

FFI RAPPORT

KARTLEGGING AV HVITT FOSFOR FORURENSNING I HJERKINN SKYTEFELT

SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, STRØMSENG Arnjot

FFI/RAPPORT-2003/01224

FFIBM/311601/138.2

Godkjent
Kjeller 21. March 2003

Bjørn Arne Johnsen

**KARTLEGGING AV HVITT FOSFOR
FORURENSNING I HJERKINN SKYTEFELT**

SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, STRØMSENG Arnljot

FFI/RAPPORT-2003/01224

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2003/01224	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 42
1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/311601/138.2	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE KARTLEGGING AV HVITT FOSFOR FORURENSNING I HJERKINN SKYTEFELT ASSESSMENT OF WHITE PHOSPHORUS CONTAMINATION AT HJERKINN FIRING RANGE		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, STRØMSENG Arnljot		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>White phosphorus</u>	a) <u>Hvitt fosfor</u>	
b) <u>Hjerkinn firing range</u>	b) <u>Hjerkinn skytefelt</u>	
c) <u>Smoke rounds</u>	c) <u>Røykammunisjon</u>	
d) <u>Water samples</u>	d) <u>Vannprøver</u>	
e) <u>Soil samples</u>	e) <u>Jordprøver</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT On assignment from Forsvarsbygg, FFI has assessed if there are traces of white phosphorus left from activities with use of white phosphorus smoke rounds at Hjerkinn firing range. White phosphorus is a highly toxic material that is noxious to all living organisms. In contact with air white phosphorus immediately reacts to non-toxic compounds, while in aquatic environments it can stay unreacted for several years. Water and soil samples have been collected from four different areas at Hjerkinn, both detonation ranges and demolishing ranges. To estimate the mass of white phosphorus in the samples, the samples were extracted with carbondisulfide and analysed on a gas chromatograph. Two of the water samples contained a small amount of white phosphorus. It is probably debris of white phosphorus deposited in Grisungbekken that contributes to the amount of white phosphorus detected in Grisungbekken. The debris is probably inaccessible for birds and mammals, so presumably it has no substantial harmful effects on living animals. But it is still very important to avoid detonation of white phosphorus smoke rounds in aquatic environments, in areas covered with snow and close to rivers and ponds.		
9) DATE 21. March 2003	AUTHORIZED BY This page only Bjørn Arne Johnsen	POSITION Director of Research

ISBN 82-464-0703-1

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR	8
3	EKSPERIMENTELT	10
3.1	Prøveinnsamling	10
3.2	Analyse av prøvene	16
4	RESULTATER	17
5	KONKLUSJON	21
6	APPENDIKS	22
A	KROMATOGRAM	22
B	FOLAT RAPPORT	35
	LITTERATUR	40
	FORDELINGSLISTE	42

KARTLEGGING AV HVITT FOSFOR FORURENSNING I HJERKINN SKYTEFELT

1 INNLEDNING

Forsvarsbygg er i ferd med å kartlegge hvilke tiltak som må gjennomføres i forbindelse med tilbakeføring av Hjerkinnskytefelt til sivile formål. I sammenheng med dette har Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) på oppdrag fra Forsvarsbygg, gjennomført en undersøkelse hvor formålet var å kartlegge om det ligger igjen rester av hvitt fosfor etter bruk av røykammunisjon i Hjerkinnskytefelt. Det var i så fall interessant å estimere hvor mye hvitt fosfor som finnes i området, og å foreta en vurdering over hvilke miljøpåvirkninger dette eventuelt kan ha.

Forsvaret benytter hvert år omkring 15000 kg hvitt fosfor i røykammunisjon (1). Hjerkinnskytefelt er et av feltene hvor røykammunisjon blir benyttet. Siste skyting med granater med hvitt fosfor (WP-granater) på Hjerkinnskytefelt var 1 juni 2001. Da ble 86 stk 155 mm M110 WP-granater skutt i Grisungdalen (2). Hver granat inneholder 7,1 kg hvitt fosfor, så til sammen inneholdt WP-granatene ca 610 kg hvitt fosfor.

Hvitt fosfor er en meget giftig forbindelse som er skadelig for alle organismer, og det er rapportert om dødsfall både hos mennesker (3,4), pattedyr (5,6,7), fugler (8) og fisker (9). Hvitt fosfor som kommer i kontakt med luft vil raskt forbrennes til ikke-giftige forbrenningsprodukter. Hvitt fosfor i vann vil derimot bli liggende ureagert over lengre tid og kan derfor føre til skader på organismer i nærmiljøet. Forsvaret har opplyst at nedslagsområdene for WP-granater de siste årene er utvalgt med bakgrunn i at de ikke skal bestå av våtmarksområder eller snødekte områder (10,11). Sannsynligheten er dermed liten for at noe ureagert hvitt fosfor skal bli liggende igjen over lengre tid etter skyteøvelser.

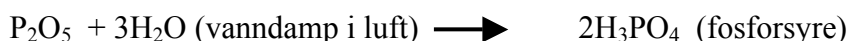
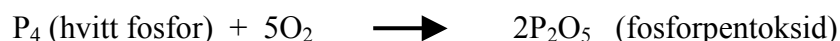
Prøver av jord, sediment og vann ble samlet inn fra fire områder som har vært nedslagsfelt eller demoleringsfelt for WP-granater. Prøvene ble analysert med hensyn på hvitt fosfor og total fosformengde. Det ble benyttet en metode basert på ekstraksjon av prøvene med karbondisulfid og deretter separasjon og kvantifisering ved hjelp av gasskromatografi (GC).

2 EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR

<i>Kjemisk navn</i>	<i>Hvitt fosfor</i>
<i>Kjemisk formel</i>	P ₄
<i>Smeltepunkt, °C</i>	44,1
<i>Kokepunkt, °C</i>	280
<i>Tetthet, kg/dm³</i>	1,82 (20°C)
<i>Tenntemperatur, °C</i>	30-45
<i>Løselighet i vann, mg/l</i>	3
<i>Løselighet i CS₂, g/l</i>	1250

Tabell 2.1 Fysikalske egenskaper til hvitt fosfor

Hvitt fosfor er et hvitt/fargeløst voksliknende fast stoff ved romtemperatur. Hvitt fosfor antenner spontant ved 30-45°C i kontakt med luft (se Tabell 2.1) (12). Nedenfor vises reaksjonene der hvitt fosfor reagerer med oksygenet i luften og deretter med vann.



Disse reaksjonene finner sted når røykammunisjon som inneholder hvitt fosfor detoneres i nedslagsøyeblikket. Mesteparten av hvitt fosfor forbrennes raskt til fosforpentoksid, som igjen reagerer videre med fuktighet i luften og danner fosforsyre. Fosforsyren sees som hvitaktig røyk (se Figur 2.1). Opp til 8 % hvitt fosfor kan i spesielle tilfeller forbli ureagert etter skyting (13), og noe hvitt fosfor kan dermed bli liggende igjen i nedslagsområdet etter en skyteøvelse.



Figur 2.1 Sprengning av en 107 mm WP-granat med 3,4 kg hvitt fosfor. En hvit sky av fosforsyre stiger til værs (Foto: John Tørnes, FFI)

Hvitt fosfor har større massetetthet enn vann, noe som fører til at det vil synke til bunnen i et vandig miljø. Hvitt fosfor er i tillegg lite løselig i vann. Dette gjør at hvitt fosfor kan oppholde seg i lengre tid i vandige omgivelser siden det ikke blir eksponert for luft. Eksempelvis vil halveringstiden for en partikkel hvitt fosfor på 1,8 gram i turbulent vann være ca 2,4 år (13).

Hvitt fosfor er blant de mest giftige uorganiske stoffene, og dødelig dose for fugler og pattedyr er 1-10 mg per kg kroppsvekt. For mennesker kan et oralt inntak av 1 mg hvitt fosfor per kg kroppsvekt være dødelig, og 0,2 mg per kg kroppsvekt kan gi kraftige toksiske effekter (3). Forsøk utført på torsk og atlantehavslaks viste at en konsentrasjon på 14,4 µg/l etter 48 timers eksponering førte til at 50 % av individene døde (LC₅₀ lik 14,4 µg/l). Ingen toksiske effekter ble observert under 1 µg/l (14).

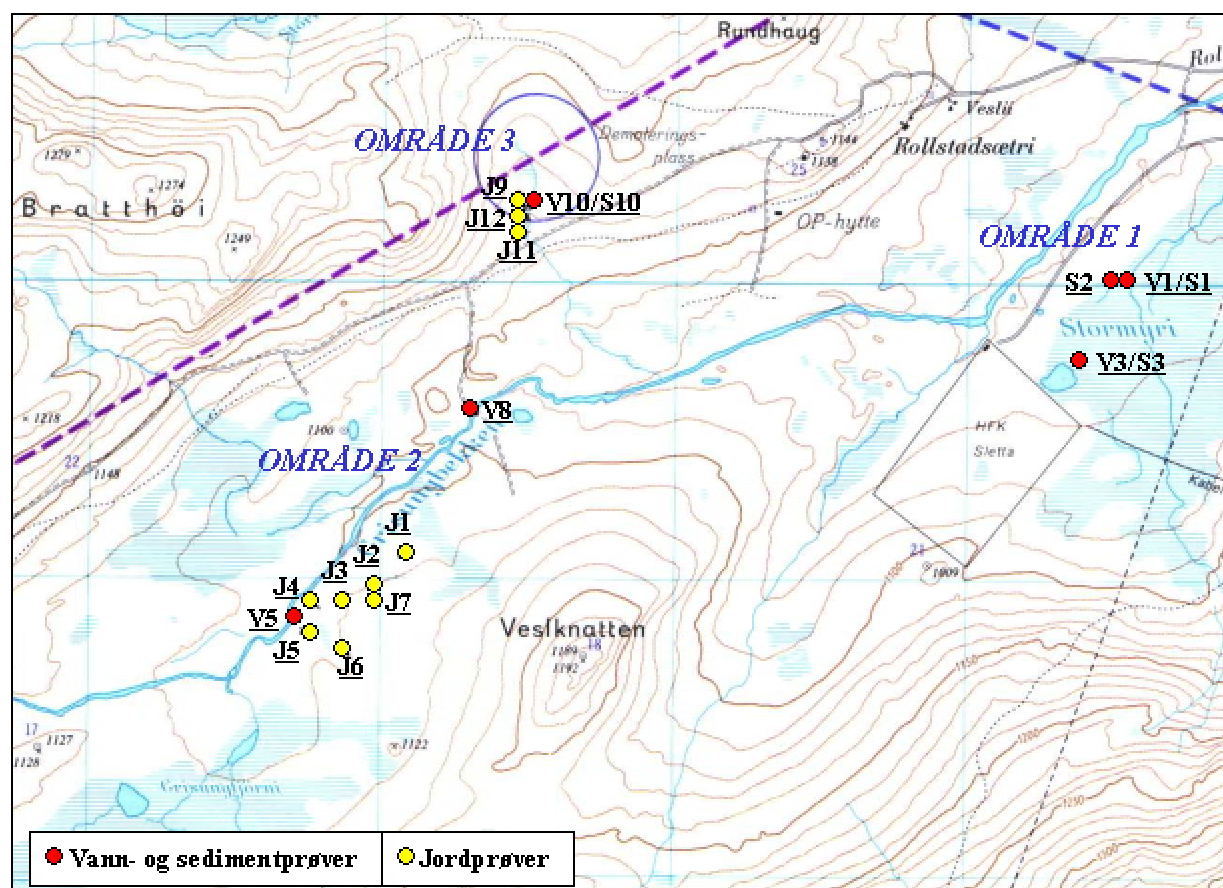
Det finnes eksempler på fosforforgiftning av fugler og pattedyr som skyldes bruk av WP-granater. I et amerikansk skytefelt nær Anchorage i Alaska ble det på 1980-tallet oppdaget et stort antall døde andefugler hvert år (8). Fuglene var døde som følge av at de hadde spist små partikler av hvitt fosfor på størrelse med frø som var lagret i sedimentene. I Hjerkinnskytefelt ble det i juli 1987 funnet fem døde moskusdyr. Veterinærinstituttet fant skader på nyrer og fordøyelseskanalen på dyrene, og det ble konkludert med at dyrene døde av fosforforgiftning (5).

FFI har nylig foretatt en nærmere vurdering av hvitt fosfor sine egenskaper sett i ett miljømessig perspektiv i FFI/RAPPORT-2002/04042: *Helse- og miljømessige konsekvenser ved Forsvarets bruk av røykammunisjon med hvitt fosfor* (15). Her er de toksikologiske egenskapene og skjebnen til hvitt fosfor i miljøet nærmere beskrevet.

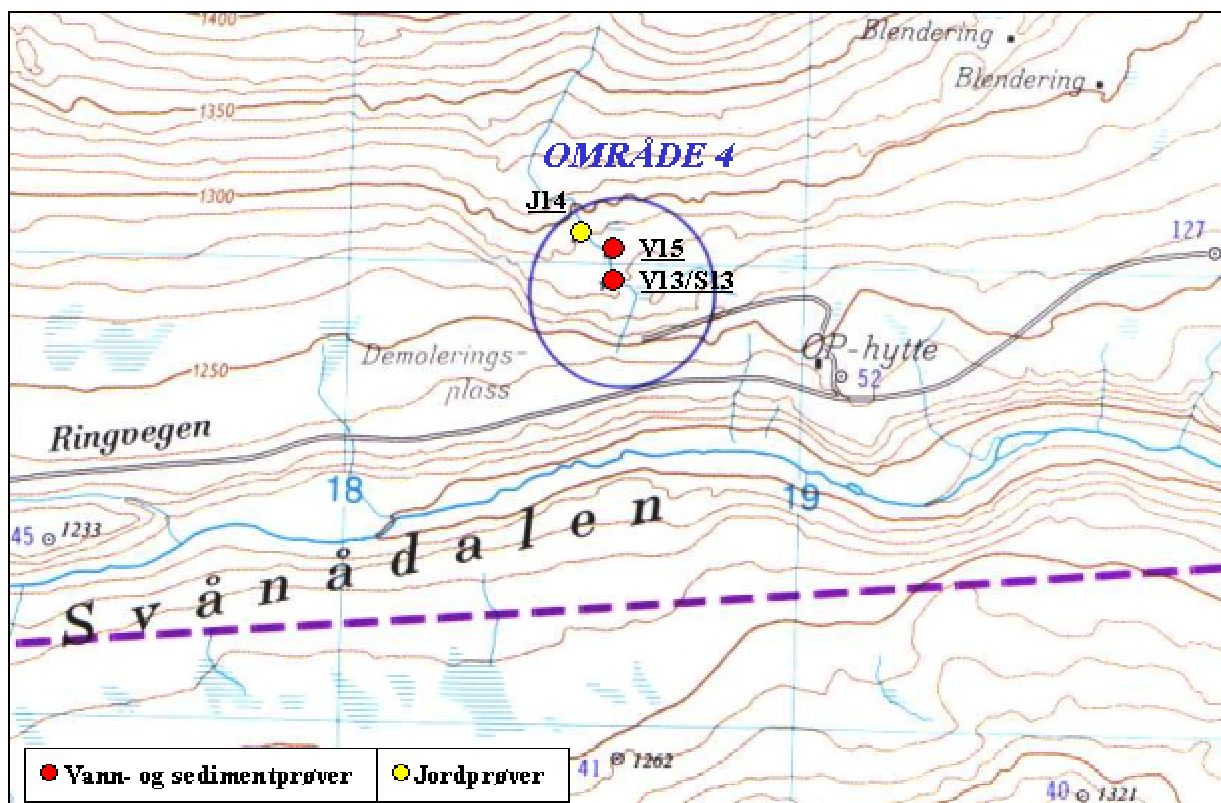
3 EKSPERIMENTELT

3.1 Prøveinnsamling

Den 8 og 9 oktober 2002 ble det tatt 7 vannprøver og 16 jord- og sedimentprøver fra fire forskjellige områder i Hjerkinnskytefelt (se Figur 3.1, 3.2 og Tabell 3.1 – 3.4). Major Arnfinn Roseth FLO/land var med som kjentmann for å lokalisere de fire områdene. To av disse områdene var demoleringsfelt hvor det ikke har vært demolert hvitt fosfor på omkring ti år. De to andre områdene har vært nedslagsfelt for WP-granater. I det ene nedslagsfeltet har det ikke blitt benyttet WP-granater på over 15 år, mens i det andre ble det benyttet WP-granater i 2001.



Figur 3.1 Kart over prøvepunktene i område 1 (Stormyri), område 2 (ved Grisungbekken) og område 3 (demoleringsplass Grisungdalen)



Figur 3.2 Kart over prøvepunktene i område 4 (demoleringsplass Svånådalen)



Figur 3.3 Oversikt over område 1 (Stormyri)



Figur 3.4 Prøvetaking fra Stormyri

Område 1 (Stormyri) er et større myrområde som har vært nedslagsområde for granater fra bombekaster og artilleri i perioden 1955-1985. Det har blitt brukt WP-granater her i dette tidsrommet. Området består stort sett av gressmyr med innslag av mose og noe vier. Et lite bekkesystem med stor grad av jernutfelling renner gjennom myra (se Figur 3.3 og 3.4).

Område 2 (ved Grisungbekken vest for Stormyri) har vært nedslagsområde for WP-granater så sent som i juni 2001. Dette er et område med tørre rabber og lite myrdannelse som er preget av gress- og mosevegetasjon og noe fjellbjørk og reinlav. Det renner en stor bekk (Grisungbekken) i kanten av området. Området er dessuten preget av mange krater fra granatnedslag, og det ligger en del jernrester fra granater på bakken (se Figur 3.5).



Figur 3.5 Grisungbekken og prøvetaking fra område 2

Område 3 (demoleringsplass Grisungdalen) er en demoleringsplass bestående av store sandhauger, hvor sandmassene er endevendt mange ganger i demoleringsprosessen. Vegetasjonen rundt området består av gress, siv og mose. En liten bekk renner langs siden av området (se Figur 3.6). Feltet ble brukt til demolering av blant annet WP-granater inntil 1987, men da ble feltet stengt ut fra et vannforurensingssynspunkt i forhold til tungmetallavrenning (16).



Figur 3.6 Del av demoleringsplassen og bekken i område 3

Område 4 (demoleringsplass Svånådalen) er også en demoleringsplass bestående av sandmasser som er endevendt flere ganger. I en stor sprengningsgrop på området har det dannet seg en dam hvor sigevann antagelig kommer inn (se Figur 3.7). En bekk renner ved siden av området. Feltet er blitt brukt fra 1987-1992 til demolering av alle typer ammunisjon, deriblant demolering av flere tonn med røykammunisjon. Det var i nærheten av dette feltet det ble funnet fem døde moskusdyr i 1987, som sannsynligvis døde av fosforforgiftning (5).



Figur 3.7 Demoleringsplassen og dammen i område 4

<i>Område 1 – Stormyri</i>			
Prøvepunkt	Posisjon (UTM)	Prøvebeskrivelse	Prøvenr
<i>S1</i>	524543E 6900029N	Sediment fra liten bekk	02-211
<i>S2</i>	524544E 6900042N	Sediment, myr/jord	02-212
<i>S3</i>	524412E 6899745N	Sediment, lite omdannet myr, mose	02-213
<i>V1</i>	Som S1	Vann fra liten bekk, pH=7,6	02-216
<i>V3</i>	Som S3	Vann fra lite omdannet myr, pH=7,2 Temperatur: 1,5°C Konduktivitet: 220 µS/cm	02-217

Tabell 3.1 Oversikt over prøver tatt fra område 1 - Stormyri

<i>Område 2 – Grisungbekken</i>			
Prøvepunkt	Posisjon (UTM)	Prøvebeskrivelse	Prøvenr
<i>J1</i>	522085E 6899037N	Jord fra tidligere vannfylt granatkrater	02-200
<i>J2</i>	521987E 6898996N	Jord fra eldre granatkrater, delvis dekket av vegetasjon	02-201
<i>J3</i>	521880E 6898937N	Jord fra tre ulike granatkrater	02-202
<i>J4</i>	521782E 6898943N	Jord fra to nedslag i et søkk i terrenget. Svidd mark og nedslagdiameter på to meter (kan være fra WP-granat)	02-203
<i>J5</i>	521725E 6898820N	Jord fra nedslag, eldre enn ett år (kan være fra WP-granat)	02-204
<i>J6</i>	521876E 6898734N	Jord/sediment fra nyere granatkrater i myrdrag med myrull	02-205
<i>J7</i>	521990E 6898938N	Tørr morenejord med mye stein fra eldre nedslag. Døde einer og rester etter BK-granat rundt nedslaget	02-206
<i>V5</i>	521703E 6898878N	Vann fra Grisungbekken, mye begroing på stein i bekken, pH=7,4	02-218
<i>V8</i>	522326E 6899582N	Vann fra Grisungbekken, pH=7,7 Konduktivitet: 72 µS/cm	02-219

Tabell 3.2 Oversikt over prøver tatt fra område 2 - Grisungbekken

<i>Område 3 – Demoleringsplass Grisungdalen</i>			
Prøvepunkt	Posisjon (UTM)	Prøvebeskrivelse	Prøvenr
J9	522469E 6900245N	Jord fra ved siden av demoleringsområdet	02-207
S10	522496E 6900240N	Sediment fra en dam i liten bekk, svært mye jernutfelling på bunnen	02-214
J11	522483E 6900170N	Sediment fra bunnen av en tørrlagt bekk	02-208
J12	522484E 6900226N	Jord fra massene i selve demoleringsområdet, fin sand	02-209
V10	samme som S10	Vann fra liten bekk	02-220

Tabell 3.3 Oversikt over prøver tatt fra område 3 – Demoleringsplass Grisungdalen

<i>Område 4 – Demoleringsplass Svånådalen</i>			
Prøvepunkt	Posisjon (UTM)	Prøvebeskrivelse	Prøvenr
S13	518539E 6904973N	Sediment fra bunnen av en dam i et stort granatkrater	02-215
J14	518502E 6905039N	Sediment fra en uttørket dam ved siden av sprengningsfeltet, rester etter WP-granater	02-210
V13	samme som S13	Vann fra en dam i et stort granatkrater, næringsrikt, pH=9,1 Temperatur: 4°C Konduktivitet: 200 µS/cm	02-221
V15	518557E 6905035N	Vann fra liten bekk utenfor sprengningsfeltet, pH=6,4 Konduktivitet: 13 µS/cm	02-222

Tabell 3.4 Oversikt over prøver tatt fra område 4 – Demoleringsplass Svånådalen

3.2 Analyse av prøvene

Innholdet av hvitt fosfor i prøvene ble bestemt ut fra en gasskromatografisk metode (GC). Vannprøvene ble lagret mørkt og ved 3°C i en uke før omkring 1000 ml av hver vannprøve ble ekstrahert med 20 ml karbondisulfid i en skilletrakt på ristebord i 10 minutter. Karbondisulfidfasen ble tørket med natriumsulfat, før 0,5 µl ble injisert på gasskromatografen.

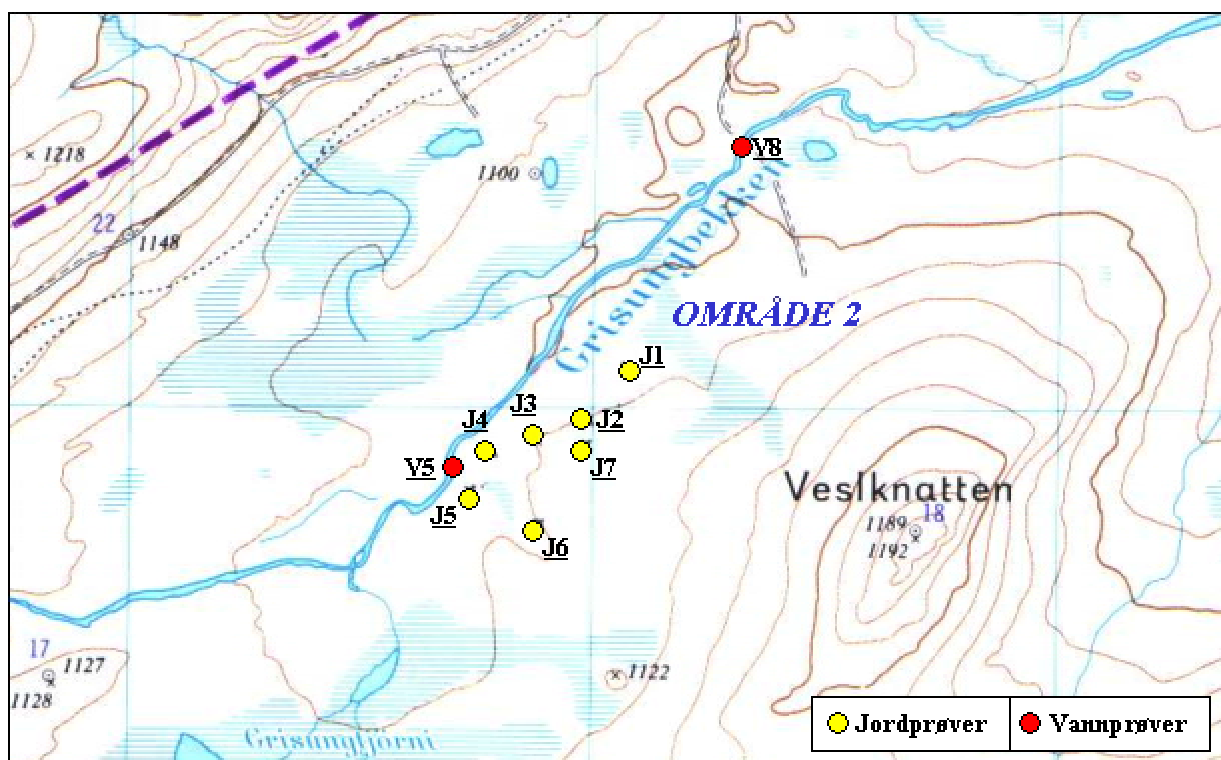
Jord- og sedimentprøvene ble lagret mørkt og ved -18°C i en uke. Prøvene ble så tinet til romtemperatur og blandet til tilnærmet homogene prøver. Cirka 5 g prøve ble ekstrahert med 20 ml karbondisulfid i et 30 ml sentrifugeglass på ristebord i 60 minutter, og prøvene ble deretter sentrifugert for lettere å kunne ta ut karbondisulfidfasen. Denne ble tørket med natriumsulfat og 0,5 µl ble injisert på gasskromatografen. Det ble laget en kalibreringskurve ved hjelp av en ekstern standard for å bestemme mengde hvitt fosfor i jord-, sediment- og vannprøvene. To av prøvene (02-218 og 02-219) ble også dampet inn til 1/5 av volumet ved å lede en forsiktig nitrogenstrøm over karbondisulfidfasen ved romtemperatur. Denne oppkonsentreringen ble gjort for å oppnå en bedre kvantifisering av hvitt fosfor.

Gasskromatografen som ble brukt var en Perkin-Elmer AutoSystem med en nitrogen-fosfor detektor (NPD), utstyrt med en 30 m x 0,25 mm DB-WAX kolonne fra J & W Scientific Inc med en filmtykkelse på 0,5 µm. Ovnstemperaturen ble holdt på 40°C i ett minutt, før den ble øket med 30°C per minutt til 90°C. Temperaturen ble så holdt på 90°C i tre minutter, før den igjen ble øket med 16°C per minutt til slutt-temperaturen 220°C. Injektor- og detektortemperaturen ble holdt på 250°C. Deteksjonsgrensen for hvitt fosfor ble bestemt ut fra injeksjoner av fortynnede standardløsninger på gasskromatografen. Deteksjonsgrensen for vannprøver ble målt til 2 ng/l, og deteksjonsgrensen for jord- og sedimentprøver ble målt til 0,4 ng/g.

4 RESULTATER

Det ble påvist hvitt fosfor i to av prøvene fra Hjerkinnskytefelt. Dette var begge vannprøver fra Grisungbekken som renner i kanten av område 2. Konsentrasjonen av hvitt fosfor i prøvene tatt fra bekken ble målt til henholdsvis 12 ng/l og 23 ng/l (se Tabell 4.1 og Kromatogram i Appendiks A). Dette betyr at det på bunnen av bekken sannsynligvis ligger partikler av hvitt fosfor, som sakte løses ut i vannet. Det kan også bety at noe hvitt fosfor ligger ureagert i jord og sedimenter i området, selv om det ikke ble påvist noe i jordprøvene som ble tatt. Tele i bakken gjorde at det ikke ble tatt prøver av dypere jordlag. I jord med liten tilgang på luft kan hvitt fosfor ligge lenge ureagert. Hvitt fosfor løst i vann binder seg dårlig til jord og vil dreneres ut i bekkesystemet.

Vannprøven med høyest konsentrasjon av hvitt fosfor (V8) ble tatt ca 1 km nedstrøms i forhold til der vannprøven med lavere konsentrasjon ble tatt (se Figur 4.1). Det er et tegn på at det ligger hvitt fosfor både mellom de to prøvepunktene og ovenfor det øverste prøvepunktet (V5).



Figur 4.1 Kart over prøvepunktene i område 2 (ved Grisungbekken)

Påvisningen av hvitt fosfor i bekken viser at noe hvitt fosfor har forblitt ureagert i over ett år etter skytingen. Som nevnt tidligere har en partikkel hvitt fosfor med masse på 1,8 gram, en halveringstid på 2,4 år i turbulent vann (13). Dette tilsier at konsentrasjonen av hvitt fosfor i bekken sannsynligvis var noe høyere rett etter skytingen for drøyt ett år siden.

<i>Område 2 – Grisungbekken</i>		
Prøvenr	Prøvepunkt	Hvitt fosfor konsentrasjon
02-200	J1	<0,4 ng/g*
02-201	J2	<0,4 ng/g*
02-202	J3	<0,4 ng/g*
02-203	J4	<0,4 ng/g*
02-204	J5	<0,4 ng/g*
02-205	J6	<0,4 ng/g*
02-206	J7	<0,4 ng/g*
02-218	V5	12 ng/l
02-219	V8	23 ng/l
*mindre enn deteksjonsgrensen		

Tabell 4.1 Resultater fra jord- og vannprøvene fra område 2

Tar man utgangspunkt i konsentrasjon av hvitt fosfor i bekken, kan man beregne omtrentlig hvor mye hvitt fosfor som ligger ureagert i området ovenfor prøvepunktet. Denne estimeringen er avhengig av følgende faktorer:

- Vannføringen i bekken ved prøvepunktet.
- Oppløsningshastighet for hvitt fosfor i vann.
- Overflaten på partiklene av hvitt fosfor.

Vannføringen i Grisungbekken ble antatt å være omkring 100 l/s ved prøvetakingstidspunktet. Avrenningskart som dekker det ca 26,5 km² store nedbørsfeltet, viser imidlertid en gjennomsnittlig avrenning på 15 l/s per km². Dette gir en gjennomsnittlig vannføring i Grisungbekken på ca 400 l/s ved prøvepunktet (V8). Den gjennomsnittlige vannføringen er altså fire ganger større enn vannføringen som ble estimert da prøvene ble tatt. I de beregningene som er gjort er det benyttet en vannføring på 100 l/s.

Oppløsningshastighet for hvitt fosfor i turbulent vann er 1-10 $\mu\text{g}/\text{time}$ per cm^2 (13). Det vil si at hver time løses 1-10 μg hvitt fosfor fra én partikkel med overflate på 1 cm^2 . Beregningene som er gjort baserer seg på en oppløsningshastighet på $5 \mu\text{g}/\text{time}$ per cm^2 .

Overflaten på partiklene av hvitt fosfor er avhengig av størrelsen på partiklene og hvilken form de har. Gjennomsnittlig overflate på ureagerte partikler av hvitt fosfor fra røykammunisjon er vanskelig å definere, men i beregningene som er gjort er partiklene definert som kuleformede med en diameter på 0,2 – 1,5 cm (se Figur 4.2).



Figur 4.2 Fire alternative størrelser på kuleformede partikler av hvitt fosfor. Diameteren er på 0,2 cm, 0,5 cm, 1 cm og 1,5 cm.

Figur 4.3 viser resultatet fra beregningene av hvor mye ureagert hvitt fosfor som ligger igjen i Grisungbekken etter skytingen av WP-granater i juni 2001. Beregningene er basert på hvitt fosfor som er i kontakt med rennende vann, men det kan i tillegg ligge partikler av hvitt fosfor ureagert i jord og sedimenter i området.

Beregning av total masse hvitt fosfor i område 2				
Hvitt fosfor konsentrasjon (ng/l)	23			
Vannføring (l/s)	100			
masse hvitt fosfor per time (mg/t)	15.48			
Oppløsningshastighet ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ per time)	5			
Tetthet hvitt fosfor (kg/dm^3)	1.82			
	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
Diameter på kuleformet partikkel av hvitt fosfor (cm)	0.2	0.5	1	1.5
overflate på én partikkel (cm^2)	0.13	0.79	3.14	7.07
volum på én partikkel (cm^3)	0.0042	0.065	0.52	1.76
Antall partikler hvitt fosfor	13142	2110	527	234
volum alle partiklene (cm^3)	55	138	276	414
Total masse hvitt fosfor (kg)	0.10	0.25	0.50	0.75

Figur 4.3 Alternative estimat over hvor mye ureagert hvitt fosfor det finnes i område 2, basert på målt konsentrasjon av hvitt fosfor i Grisungbekken.

Partikler av hvitt fosfor fra en 81 mm WP-granat er rapportert til å være fra 0,1 mm til 5 mm i diameter i det de faller ned på bakken etter detonasjon (17). En 155 mm WP-granat inneholder ti ganger mer hvitt fosfor enn en 81 mm WP-granat, og partiklene blir antagelig noe større ved detonasjon av 155 mm WP-granater tilsvarende de som ble benyttet på Hjerkin i juni 2001.

Hvis partiklene har en gjennomsnittlig diameter i nærheten av 5 mm kan det tyde på at Alternativ 2 i Figur 4.3 kan være det beste estimatet. I så fall ligger det ca 0,25 kg hvitt fosfor i området fordelt på omkring 2000 partikler ved prøvetakingstidspunktet.

Hvis oppløsningshastigheten er omtrentlig $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ per time og massen av hvitt fosfor i området var 0,25 kg ved prøvetakingstidspunktet, så tilsvarer dette at den totale massen av ureagert hvitt fosfor i området rett etter skytingen i juni 2001 var ca 0,4 kg. Under skytingen ble det benyttet 86 stk 155 mm M110 WP-granater, som hver inneholder 7,1 kg hvitt fosfor (2). Sannsynligvis stammer det meste av hvitt fosfor i området fra denne ene skytingen, og det kan tyde på at omkring 0,07 % hvitt fosfor forble ureagert etter skytingen av WP-granater i juni 2001.

Konsentrasjonen av hvitt fosfor i Grisungbekken ble på det høyeste målt til 23 ng/l. Halveringstiden for løst hvitt fosfor i vann er avhengig av temperatur, pH og oksygenmengde i vannet. Halveringstiden for løst hvitt fosfor er rapportert til å være mellom 3,5 til 6 timer i vann (18). Vannet i Grisungbekken, som ligger ca 1100 meter over havet, har lav temperatur. Det betyr at halveringstiden i dette tilfelle kan være lang (for eksempel 6 timer). Konsentrasjonen av løst hvitt fosfor kan derfor ikke være noe særlig høyere andre steder i bekken, enn det som ble målt ved prøvepunktene. Lang halveringstid medfører også at hvitt fosfor løst i bekken kan transporteres langt nedstrøms.

Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) analyserte vann-, jord- og sedimentprøvene for bestemmelse av totalt fosforinnhold ved bruk av atomemisjonsspektroskopi (ICP-AES). Det totale fosforinnholdet i jord- og sedimentprøvene varierte fra 380 mg til 1300 mg fosfor per kg jord (se FOLAT-rapport i Appendiks B). I dyrket jord er det totale fosforinnholdet som regel mellom 200 mg og 1000 mg per kg jord (19). Bindingsevnen til totalt fosfor kan være opp mot 1000 mg/kg i sandjord og opp mot 1300 mg/kg i leir- og siltrik jord (20). Dette kan bety at jorda i de prøvetatte områdene er mettet på fosfor. Konsekvensene av fosformettet jord vil kunne være en økt fare for eutrofiering i området. I alle vannprøvene var det totale fosforinnholdet mindre enn deteksjonsgrensen på $5 \mu\text{g}/\text{l}$. I SFT sin klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann er et totalt fosforinnhold som er mindre en $7 \mu\text{g}/\text{l}$ klassifisert som en meget god tilstand (21). Derfor ser det ikke ut til at fosfor fører til eutrofiering i de prøvetatte områdene.

5 KONKLUSJON

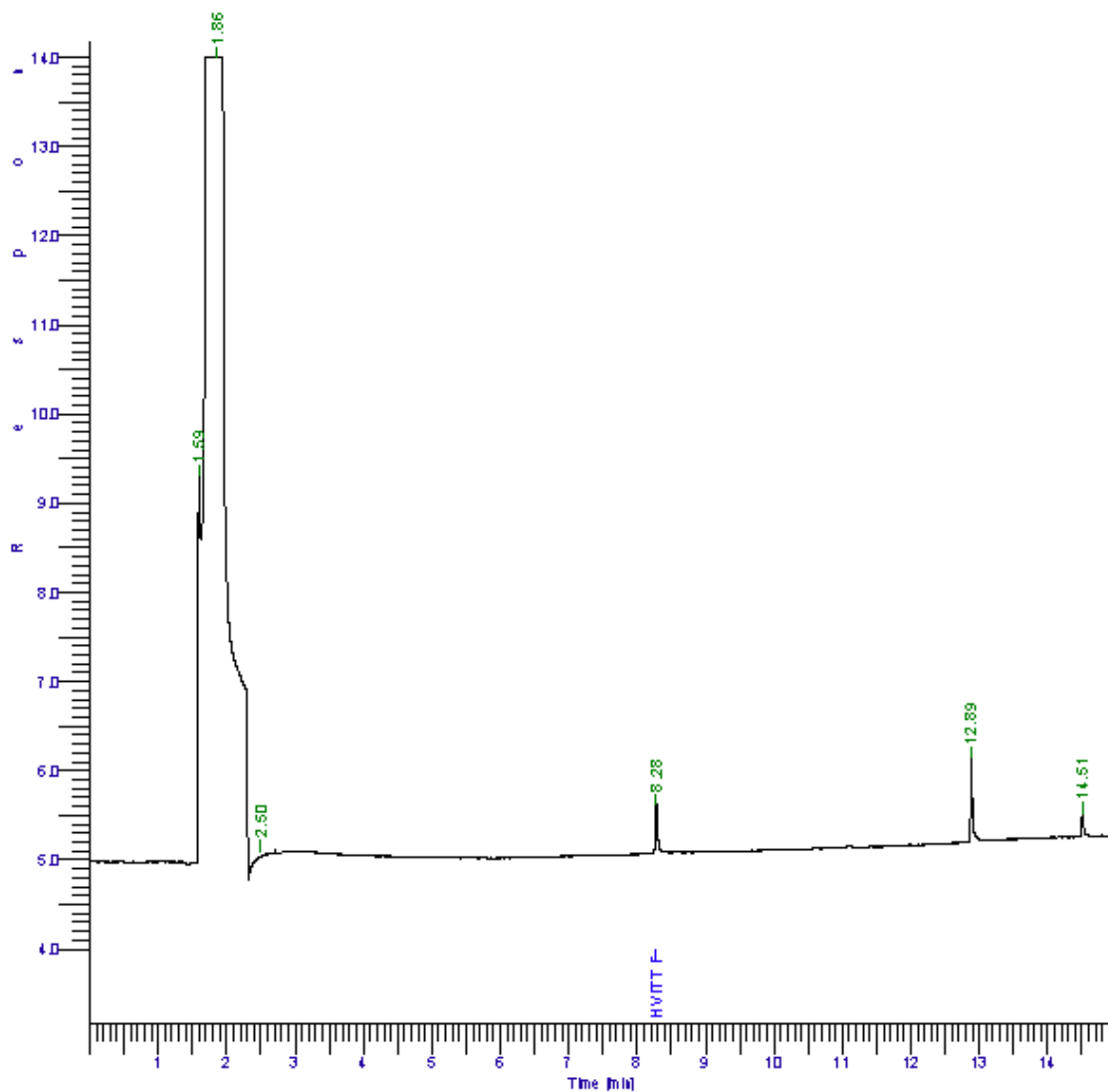
- Det er påvist hvitt fosfor i Grisungbekken i Hjerkinnskytefelt. Den høyeste konsentrasjonen av hvitt fosfor i bekken ble målt til 23 ng/l. Denne konsentrasjonen er for lav til å være skadelig for fisker og andre organismer som lever i vann. Dette gjelder også for fugler og pattedyr som drikker vannet i bekken.
- Partikler av hvitt fosfor etter skyting av WP-granater i juni 2001 ligger fortsatt ureagert i vann eller sedimenter i eller ved Grisungbekken. Et grovt estimat viser at det i oktober 2002 fortsatt kan ligge ca 0,25 kg hvitt fosfor igjen i området. Dette tilsvarer at ca 0,07 % hvitt fosfor ble værende ureagert etter skytingen i 2001. Den totale massen av hvitt fosfor i området vil sannsynligvis være halvert etter mindre enn 2 år.
- Det kan være dødelig for fugler og pattedyr hvis de får i seg noen av de ureagerte partiklene av hvitt fosfor i området. Men partiklene av hvitt fosfor ligger antagelig i sedimentene på bunnen av bekken og er dermed lite tilgjengelige. Det er derfor lite sannsynlig at partiklene av hvitt fosfor kan ha vesentlige skadevirkninger på fugler eller pattedyr.
- Det er i kontakt med vann at hvitt fosfor først og fremst forblir ureagert, og dette understreker viktigheten av å følge retningslinjene om å unngå detonering av WP-granater i nærheten av våtmarksområder og snødekte områder. Det er også viktig å unngå detonering i nærheten av bekker, elver og dammer.
- Det vil ikke være påkrevd med ytterligere overvåking av områdene med tanke på hvitt fosfor, men ved eventuelle nye skytinger av WP-granater bør målområdet for granatene være i lengre avstand fra Grisungbekken.

6 APPENDIKS

A KROMATOGRAM

Software	:		Date	:	1/23/03 12:30:58
Sample Name	:	02-218	Data Acquisition	:	10/28/02 4:53:39
Instrument	:	PE1	Channel	:	B
Name	:		Operator	:	eds
Rack/Vial	:	0/7	Dilution Factor	:	1.000000
Sample	:	1.000000			
Cycle	:	9			

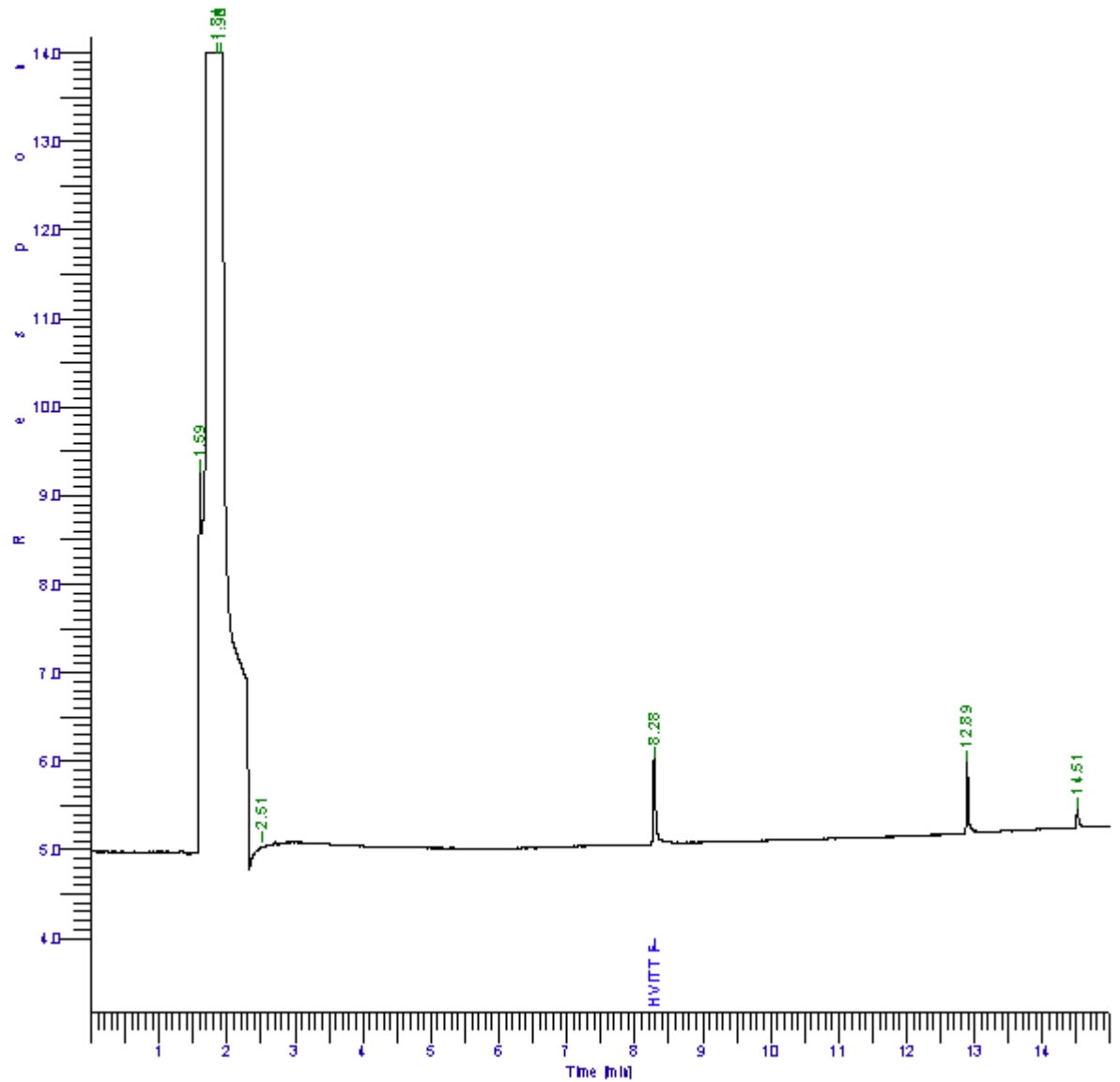
Result File : Wjotun\td\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j28\1j28009.rst
Sequence File : Wjotun\TCD\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j28\1j28.seq



Hvitt fosfor

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Konsentrasjon (ng/L)	Cal. Range
4	8.279	1358.98	563.37	11.78	

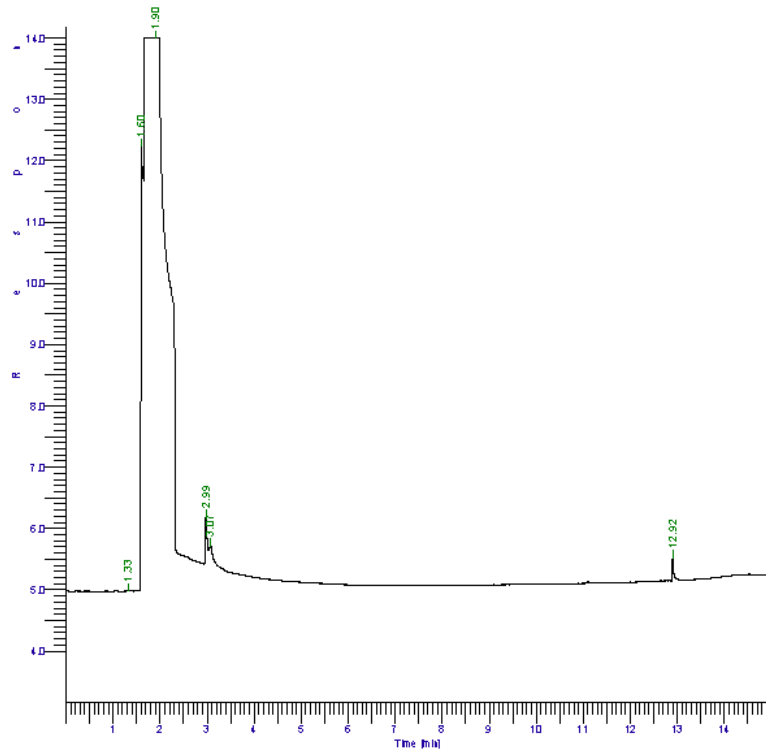
Software :
 Sample Name : 02-219
 Instrument : PE1
 Name :
 Rack/Vial : 0/8
 Sample : 1.000000
 Cycle : 10
 Date : 1/23/03 12:35:02
 Data Acquisition : 10/28/02 5:20:53
 Channel : B
 Operator : eds
 Dilution Factor : 1.000000
 Result File : Wjotun\TCDdata\tox\PE1\anal\2002\oktober1j28\1j28\10.rst
 Sequence File : Wjotun\TCDdata\tox\PE1\anal\2002\oktober1j28\1j28.seq



Hvitt fosfor

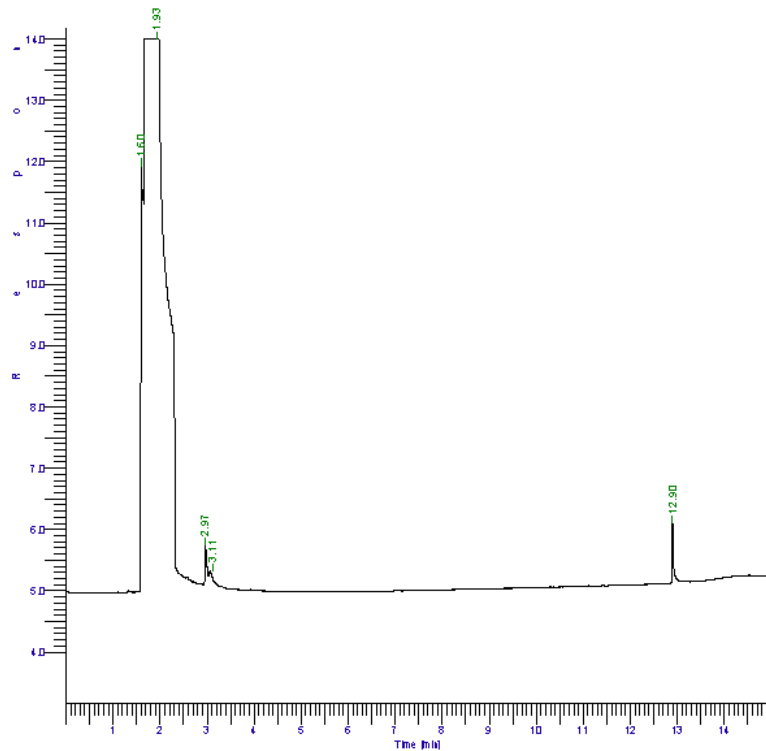
Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Konsentrasjon (ng/L)	Cal. Range
5	8.285	2427.74	987.99	23.37	

Software :
Sample Name : 02-200
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/7
Sample : 1.000000
Cycle : 9
Date : 1/13/03 1:04:04
Data Acquisition : 10/23/02 2:29:03
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23009.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



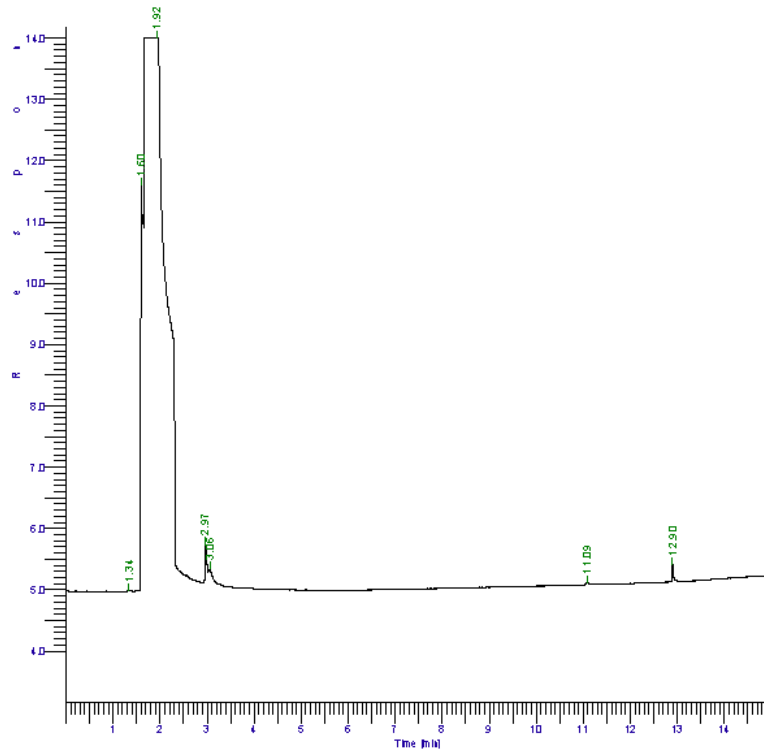
Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-201
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/8
Sample : 1.000000
Cycle : 10
Date : 1/13/03 1:05:29
Data Acquisition : 10/23/02 2:56:33
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23010.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



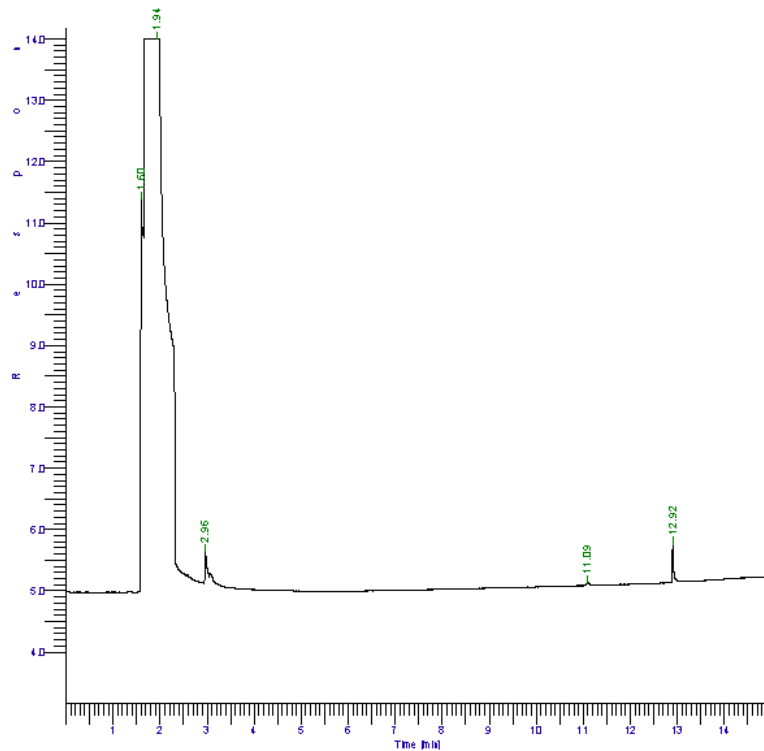
Hvitt fosfor

Software : Date : 1/13/03 1:40:32
Sample Name : 02-202 Data Acquisition : 10/23/02 3:23:54
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/9 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 11
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23011.lst
Sequence File : \jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

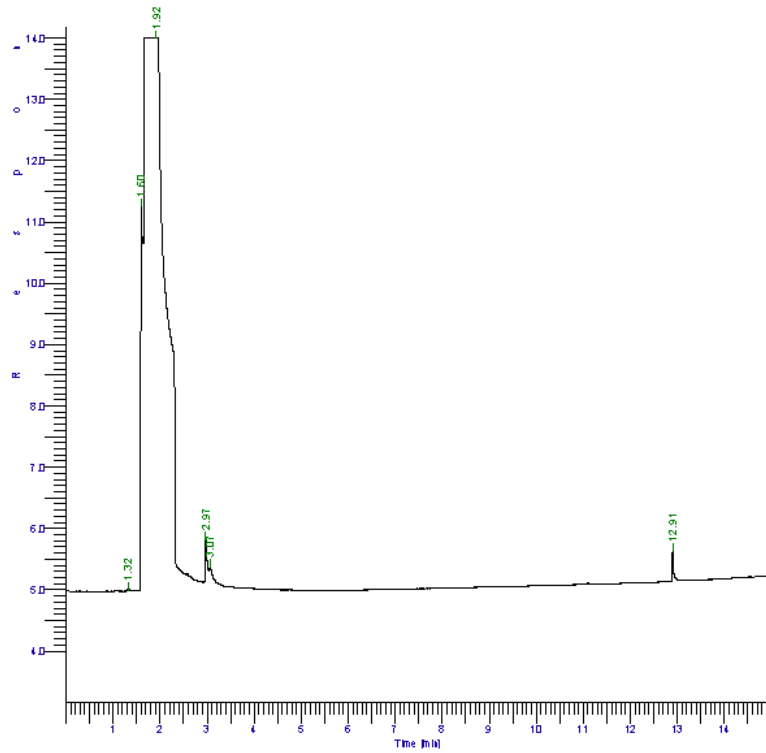
Software : Date : 1/13/03 1:41:42
Sample Name : 02-203 Data Acquisition : 10/23/02 3:51:07
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/10 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 12
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23012.lst
Sequence File : \jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-204
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/11
Sample : 1.000000
Cycle : 13
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23013.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

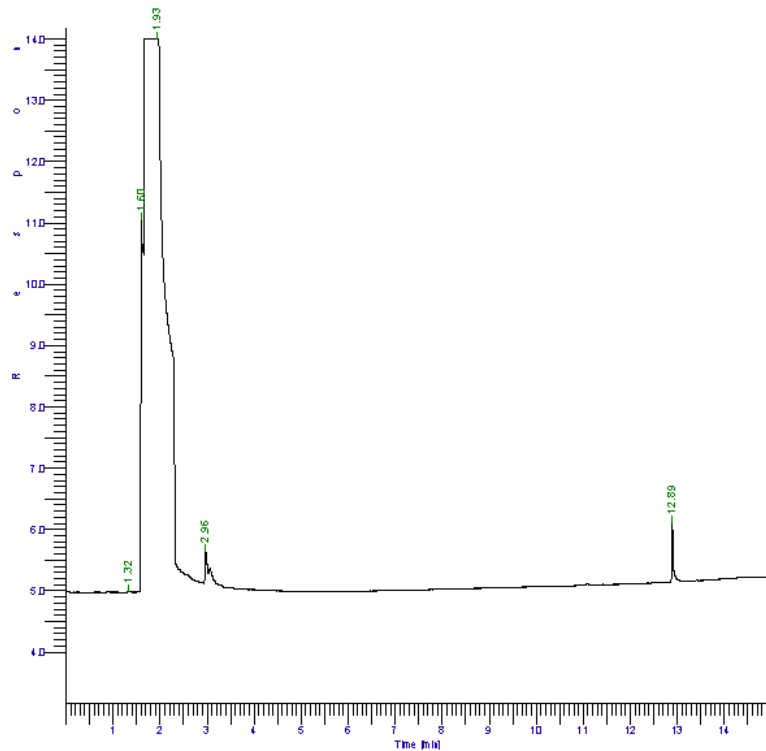
Date : 1/13/03 1:42:42
Data Acquisition : 10/23/02 4:18:44
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-205
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/12
Sample : 1.000000
Cycle : 14
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23014.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

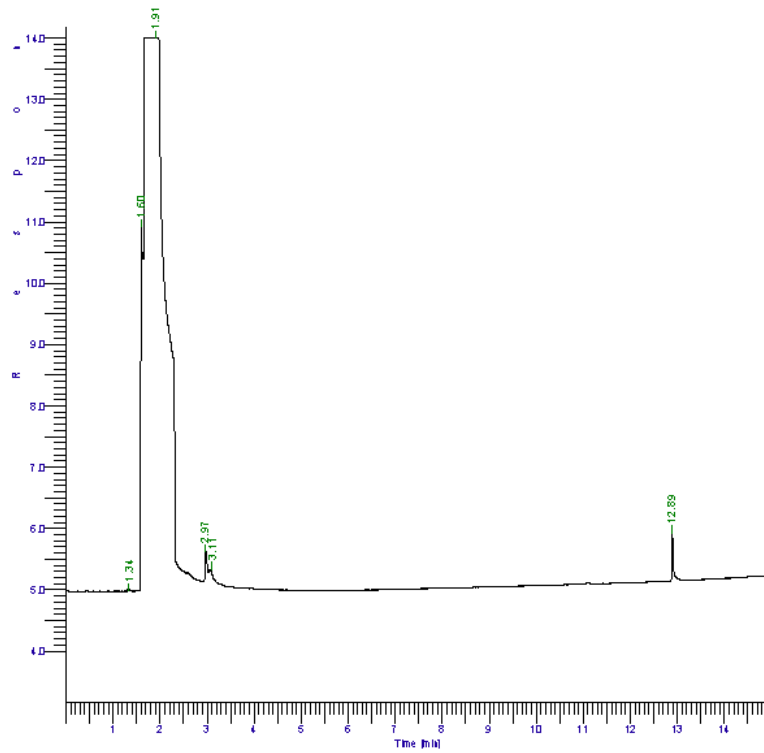
Date : 1/13/03 1:43:44
Data Acquisition : 10/23/02 4:46:11
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-206
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/13
Sample : 1.000000
Cycle : 15
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23015.lst
Sequence File : \jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

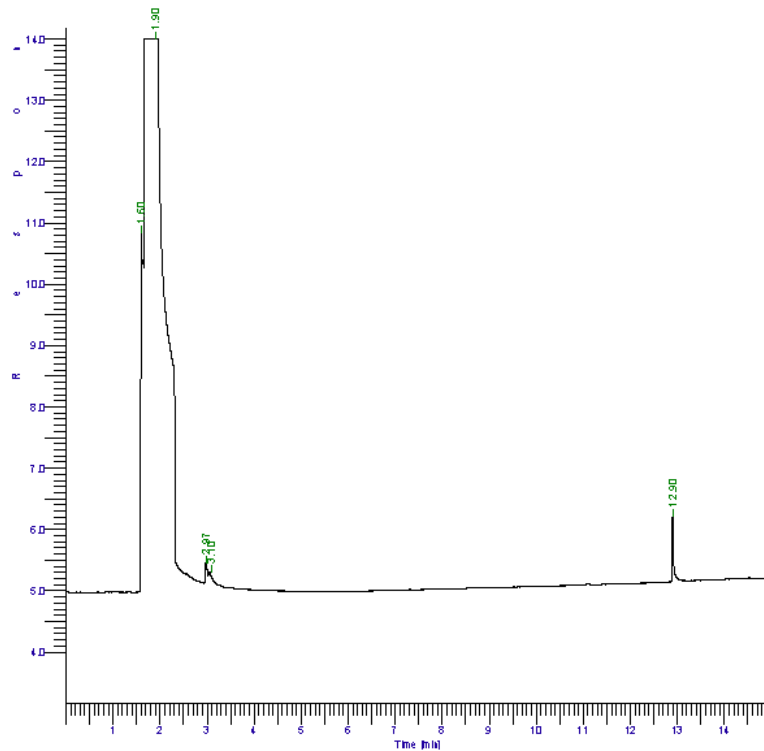
Date : 1/13/03 1:44:40
Data Acquisition : 10/23/02 5:13:39
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-207
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/14
Sample : 1.000000
Cycle : 16
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23016.lst
Sequence File : \jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

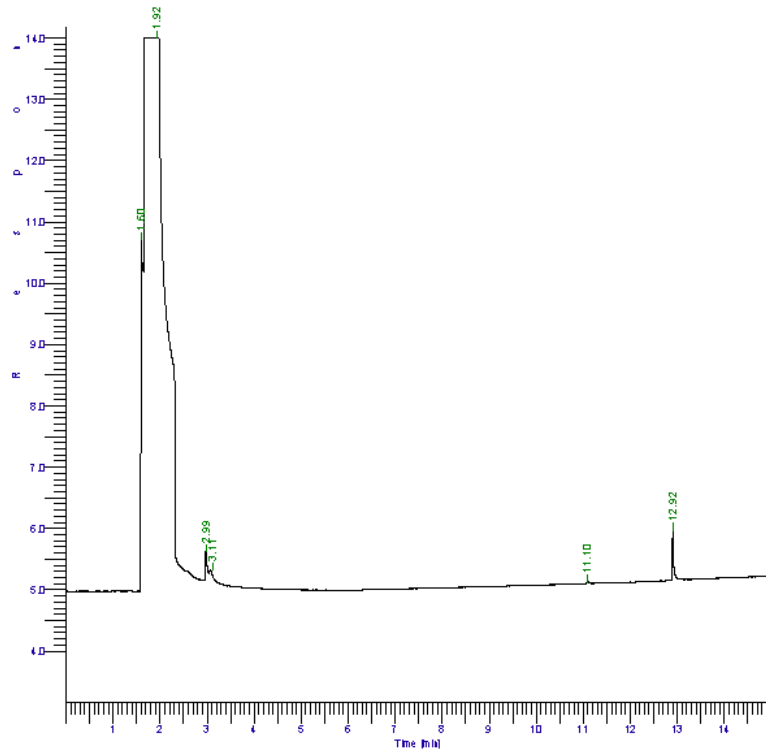
Date : 1/13/03 1:46:42
Data Acquisition : 10/23/02 5:41:15
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-208
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/15
Sample : 1.000000
Cycle : 17
Result File : \\jotun\td\data\toc\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23017.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\toc\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

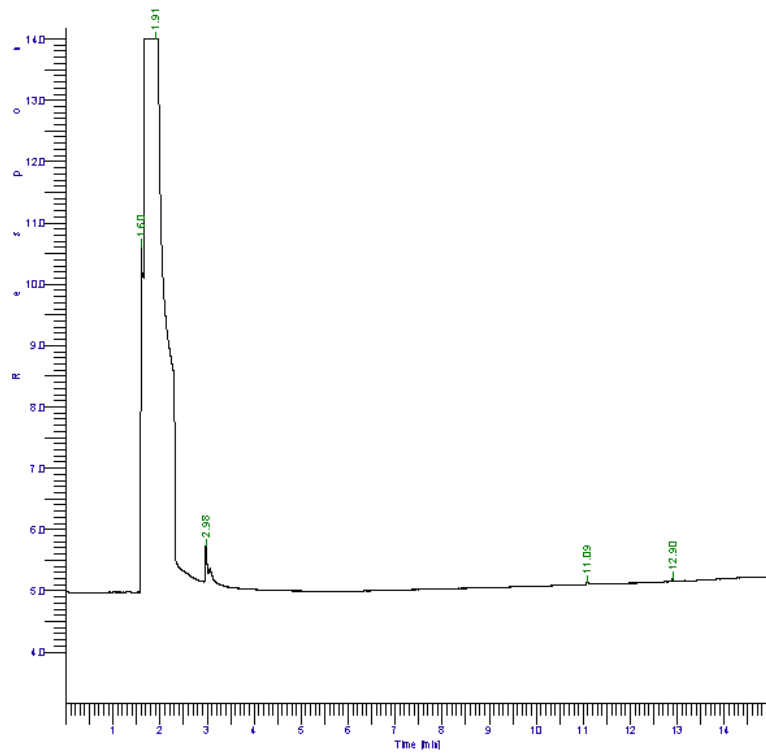
Date : 1/13/03 1:46:35
Data Acquisition : 10/23/02 6:08:33
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

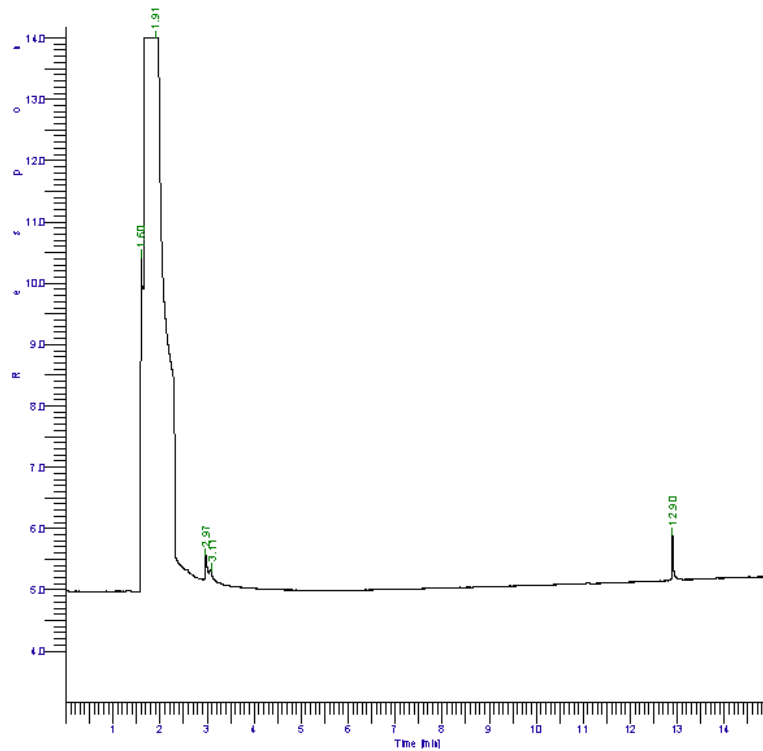
Software :
Sample Name : 02-209
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/16
Sample : 1.000000
Cycle : 18
Result File : \\jotun\td\data\toc\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23018.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\toc\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

Date : 1/13/03 1:47:25
Data Acquisition : 10/23/02 6:36:10
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



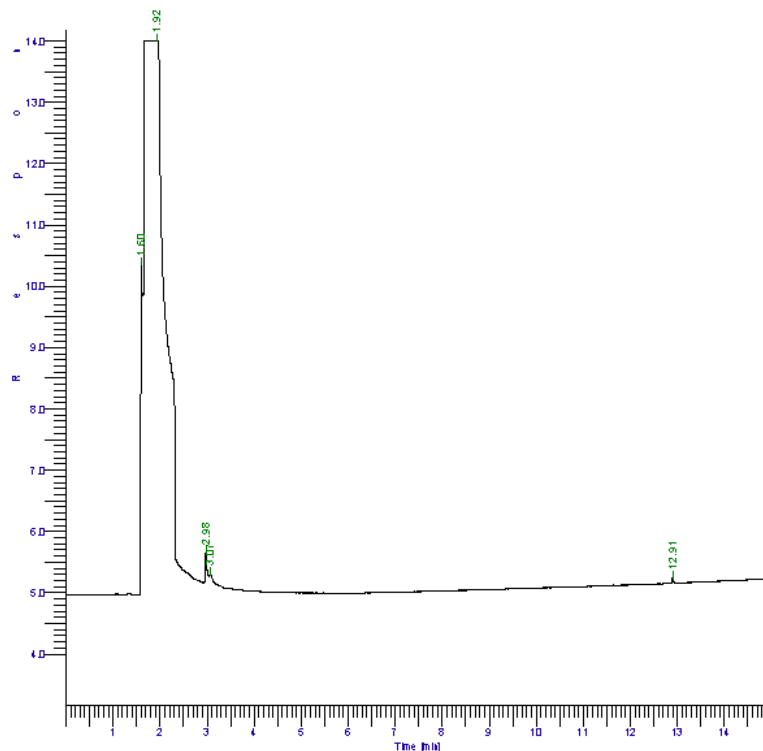
Hvitt fosfor

Software : Date : 1/13/03 1:48:29
Sample Name : 02-210 Data Acquisition : 10/23/02 7:31:17
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/17 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 20
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23020.lst
Sequence File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

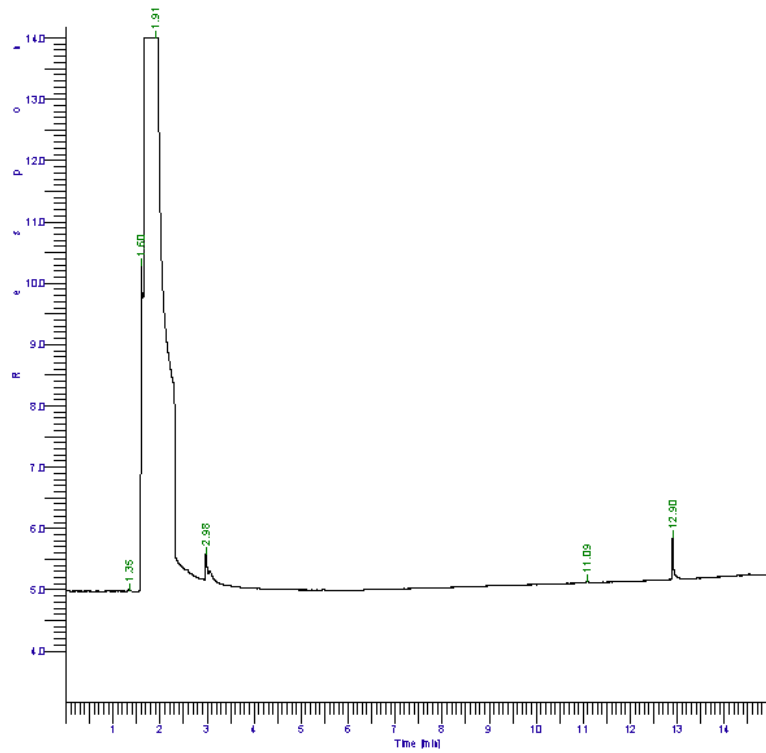
Software : Date : 1/13/03 1:49:20
Sample Name : 02-211 Data Acquisition : 10/23/02 7:58:54
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/18 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 21
Result File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23021.lst
Sequence File : \jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-212
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/19
Sample : 1.000000
Cycle : 22
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23022.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

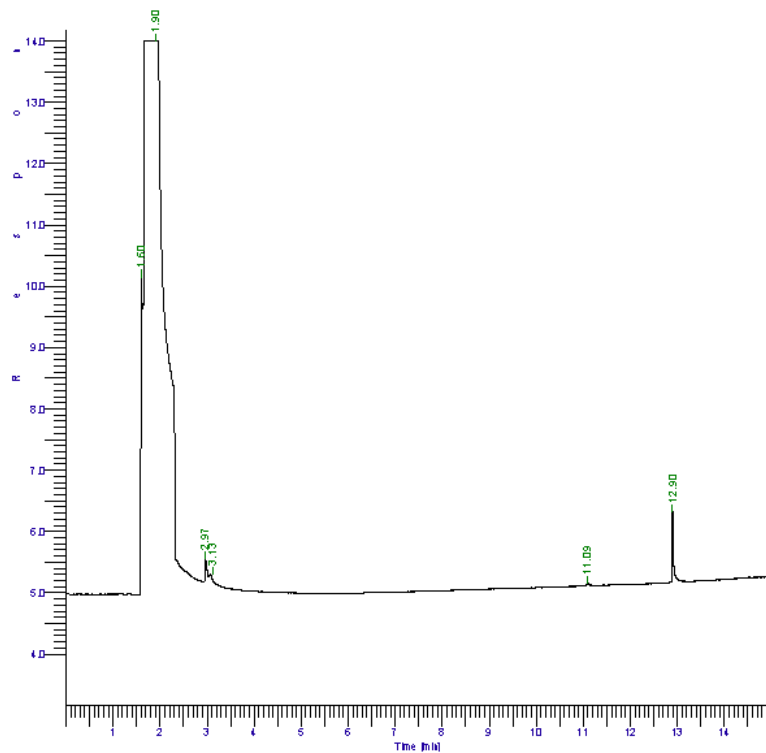
Date : 1/13/03 1:53:16
Data Acquisition : 10/23/02 8:26:30
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-213
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/20
Sample : 1.000000
Cycle : 23
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23023.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

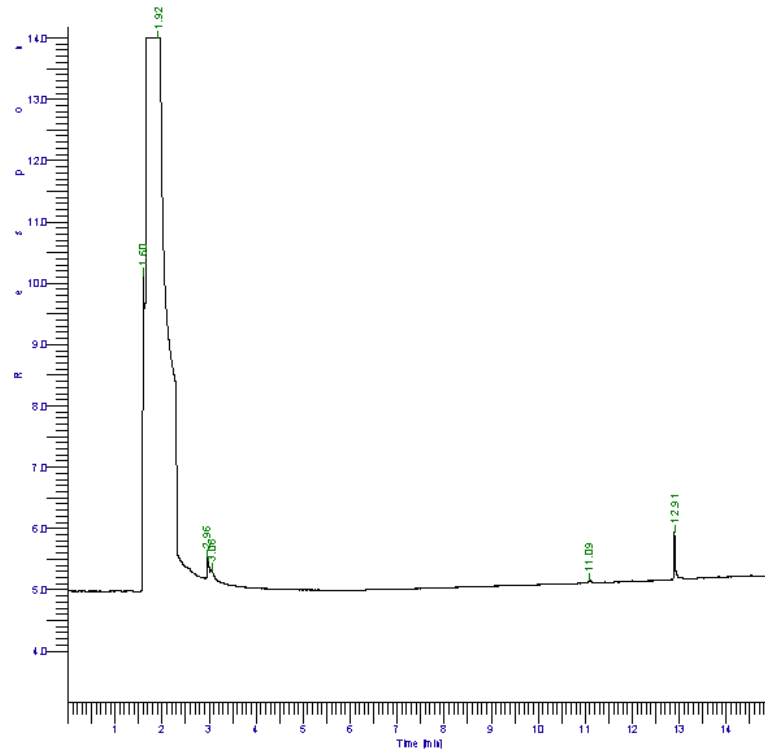
Date : 1/13/03 1:54:08
Data Acquisition : 10/23/02 8:54:13
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-214
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/21
Sample : 1.000000
Cycle : 24
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23024.lst
Sequence File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

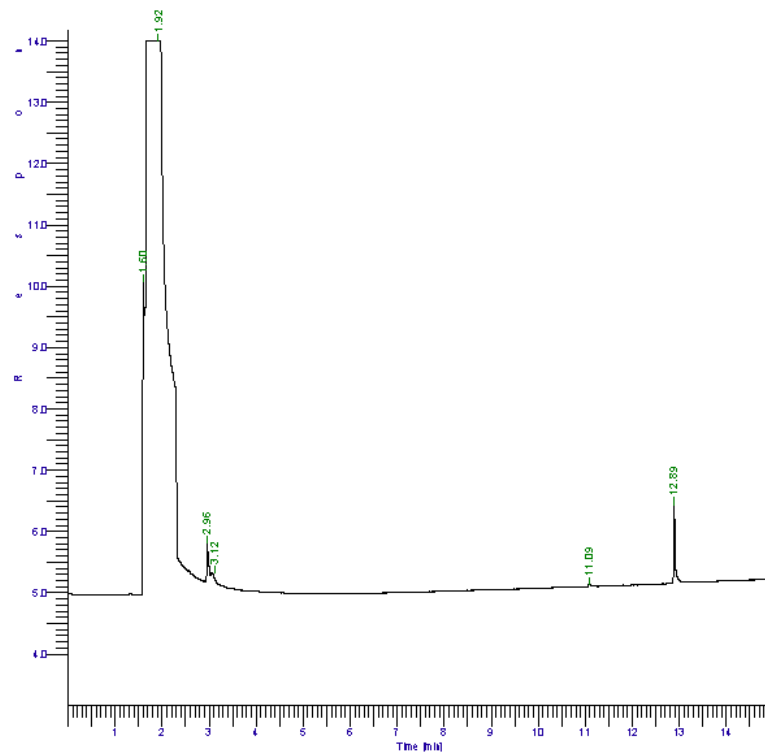
Date : 1/13/03 1:55:09
Data Acquisition : 10/23/02 9:21:51
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-215
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/22
Sample : 1.000000
Cycle : 25
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23025.lst
Sequence File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

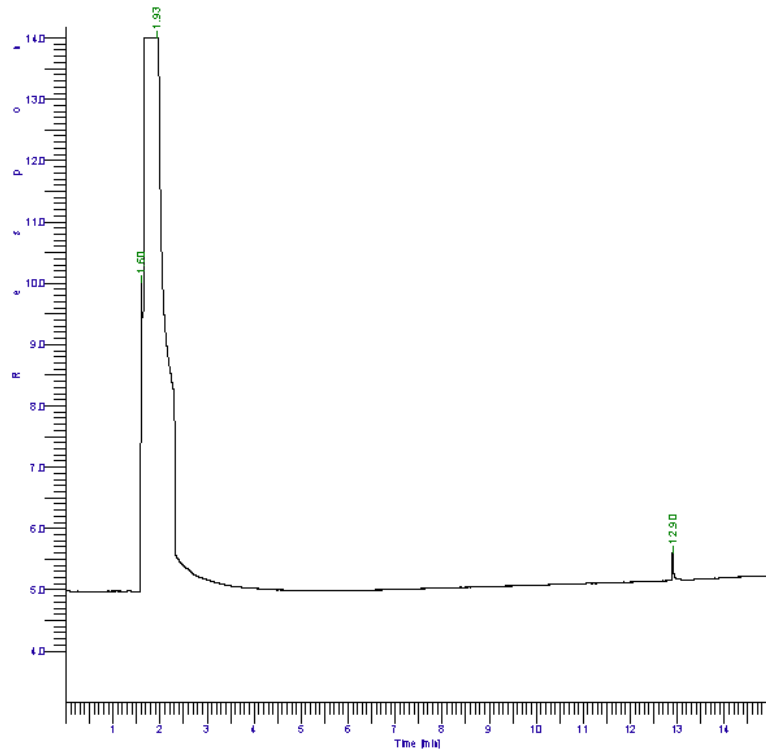
Date : 1/13/03 1:56:01
Data Acquisition : 10/23/02 9:49:28
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-216
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/23
Sample : 1.000000
Cycle : 27
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23027.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

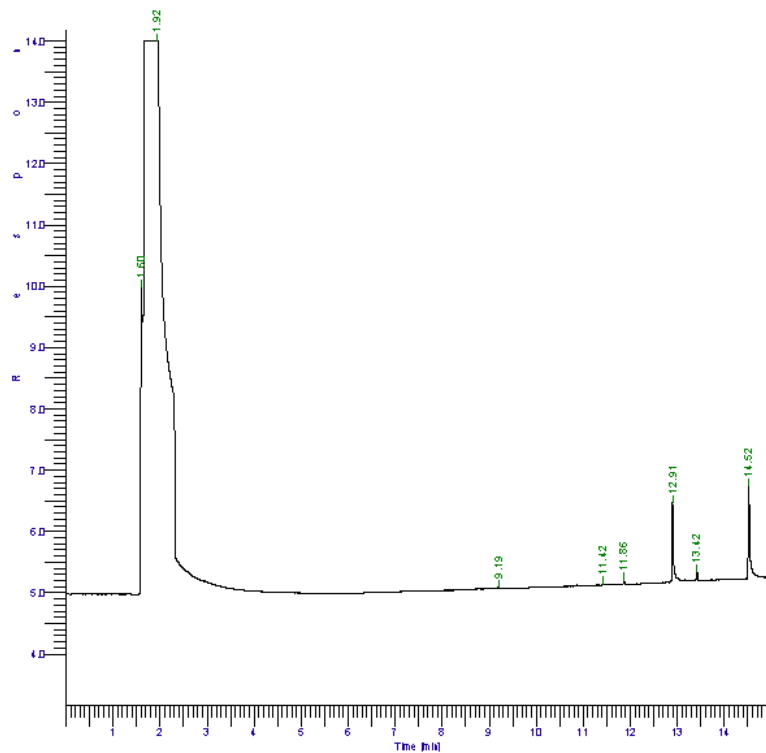
Date : 1/13/03 1:57:01 PM
Data Acquisition : 10/23/02 10:45:15
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

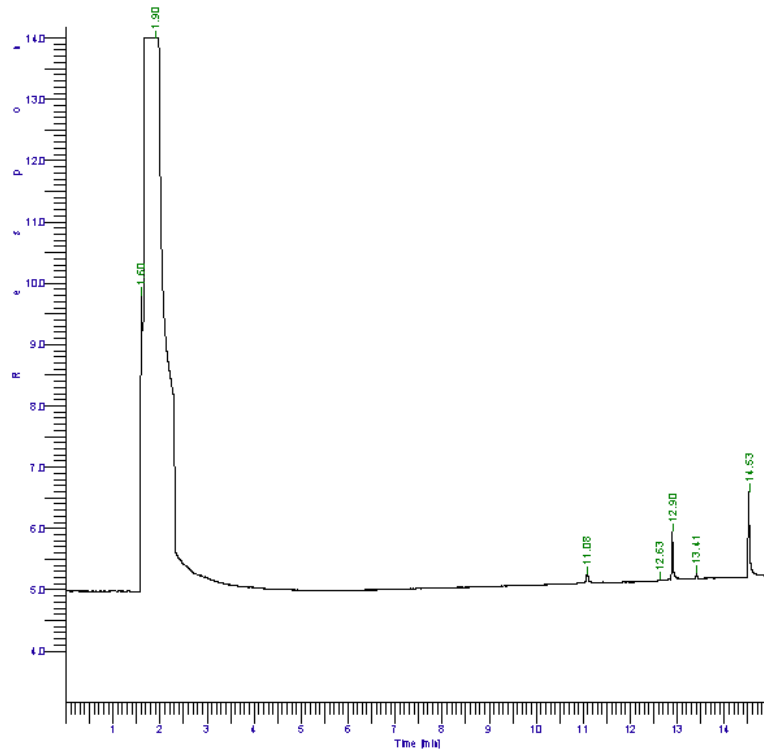
Software :
Sample Name : 02-217
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/24
Sample : 1.000000
Cycle : 28
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23028.rst
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

Date : 1/13/03 1:57:56 PM
Data Acquisition : 10/23/02 11:12:47
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



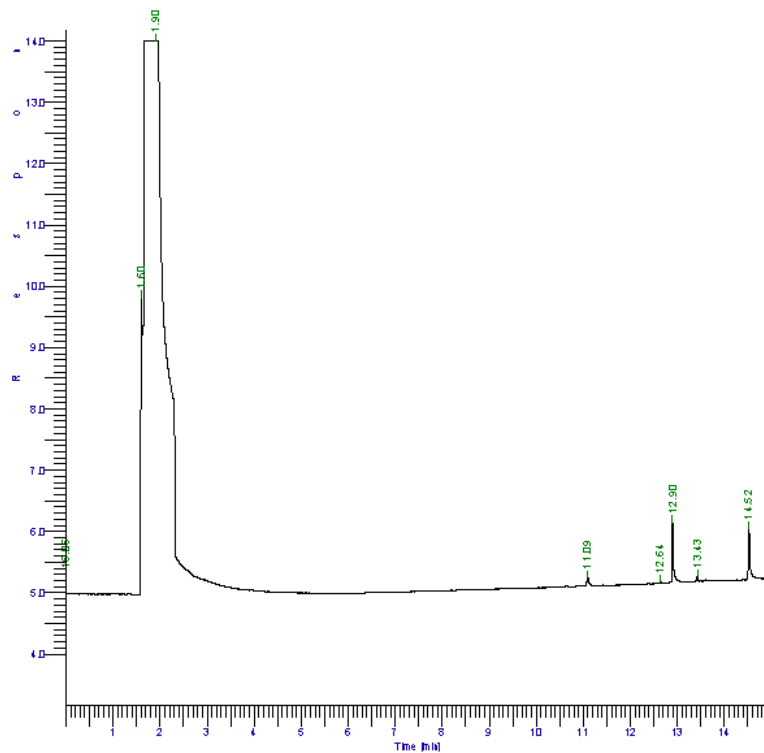
Hvitt fosfor

Software : Date : 1/13/03 1:58:54 PM
Sample Name : 02-220 Data Acquisition : 10/24/02 12:36:39
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/27 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 31
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23031.lst
Sequence File : \\jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

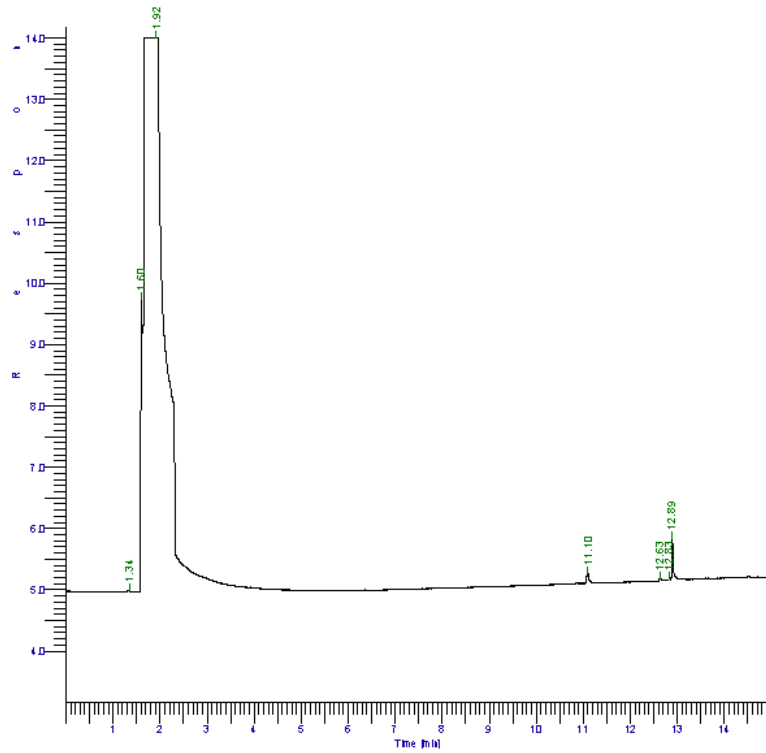
Software : Date : 1/13/03 1:59:47
Sample Name : 02-221 Data Acquisition : 10/24/02 1:04:27
Instrument : PE1 Channel : B
Name : Operator : eds
Rack/Vial : 0/28 Dilution Factor : 1.000000
Sample : 1.000000
Cycle : 32
Result File : \\jotun\td\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23032.lst
Sequence File : \\jotun\TC\data\tox\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : 02-222
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/29
Sample : 1.000000
Cycle : 33
Result File : \\jotun\td\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23033.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

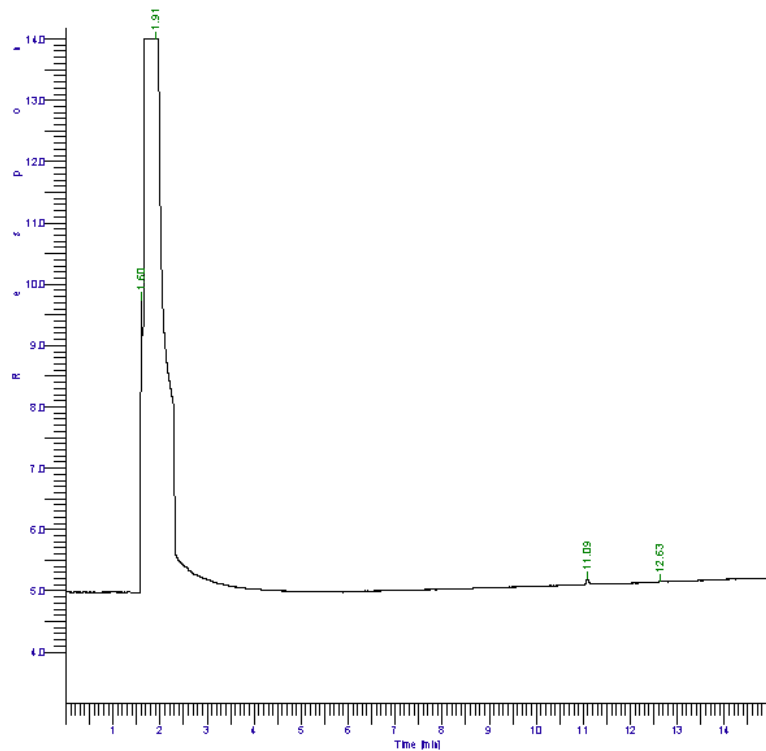
Date : 1/13/03 2:00:35
Data Acquisition : 10/24/02 1:32:09
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

Software :
Sample Name : cs2
Instrument : PE1
Name :
Rack/Vial : 0/1
Sample : 1.000000
Cycle : 34
Result File : \\jotun\td\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23034.st
Sequence File : \\jotun\TCD\data\tcx\PE1\anal\2002\oktober\1j23\1j23.seq

Date : 1/13/03 2:02:04
Data Acquisition : 10/24/02 1:59:34
Channel : B
Operator : eds
Dilution Factor : 1.000000



Hvitt fosfor

B FOLAT RAPPORT**Forsvarets laboratorietjeneste****Teknisk Rapport****Analytisk Laboratorium****Kjemi og materialteknologi**

Oppdragsgiver Arnt Johnsen FFI BM Postboks 25 2007 Kjeller		Oppdragsgivers referanse
Gjenpart		
Tittel Bestemmelse av fosfor og tungmetaller i jord/sediment- og vannprøver		
Rapportnr APPENDIKS	Ordrenr 33395	Antall sider/vedlegg 2/1
Dato for mottak av oppdrag 05.11.02	Jobbnr A-01-026	Dato for utgivelse 26.11.02
Utført av Oing E Larsen		Sjef VLA Senioring T A Gustavsen
Sammendrag Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt innholdet av fosfor og tungmetaller i jord/sediment og vannprøver.		

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk Laboratorium.

Adresse :
LHK/VLA
Postboks 10
N-2027 KJELLER

Telefon :
+47 63 80 80 00
Mil: 505 8000

Telefax :
+ 47 63 80 87 58
Mil: 505 8758

1. INNLEDNING

Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt innholdet av fosfor og tungmetaller i jord/sediment og vannprøver.

2. PRØVEMETODER

Jord/sedimentprøvene ble tørket og oppsluttet i mikrobølgeovn i henhold til NS-EN 133346. Det ble oppsluttet både referanseprøve og blindprøve sammen med jord/sedimentprøvene. Dette ble gjort for å ha kontroll med nøyaktigheten og eventuell kontaminering. Det ble oppsluttet tre paralleller av tre av prøvene for å se på homogeniteten av prøvene.

Vannprøvene ble surgjort med salpetersyre før analyse.

Den instrumentelle analysen ble utført med ICP-AES (induktivt koblet plasma atomemisjonsspektroskopi). Nedenfor er det en oversikt over hvilke bølglengder som ble benyttet for de ulike grunnstoffene:

Grunnstoff	Valgt bølglengde (nm)
Arsen (As)	188,98
Barium (Ba)	233,53
Kadmium (Cd)	214,44 (228,80-vannprøver)
Kobber (Cu)	327,39
Fosfor (P)	214,91
Bly (Pb)	220,35
Antimon (Sb)	206,84
Sink (Zn)	213,86 (206,19-vannprøver)

Kvikksølv ble bestemt ved hjelp av kalddamp atomabsorpsjon.

3. RESULTATER

Resultatet av analysen for jord/sedimentprøvene er gitt i vedlegg 1, tabell 1 og resultatet for vannprøvene er gitt i vedlegg 1, tabell 2.

Analyse av referansemateriale viste at det var god gjenfinning for alle elementene utenom Ba og Sb som var på henholdsvis 28 % og 63 %. Gjenfinningen for hvert element er gitt i vedlegg 1, tabell 1.

I kvalitetskontrollen ble det under analyse av vannprøvene funnet 12 µg/L Ba. Denne løsningen skal i utgangspunktet ikke inneholde Ba. En mulig årsak er at kvalitetskontrollen er blitt forurenset eller at spekteret overlapper med et annet element. Overlapping anses som lite sannsynlig da det ikke finnes noen andre elementer i dette bølglengdeområde som skal kunne interferere. De andre elementene i kvalitetskontrollen var riktige.

På grunnlag av parallellene som ble analysert for jord/sedimentprøvene, anslås en usikkerhet på 10 % for disse prøvene. Den instrumentelle usikkerheten estimeres til 2-5 % som da blir usikkerheten for vannprøvene.

Deteksjonsgrensen (LOD) angir laveste konsentrasjon som lar seg bestemme.

Kvantifiseringsgrensen (LOQ) angir laveste konsentrasjon som kan bestemmes nøyaktig.

Den er blitt bestemt som 3,33 ganger deteksjonsgrensen. Oppgitte verdier som ligger mellom LOD og LOQ er dermed beheftet med større usikkerhet enn verdiene som er høyere enn LOQ.

Tabell 2. Konsentrasjon av As, Ba, Cd, Cu, P, Pb, Sb, Zn og Hg i vannprøvene. Konsentrasjonen er gitt som $\mu\text{g/L}$. “-” betyr at funnet konsentrasjon ligger lavere enn oppgitt deteksjonsgrense (LOD). Kvantifiseringsgrensen (LOQ) er også oppgitt.

Konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)									
Prøve ID	As	Ba	Cd	Cu	P	Pb	Sb	Zn	Hg
02-216	2	180	-	-	-	-	-	47	-
02-217	-	28	-	1,3	-	-	-	2	-
02-219	-	5	-	-	-	-	-	-	-
02-220	4	190	-	1,3	-	-	-	370	-
02-221	-	170	-	12	-	-	-	2	-
02-222	-	16	-	-	-	-	-	2	-
LOD	2	0,3	0,5	1	5	3	5	1	0,001
LOQ	7	0,8	2	3	16	9	15	3	0,002

Litteratur

- (1) Forsvarets logistikkorganisasjon/Ammunisjonskontroll (2002): Ammunisjonsbudsjett 2002/2003.
- (2) Hjerkinnskytefelt (2001): Rapport ved bruk av ammunisjon/eksplosiver 1 juni 2001.
- (3) National Research Council (2000): Toxicity of Military Smokes and Obscurants, Volume 2, The National Academy Press, Washington DC, 18-44.
- (4) Diaz-Rivera RS, Collazo PJ, Pons ER, Torregrosa MV (1950): Acute phosphorus poisoning in man, A study of 56 cases, *Medicine* **29**, 269-298.
- (5) Tørnes John Aa (1988): Bestemmelse av hvitt fosfor i prøver fra Forsvarets skytefelt på Dovre, FFI/RAPPORT-6009.
- (6) Stewart WL (1930): A Curious case of phosphorus poisoning in sheep, *Agric Jrl Min Agric (Great Britain)* **37**, 56-59.
- (7) Adams SH, Davies RO, Ashton WM (1942): Phosphorus poisoning, *Agric Jrl Min Agric (Great Britain)* **49**, 1, 61-63.
- (8) Nam S-I, Walsh MR, Collins CM, Thomas L (1999): Eagle river flats remediation project. Comprehensive bibliography - 1950 to 1998.
- (9) Jangaard PM (1972): Effects of elemental phosphorus on marine life. Circular no 2. Atlantic Regional Office, Research and Development, Fisheries Research Board of Canada, Halifax, Nova Scotia.
- (10) Finn Ola Helleberg (2002): Personlig meddelelse. 6 Divisjon INFBN2 STØKP, Skjold leir
- (11) Morten Berntsen (2002): Personlig meddelelse. KAMPUKS SSFA, Rena leir
- (12) Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, Heckelman PE, Kinneary JF (1996): The Merck Index. An encyclopedia of chemicals, drugs and biological. Twelfth edition, Merck Research Laboratories, Whitehouse Station, NJ, 1265.
- (13) Spanggord RJ, Rewick R, Chou TS, Wilson R, Podoll RT, Parnas R, Platz R, Roberts D (1985): Environmental fate of white phosphorus/felt an red phosphorus/butyl rubber military screening smokes. US Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, Frederick, Maryland.
- (14) Maddock BG, Taylor D (1976): The acute toxicity og dissolved elemental phosphorus to cod (*Gadus morhua*), *Water Research* **10**, 289-294.
- (15) Johnsen A, Longva KS, Ringnes H, Strømseng A (2002): Helse- og miljømessige konsekvenser ved Forsvarets bruk av røykammunisjon med hvitt fosfor, FFI/RAPPORT-2002/04042
- (16) Kjellberg G (1988): Vannforurensninger fra skytefelt. Delprosjekt 1. Forprosjekt vedrørende eventuell vannforurensing fra demolering av ammunisjon ved Hjerkinnskytefelt 1986-1987. NIVA-rapport 0-86162.

- (17) Walsh ME, Collins CM (1993): Distribution of White Phosphorus Residues From the Detonation of 81-mm Mortar WP Smoke Rounds at an Upland Site. US Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire.
- (18) Lai M, Rosenblatt D (1977): Identification of transformation products of white phosphorus in water. DAMD 17-77-C-7027. US Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, Maryland. ADA041068.
- (19) Øien A, Krogstad T (1989): Jordanalyser. Teori om metoder og apparatur. Institutt for jordfag, Ås-NLH.
- (20) Krogstad T (1995): Fosfor i jord, *Fagnytt - Jordfag* **8**.
- (21) Andersen JR, Bratli JL, Fjeld E, Faafeng B, Grande M, Hem L, Holtan H, Krogh T, Lund V, Rosland D, Rosseland BO, Aanes KJ (1997): Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-rapport 1468/1997.

