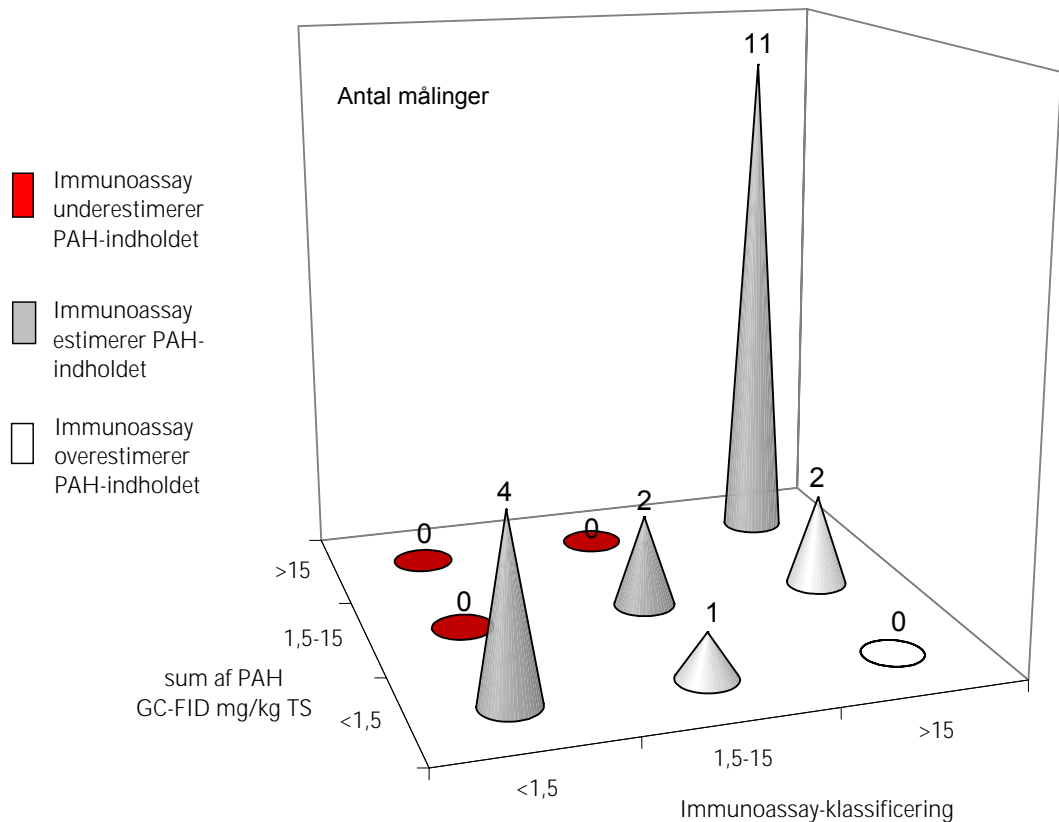
- 6% af prøverne (svarende til 0,06 fraktil) klassificeres fejlagtigt, idet de ved GC-FID analysen indeholder mindre end 15 mg/kg TS
- 94% af prøverne (svarende til 1,00 minus 0,06) klassificeres korrekt som indeholdende over 15 mg/kg TS

Da immunoassay underestimerer mange jordprøver (63%) i koncentrationsniveauet 1,5 – 15 mg PAH /kg TS, er der foreslået ændringer i ekstraktions-trinnet til immunoassay-metoden.

4.3 Udvikling af ekstraktionstrin

SDI har på vegne af Nordjyllands Amt afprøvet en ændret ekstraktions-procedure. Jordprøverne blev opvarmet i en ovn ved 55° C i en halv time. Derefter blev der som sædvanligt tilsat methanol, men ekstraktionstiden blev øget fra 1 min. til 1 time, samtidig med at prøven fortsat opbevarede varmt i en ovn ved 55° C. Efter henholdsvis 15 minutter og 1 time blev prøverne rystet.

Figur 4.4 viser resultaterne for 20 jordprøver analyseret ved den reviderede ekstraktionsprocedure.



Figur 4.4 Sammenligning af klassificering ved GC-FID og immunoassay efter forbedring af ekstraktionsteknik
Comparison of classification by GC-FID and immunoassay after improved extraction

Som det ses af figur 4.4 er der bedre overensstemmelse med GC-FID-analyserne ved det forbedrede ekstraktionstrin, idet indholdet ikke længere underestimeres. Der skal dog bemærkes, at figur 4.4 er baseret på få data og derfor er forbedringen i ekstraktionstrinnet ikke veldokumenteret.

Derimod bør der påpeges, at der sammenlignes analyser, der er foretaget på forskellige delprøver og der må forventes at de forurenede jordprøver er inhomogene. Dette betyder, at der vil være en vis grad af uoverensstemmelse mellem de to metoder, især omkring overgang mellem klassificeringsklasser.

5 Finansiell analyse 2003

Siden opstarten af projektet i 2002 er der sket et væsentligt prisfald i analyseydelse, mens prisen for testkittet har holdt sig stabilt.

Som det ses af tabel 6.1, viser en ny finansiell analyse et ganske anderledes resultat i oktober 2003 end oktober 2000.

	Akkrediteret laboratorieanalyse	Immunoassay
Styk. pris for analyse - 2003	400	380*
140 jordprøver	56.000	53.400
Køb af spektrofotometer* *		16.600**
Kontrol med akkrediterede laboratorieanalyse i 20% af prøverne		11.200
I alt. ekskl. Moms	56.000	81.200

* inkl. timeløn på 250 kr./time, hvor der kan analyseres 4 prøver/time

**Engangsbeløb - Leje af spektrofotometer er 1.700 kr./uge eller 16.600 kr. ved køb.

Tabel 5.1 Finansiell analyse ved anvendelse af immunoassay - 2003
Financial analysis of immunoassay - 2003

Prisen for immunoassay-metoden er omtrent den samme som for en akkrediteret laboratorieanalyse. Men inklusive kontrolanalyse er den samlede pris ved anvendelse af immunoassay som screeningsværktøj ca. 50% dyrere end ved anvendelse af akkrediterede laboratorieanalyser - der er altså ingen økonomisk fordel ved anvendelse af testkittet. Tværtimod vil de nødvendige akkrediterede kontrolanalyser medføre en øget omkostning.

Da tillæg for en hasteanalyse, dvs. med omgående levering typisk er 100 - 200 % af analyseprisen, vil anvendelse af et testkit kun kunne betale sig, hvis der er behov for en hurtig vurdering af forureningsniveauet, f.eks. i forbindelse med en afgravning.

6 Konklusion

Der er med det nuværende prisniveau i 2003 ingen økonomisk gevinst ved immunoassay-metoden frem for laboratorieanalyse. Da immunoassay-metoden yderligere kun giver en semi-kvantitativ vurdering af forureningsniveauerne, frarådes anvendelse af immunoassay-metoden i forbindelse med kortlægning.

Immunoassay-metoden kan dog i forbindelse med afværgeprojekter give en tidsmæssig fordel.

7 Ordforklaring

AVJ	Amternes Videncenter for Jordforurening www.avjinfo.dk
DCM	Dichlormethan
DiBahA	Dibenz(a,h)Anthracen , se PAH
GC	GasChromatografi : analysemetode for organiske forbindelser
GC-FID	GasChromatografi med Flamme Ionisations Detektor
GC-MS-SIM	GasChromatografi med MasseSpektrometri med Selektiv Ion Monitoring
gns.	Gennemsnit
Hydrocarbon	Kulbrinte
JKK	Jordkvalitetskriterium
Kulbrinte	Et stof bestående af kulstof og brint
MeOH	Methanol
PAH	Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner omfatter et utal af kulbrinter (forbindelser som alene indeholder kulstof og brint), der består af to eller flere aromatiske ringe. PAH kan være usubstituerede eller alkylsubstituerede.
Persistente	Ikke nedbrydelig
USA-EPA	United States Environmental Protection Agency
Vidensniveau 2	Defineret i Jordforureningsloven ifm. kortlægning, hvor der er tilvejebragt et dokumentationsgrundlag, der medfører, at det med høj grad af sikkerhed kan lægges til grund, at der på et areal er en jordforurening af en sådan art og koncentration, at forurening kan have skadelig virkning på mennesker og miljø.

8 Referencer

- /1/ Amternes Videncenter for Jordforurening. 1999. Jordforurening fra tjæring af fiskegarn. Erfaring fra Nordjyllands Amt. Teknik og Administration. Nr. 6.
- /2/ Amternes Videncenter for Jordforurening. 2003. Erfaring fra lokalisering af tjærepladser. Teknik og Administration. Nr. 1.
- /3/ Miljøstyrelsen. 1998. Vejledning nr. 6. Oprydning på forurenede lokaliteter.
- /4/ Miljøstyrelsen. 2003. Liste over Kvalitetskriterier i relation til forurenede jord. Juli 2003. [www.mst.dk /affald, jord og rotter/jord](http://www.mst.dk/affald,jord%20og%20rotter/jord).
- /5/ Amternes Videncenter for Jordforurening. 2001. Håndbogen om feltmetoder til analyse af forurenede jord. Hoved- og Bilagsrapport. Teknik og Administration. Nr. 3.
- /6/ www.sdix.com
- /7/ Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. (SW-846). Method 4035 Soil screening for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by immunoassay. United States Environmental Protection Agency, www.epa/epaoswer/hazwaste/test/
- /8/ EPA. FATE: Field Analytical Technologies Encyclopedia <http://fate.clu-in.org/Technologies/Immunoassay>.
- /9/ Metelius, H. & Petsonk, A. 1997. Ist. International conference and industrial Exhibition Field Screening Europe, Karlsruhe. Sept 29 October 1997. Calibration of immunoassay data for PAH.
- /10/ Miljøstyrelsen. 2003. Miljøprojekt. Fase II. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 2: Diffus jordforurening og kulturlag. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /11/ Miljøstyrelsen. 2003. Miljørapport. Fase II. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 3: Diffus jordforurening og trafik. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /12/ PAH Risc[®] Soil Test - A rapid, On-site Screening test for Poly nuclear Aromatic Hydrocarbons in Soil. McDonald, P.P., Almond, R.E., Mapes, J.P. and Friedman, S.B. Journal of AOAC International, 466-472, 77, (2), 1994.
- /13/ Immunoassay test kit for the on-site analysis of hydrocarbons contaminated soils: Practical experience from the field. Pollard, S. Farmer, J., Knight. D and Young, P. 239- 246, ConSoil 2000, 18-22 Sept. 2000 7th. Int. FKZ/TNO Conference on Contaminated Soil.

/14/ ATV-møde. Måling, overvågning og kemisk analyse i felten.
Bestemmelse af PAH'er i jord ved hjælp af immunoassay –
Orienterende forureningsundersøgelse på tidligere tjæreplads. 15-24.
Ann Steen Jensen. 8. november 2000.