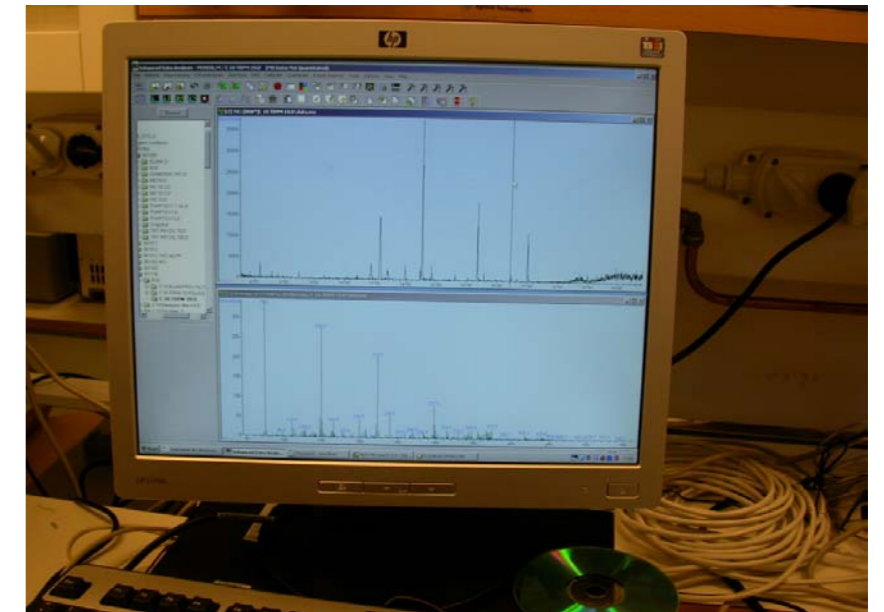


ROSE-MARIE KARLSSON, ERIK HOLMGREN, MONA BRANTLIND, STEFAN EK



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Rose-Marie Karlsson, Erik Holmgren, Mona Brantlind, Stefan Ek

Forskningsresultat för projekt Doftbild år 2006

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--2190--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2006	Projektnummer E2037
	Delområde 42 Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Rose-Marie Karlsson Erik Holmgren Mona Brantlind Stefan Ek	Projektledare Rose-Marie Karlsson	
	Godkänd av Patrick Goede	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Forskningsresultat för projekt Dofbild år 2006		
Sammanfattning <p>Under året har provtagnings-, extraktions- och analysmetoder för RDX, HMX, pentyl och tetryl förbättrats. Dessa substanser kan samlas in på filter och därefter analyseras. Metoden har även visat sig fungera för andra explosivämnen, som även kan finnas i ångfas. Denna metod måste dock verifieras före användning i större omfattning. Provtagning med SPE-faser och därpå följande termisk desorption har undersökts. Nackdelen är långa analystider. En alternativ metod för vattenprovtagning har utvecklats. Den använder likadana filter som ovan nämnts vid luftprovtagning. En stor fördel är att provhanteringen underlättas. Detta är ett stort framsteg, vilket innebär både praktiska och ekonomiska fördelar. Vid avveckling av skjutfält har kompositprovtagning visat stor potential. Med förbättrade extraktionsmetoder bör även för projektet Dofbild intressanta ämnen kunna detekteras i jord. Den metod som tidigare utvecklats för extraktion av TNT från jord (MAE) har utvärderats även för aktuella explosivämnen med varierande resultat. Inledande försök med Soxhletextraktion har utförts som ett komplement till MAE. Hittills erhållna resultat är lovande, men metoden måste optimeras. Med den under året införskaffade GC-MS-utrustningen finns stora förhoppningar att förbättra i rapporten beskrivna GC-metoder. Inledande försök har gett mycket lovande resultat. Arbetet fortsätter och dessa resultat kommer att redovisas i nästa års rapport.</p> <p>Ett seminarium gavs den 21 november för att presentera årets resultat för våra kunder. Vissa av dessa resultat visades även på NDRF-konferensen i Trondheim den 23-25 augusti.</p>		
Nyckelord explosivämnen, analys, dofbild		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 28 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--2190--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2006	Project no. E2037
	Subcategories 42 Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Rose-Marie Karlsson Erik Holmgren Mona Brantlind Stefan Ek	Project manager Rose-Marie Karlsson	
	Approved by Patrick Goede	
	Sponsoring agency SAF	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Research Results for the Sense Project Year 2006		
Abstract <p>Sampling, extraction and analysis methods for RDX, HMX, PETN and tetryl have been evaluated and improved. These substances can be collected on a filter and analysed. The method has proven successful even for other explosives. However, the method must be thoroughly evaluated prior to further use on the field. Sampling with SPE phases and thermal desorption were investigated. The disadvantage of this method is the long analysis times required. An alternative method for sampling from water was developed. It uses the same filters as in the sampling from air, <i>vide supra</i>. Its advantage is the facile handling of the samples. This is favourable, both practically and economically. Composite sampling has shown great potential in the closing of shooting ranges. Improved analysis methods will allow the detection of interesting compounds for the current project in soil samples. The method that was previously developed for the extraction of TNT from soil (MAE) was evaluated for other explosives with varying results. Preliminary experiments with Soxhlet extraction are so far very promising, but the method must be optimised. A GC-MS equipment, which recently became available in our lab, will allow the improvement of current GC methods. The results are so far very promising. The work continues and its results will be reported next year.</p> <p>A seminar was given to present this year's results to our costumers on the 21st of November. Some of these results were also presented at the NDRF conference in Trondheim on the 23-25 August.</p>		
Keywords explosives, analysis, odour		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 28 p.	
	Price acc. to pricelist	

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 EXEKUTIV SAMMANFATTNING	1
1.1 LUFTPROVTAGNING	1
1.2 VATTENPROVTAGNING	1
1.3 JORDEXTRAKTION	2
1.4 FRAMTIDA ARBETE	2
2 BAKGRUND	3
3 ÅRETS VERKSAMHET	4
3.1 UTPROVNING AV ANALYSPARAMETRAR.....	4
3.1.1 Test av detektor	4
3.1.2 Test av kolonner	5
3.1.3 Test av lösningsmedel.....	6
3.1.4 Test av SPE (Solid Phase Extraction) - extraktionssteget	6
3.1.5 Eluering med optimerad metod	7
3.1.6 Optimering av MAE-steget (mikrovågsextraktion).....	8
3.2 UTVÄRDERING OCH OPTIMERING AV BEFINTLIG EXTRAKTIONS- OCH ANALYSMETOD FÖR OLIKA EXPLOSIVÄMNEN	9
3.2.1 RDX.....	9
3.2.2 HMX.....	10
3.2.3 PETN (Pentyl)	10
3.2.4 Tetryl	10
3.3 PROVTAGNING AV EXPLOSIVÄMNEN I LUFT OCH VATTEN.....	11
3.3.1 Provtagning från luft.....	11
3.3.2 Kvalitativ analys av innehållet från luftfilter med GC-MS.....	13
3.3.3 Termisk desorption från SPE-faser	14
3.3.4 Kvalitativ analys av innehållet från luftfilter innehållande partikelbundna explosivämnen	15
3.4 SOXHLETEXTRAKTION AV EXPLOSIVÄMNEN	17
3.4.1 Bakgrund.....	17
3.4.2 Metodbeskrivning	18
3.4.3 Resultat och diskussion	19
3.4.4 Slutsatser	19
4 SLUTSATSER OCH FRAMTIDA ARBETE	20
4.1 LUFTPROVTAGNING	20
4.2 VATTENPROVTAGNING	20
4.3 JORDEXTRAKTION	20
4.4 FRAMTIDA ARBETE	21
5 AKRONYMER	22

1 Exekutiv sammanfattning

Projektets syfte är att kartlägga spridning och nedbrytning för några relevanta militära explosivämnen, i första hand hexogen (RDX), pentyl och tetryl i olika miljöer. Ämnet TNT används som referensämne då det vid utprovning av nya metodiker är nödvändigt att börja med ett ämne som är väl studerat. Projektets huvudsakliga inriktning består i att utvärdera och optimera provtagningsmetodik (gas-, partikel-, jord- och vattenfas), utveckla snabba och kostnadseffektiva uppberedningsmetoder, identifiera nedbrytnings- och biprodukter från de utvalda explosivämnena i olika miljöer samt optimera analysmetoder. Kunskapen som byggs upp inom projektet används för att stödja explosivämnessökande hundekipage inom försvarsmakten och ger möjlighet att stödja arbetet vid skjutfältsavveckling och internationella insatser. Det civila samhället kan också dra nytta av den kunskap som byggs upp.

1.1 Luftprovtagning

Under året har provtagnings-, extraktions- och analysmetoder för RDX, HMX, pentyl och tetryl utvärderats och förbättrats. Dessa substanser kan provtas med ett filter förutsatt att de är bundna till partiklar, då de har ett mycket lågt ångtryck. Metoden har även visat sig fungera för andra explosivämnen, som även kan finnas i ångfas. Denna metod måste dock verifieras före användning i större omfattning, för att avgöra dess möjligheter och begränsningar.

Provtagning med SPE-faser¹ och därpå följande termiska desorption har undersökts. Denna har fördelen att hela provet kan ledas in i analysutrustningen och därmed kan lägre halter detekteras. Nackdelen är långa analystider, ca 1½ timme per prov. Vid extremt låga halter kan dock detta vara det enda alternativet. Metoden har fungerat för de undersökta explosivämnena, RDX, 2,4-DNT² och TNT.

1.2 Vattenprovtagning

En alternativ och mindre arbetskrävande metod har utvecklats. Den använder likadana filter som nämnts ovan vid luftprovtagning. En stor fördel är den förenklade provhanteringen. Istället för handhavande av stora vattenvolymer behöver endast ett filter skickas för analys. Detta är ett stort framsteg Dinitrotoluen ur både praktisk och ekonomisk synvinkel.

¹ SPE står för fastfasextraktion och fungerar som ett slags filter, se även fig 2.

² DNT (dinitrotoluen) är en biprodukt från produktionen av TNT

1.3 Jordextraktion

Vid avveckling av skjutfält har kompositprovtagning visat stor potential. Med förbättrade extraktionsmetoder bör även för projektet Doftbild intressanta ämnen kunna detekteras i jord. Den metod som tidigare utvecklats för extraktion av TNT från jord (MAE)³ har utvärderats även för aktuella explosivämnen med varierande resultat.

Inledande försök med Soxhletextraktion, som är en vedertagen metod inom analytisk miljökemi, har utförts som ett komplement till MAE. En amerikansk forskargrupp har även utvärderat denna teknik för extraktion av vissa explosivämnen från jord. En stor fördel med denna teknik är att stora provmängder kan extraheras samtidigt med relativt liten arbetsinsats. Stora provmängder innebär att flera kilogram jord kan extraheras, medan många andra metoder endast fungerar i gramskala. Metoden har två huvudsakliga nackdelar. Den ena är att extraktionen tar ett dygn. Den andra är att det erhållna extraktet innehåller många andra komponenter än explosivämnen. Detta kan smutsa ned analysutrustningen. Dessa problem kan övervinnas med fortsatta studier.

1.4 Framtida arbete

Med den under året införskaffade GC-MS-utrustningen finns stora förhoppningar att förbättra i rapporten beskrivna GC-metoder. Denna utrustning är egentligen avsedd för och finansierad av ett annat projekt (OSP). Doftbildsprojektet kommer dock att kunna köpa analystid på detta instrument. Inledande försök har gett mycket lovande resultat. Arbetet fortsätter och dessa resultat kommer att presenteras i nästa års rapport.

³ MAE står för Microwave Assisted Extraction eller mikrovågsassisterad extraktion

2 Bakgrund

Projektets syfte är att kartlägga spridningen för några relevanta militära explosivämnen, i första hand hexogen (RDX), pentyl och tetryl i olika miljöer. Ämnet TNT används som referensämne då det fortfarande är ett vanligt förekommande explosivämne och vid utprovning av nya metodiker, då det är nödvändigt att börja med ett ämne som är väl studerat. Antalet målsubstanser kommer efterhand att utökas. Projektets huvudsakliga inriktning består i att utvärdera och optimera provtagnings- och analysmetodik (gas-, partikel-, jord- och vattenfas), utveckla snabba och kostnadseffektiva uppberedningsmetoder t.ex. baserade på adsorption/termisk desorption samt att utarbeta robusta extraktionsmetoder för snabb kvalitativ analys i fält. Kunskap om biprodukter och nedbrytningen av explosivämnen i naturlig miljö är också prioriterat i projektet. Nedbrytning påverkas av många faktorer och en doftbild genereras. Sammansättningen i doftbilden beror bl. a. på de ingående komponenternas ångtryck, temperatur i marken, partikelstorleken i markens ytskikt och markens fuktighet, vind, vegetation, tiden laddningen legat i marken, jordart, kemisk och mikrobiologisk aktivitet. Andra faktorer som bestämmer doftbilden är vilken typ av hölje och mina det gäller. Med kunskap om dessa faktorer ökar förutsättningen att träna och utvärdera explosivämnessökande hundar och förstå vilka explosivämnesdetektorer som har förutsättningar att fungera. Nya kommersiella explosivämnesdetektorer kan utvärderas. Kunskapen som byggs upp inom projektet används för att stödja explosivämnessökande hundekipage inom försvarsmakten och ger möjlighet att stödja arbetet vid skjutfältsavveckling och internationella insatser. Det civila samhället kan också dra nytta av kunskapsbanken.

Doftbildsprojektet gynnas av de synergieffekter som uppstår tack vare utbytet med andra FOI projekt och enskilda uppdrag som OSP-projektet, miljöprojekten på FOI NBC-skydd, uppdrag som analyser av jordprov tagna i testfält utomlands för minor inom GICHDS⁴ projekt Mine Detection Dog Study, verifiering av vattensök med hund i Skredsvik samt provtagning på Hovdala skjutfält vilka beskrivits i fjolårets rapport (Kjellström et al, 2005). Under år 2006 har det på uppdrag av SWEDEC⁵ genomförts en jordprovtagning på deras testfält med efterföljande analys av explosivämnen och relaterade substanser. Denna undersökning bidrog till att förklara hundarnas beteende på övningsfältet.

⁴ Geneva International Centre for Humanitarian Demining

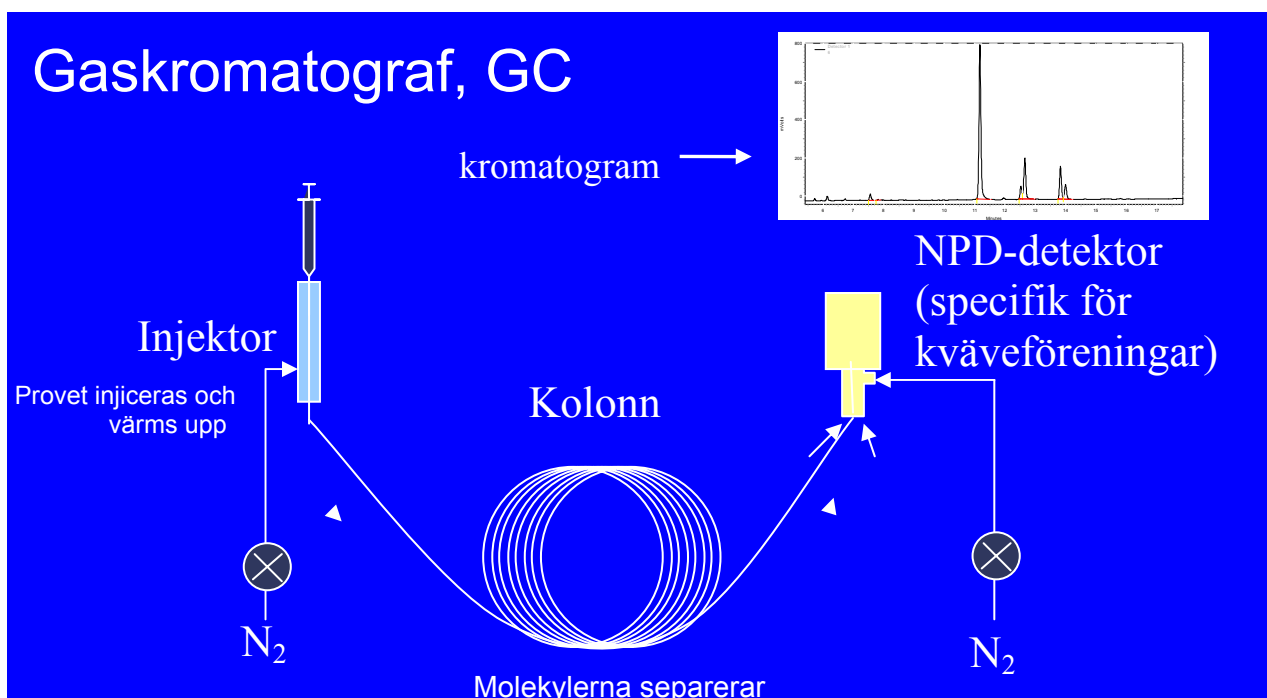
⁵ Totalförsvartets Ammunitions- och Minröjningscentrum

3 Årets verksamhet

Under denna rubrik beskrivs den forskning och de resultat som producerats under året inom projektet Dofbild. Arbetet med att undersöka om RDX, PETN⁶, tetryl samt HMX går att analysera på befintlig utrustning/material fortsatte, samt optimering av extraktion och analysmetoder med utgångspunkt från den metod som används för detektion av TNT i jordprov (SOP-1003).

3.1 Utprovning av analysparametrar

Nedan beskrivs en utvärdering av befintlig analysutrustning på laboratoriet. I Figur nr 1 visas en schematisk bild av analysinstrumentet som i detta fall är en gaskromatograf, i fortsättningen förkortat som GC.



Figur 1. Schematisk beskrivning av en gaskromatograf, GC

3.1.1 Test av detektor

FOI har tillgång till två likvärdiga kvävekänsliga detektorer från olika tillverkare. Denna typ av detektor passar för explosivämnen eftersom de är kväverika föreningar. Alla ämnen av intresse kan detekteras på båda proverna men utvärderingen samt optimeringsarbetet är gjort på en GC av märket Fison med proben TS 1.

En lösning med känd koncentration av det aktuella explosivämnet, en s.k. standardlösning, har injicerats och detekterats 4-6 gånger efter varandra (angivet som antalet=n nedan). Denna procedur genomförs för att kontrollera repeterbarheten hos instrumentet. Resultatet visade på: RDX

⁶ PETN är detsamma som pentyl

medelvärde $97 \% \pm 5 \%$, $n=6$ ggr, PETN medelvärde $100 \% \pm 12 \%$, $n=4$ ggr, TNT medelvärde $97 \% \pm 3 \%$, $n=6$ ggr.

3.1.2 Test av kolonner

Kolonnen är den del av instrumentet där separationen av de ämnen som injicerats sker (se figur 1). Bäst resultat får man med kort kolonn belagd med ett tunt ytskikt. Optimeringsarbetet är gjort på en kolonn med beteckningen DB-1701, ca 5 m lång med en innerdiameter på 0,25 mm och ett 0,15 μm tjockt ytskikt, vilket gav bäst form på explosivämnestoppen i kromatogrammet (se exempel i fig. 1). Kromatogrammet visar molekyler som efter separation kommer ut från kolonnen. Det ger då en signal i detektorn som resulterar i en topp i kromatogrammet. För att responsen i detektorn för ett explosivämne ska vara acceptabel får inte förloppet ta för lång tid. Ett utdraget tidsförlopp resulterar i en bred topp i kromatogrammet. En alltför utdragen d.v.s. bred topp är svår att areabestämna och därmed blir reproducerbarheten dålig och detektionsnivån blir försämrad. Ytan under en topp i kromatogrammet är proportionerlig mot ämnets koncentration. Kolonnen sitter inne i en ugn och ett temperaturprogram med en ökning av $30^\circ\text{C}/\text{minut}$ eller $40^\circ\text{C}/\text{minut}$ används för att få en smalare explosivämnestopp, vilket är något som eftersträvas.

Följande kolonner och längder är testade. Filmtjockleken, d.v.s. ytskiktet på kolonnen varierar mellan 0,15 μm och 0,32 μm :

DB-5MS: 5 m och 30 m

HP-5: 30 m

DB-1: 5 m, 7 m, 20 m och 30 m

DB-1301: 30 m

XLB: 3 m och 30 m

DB-225: 30 m

DB-1701: 30 m, 15 m, 10 m samt 5 m

Problemet har varit att hitta en kolonn som ger ett bättre kromatogram för PETN och RDX än vad DB-1701 gör. Samtliga kromatogram har jämförts med de från DB-1701. Ingen av ovanstående kolonner ger bättre toppform än DB-1701 när den är 5 meter lång, har en innerdiameter på 0,25 mm med en filmtjocklek på 0,15 μm . Analys på kolonnerna har gjorts med olika temperaturprogram och gasflöden. Parametrar som påverkar kromatografin (toppens form) är kolonnens längd, ytbeläggningens tjocklek och kemiska sammansättning, substansens fysikaliska egenskaper, temperaturgradienten (d.v.s. den hastighet med vilken kolonnen värms upp) samt gasflödet genom kolonnen. Formen på explosivämnestoppen blir bättre när man kortar kolonnen

och kör med snabb uppvärmning (30-40°C/min). Gasflödet genom kolonnen har inte lika stort inflytande på toppens utseende. När man kortar kolonnen blir separationen mellan topparna sämre men de separerar tillräckligt bra från varandra med en 5 m lång DB-1701. Dock separerar inte mixen på en så kort kolonn med ett snabbt temperaturprogram.

3.1.3 Test av lösningsmedel

För att kunna analysera explosivämnen måste man hitta ett lämpligt lösningsmedel att lösa upp dem i. Därefter kan lösningen injiceras in i en GC.

Tabell 1. Test av explosivämnens löslighet i olika lösningsmedel:

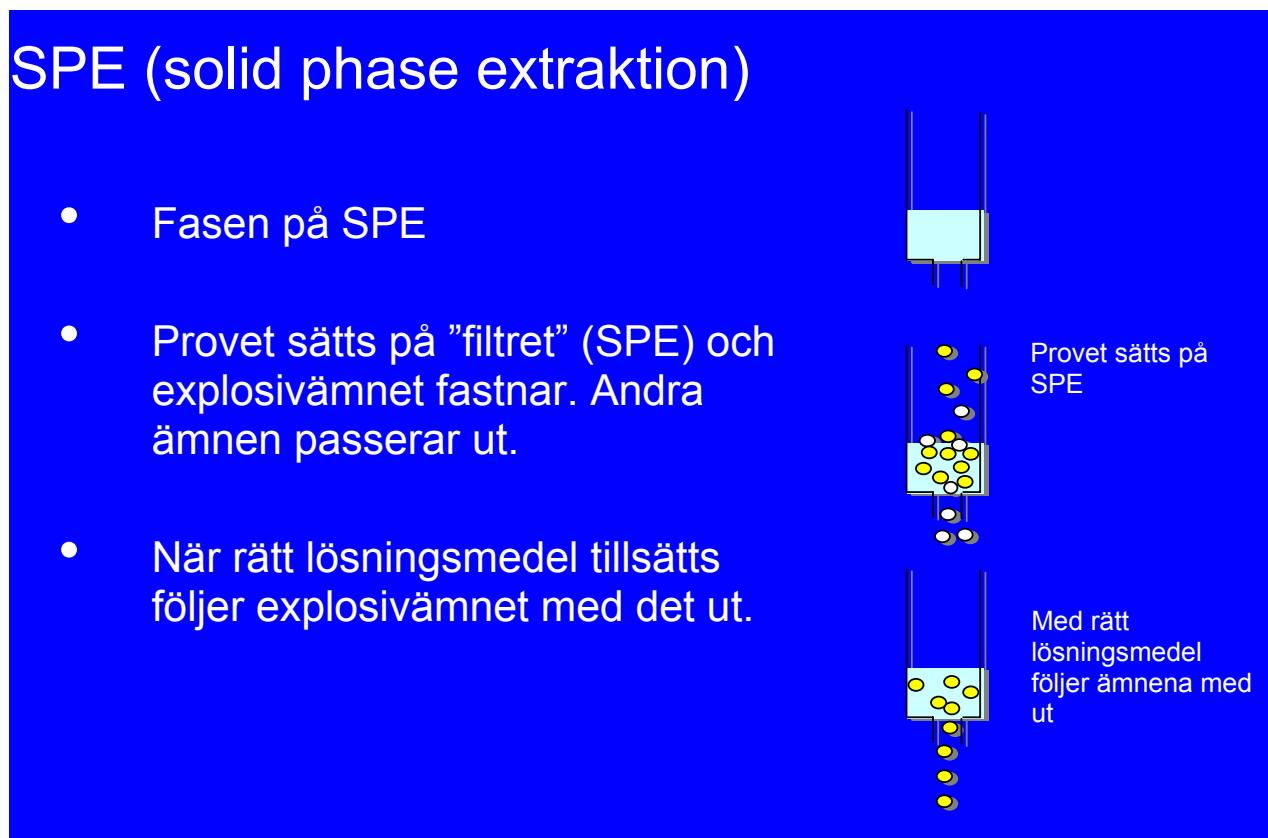
	acetone	etanol	toluen	THF	metanol	MTBE
RDX, ren	Löser sig helt.	Kristaller ligger kvar på botten.	Kristaller ligger kvar på botten. Sämre än etanol.	Bättre än i etanol men inte lika bra som acetone.	Kristaller ligger kvar på botten	Kristaller ligger kvar på botten
pentyl, ren	Löser sig helt	Kristaller ligger kvar på botten.	Löser sig helt.	Löser sig helt.	Kristaller ligger kvar på botten.	Kristaller ligger kvar på botten.
tetryl, ren	Löser sig helt	Kristaller ligger kvar på botten.	Kristaller ligger kvar på botten.	Löser sig helt.	Kristaller ligger kvar på botten.	Kristaller ligger kvar på botten.
HMX	Löser sig helt efter ett tag	Kristaller ligger kvar på botten	Kristaller ligger kvar på botten	Kristaller ligger kvar på botten	Kristaller ligger kvar på botten	Kristaller ligger kvar på botten

En gaskromatograf med kvävedetektor användes för att analysera explosivämnenas löslighet i olika lösningsmedel. Lösningarna med explosivämnen fick stå i 24 timmar och analyserades därefter igen. Det visade sig att även efter 24 timmar kvarstod det en viss löslighet för dessa explosivämnen i samtliga av de undersökta lösningsmedlen.

3.1.4 Test av SPE (Solid Phase Extraction) - extraktionssteget

I extraktionssteget renas och koncentreras provet. En SPE fungerar som en liten kolonn eller filter i miniatyr, vilken fångar upp och separerar explosivämnet från övriga delar i provet som tvättas ut. Det som tvättas ut är t.ex. föroreningar i form av humusämnen och salter. Explosivämnet samlas upp på SPE: n och koncentreras därigenom, innan den sköljs ur med ett lösningsmedel som får explosivämnet att lossna från SPE-fasen (fyllningen i SPE-filtret/kolonnen) se processbeskrivning

i figur 2. Olika volymer och temperatur undersöks för att bestämma vilka lösningsmedel och vilka temperaturer som ska användas för att få loss ämnena från SPE: s



Figur 2. Schematisk beskrivning av koncentrerings och rening av explosivämnet i ett pro, med hjälp av SPE

SPE: s från Varian med Nexus-fas 30mg/10ml testas på samtliga explosivämnen. Det är samma SPE som används vid extraktion av TNT. SPE: s förbehandlas med 3 ml aceton samt 3 ml buffert för att tvätta bort föroreningar som kommer från fasen i SPE: s.

Följande lösningsmedel har provats för att eluera av ämnena: aceton, toluen, etanol, metanol, THF⁷, MTBE⁸. Variation av volym, elueringshastighet samt temperatur på lösningen har gjorts för att hitta optimala förhållanden.

Ämnena "spikas", d.v.s. tillsätts i 25 ml 0,1 M fosfatbuffert med pH 8.0 och lösningsmedlet får avdunsta i 1 timme. Bufferten dras igenom en SPE som förbehandlats med aceton och buffert. SPE: s sköljs med vatten så att saltet från bufferten försvinner och torkas med kvävgas.

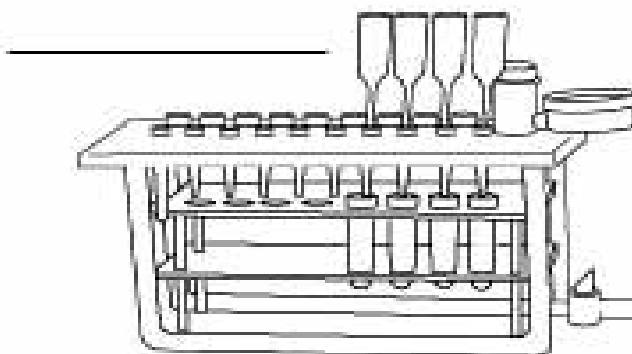
3.1.5 Eluering⁹ med optimerad metod

När ett explosivämne fångas upp och koncentrerats på en SPE är nästa steg i processen att få loss explosivämnet igen. Processen visas i Figur 3. Vid optimering visade det sig att värme och tid

⁷ Tetrahydrofuran

⁸ MTBE står för Metylttertbutyleter

spelar stor roll för vilket utbyte man får. Utbytet representerar hur stor del av den tillsatta mängden explosivämne som kan elueras ut. När man eluerar med SPE: s i värmeblock vid 40-60° blir utbytet betydligt bättre än om elueringen sker vid rumstemperatur. Varianter på volym och temperatur har undersökts för att se vad som ger jämnast och bäst utbyte.



Figur 3. Explosivämnet koncentreras och renas på en SPE, försöksupställning med SPE

Olika lösningsmedel provas för att se vilket utbyte man får. Samtliga explosivämnen som spikas (tillsätts) på buffert och därefter på en SPE kommer ut till 90-100 % med optimerat elueringssteg (toluen 60°C i 30 minuter samt 3 ml aceton vid 50°C under 30 minuter). Övriga lösningsmedel ger sämre utbyte vid eluering vid 50°C under 30 minuter, förutom THF för RDX. Eftersom utbytet ändå är bra med optimerad eluering används den till alla och kan då behandlas tillsammans med TNT. Resultatet visas i tabell 2.

Tabell 2. Resultat där utbytet av explosivämnet med respektive lösningsmedel anges i %

	MeOH	Aceton	THF	MTBE	Toluen	Toluen/aceton
RDX	54	70	98	54	80	93
PETN	116	88	104	64	76	94
tetryl	40	41	67	22	67	99

Optimerad elueringsmetod: bäst resultat ger 600µl Toluen (60°C) under 30 min samt 3 ml aceton (50°C) under 30 min. Värmeblock används och acetonen dunstas bort.

3.1.6 Optimering av MAE-steget (mikrovågsextraktion)

⁹ Eluering är processen där något sköljs/tvättas ur, i detta fall är det proceduren för att få lös explosivämnet från SPE:n

När en buffert får en tillsats av RDX, PETN samt tetryl och analyseras med GC enligt nuvarande program (500W i 5min och sedan prog 1: 900W i 5min vid 80°C + prog 2: 500W i 10 min vid 80°C) och därefter tillsätts direkt på en förbehandlad SPE och elueras med optimerad elueringsmetod varierar resultatet vilket betyder att det är problem med repeterbarheten.

Om RDX, tetryl och PETN sedan tillsätts till sand blir utbytet ännu lägre och tanken på att köra de nya explosivämnen med nuvarande metod övergavs och varje ämne optimerades för sig.

3.2 Utvärdering och optimering av befintlig extraktions- och analysmetod för olika explosivämnen

Under detta avsnitt beskrivs försöken med att utvärdera och optimera extraktions- och analysmetoder för några explosivämnen.

3.2.1 RDX

Ren och torkad RDX utan flegmatiseringsmedel¹⁰ ger bra toppform på GC-kolonnen DB-1701 när denna är kort. På lång kolonn blir toppen bred och går inte att integrera, vilket krävs för haltbestämning. Detektionsnivån för RDX är ca 0,8 ng/analys. När RDX sätts till buffert, vilken sätts på SPE och sedan elueras med optimerad metod blir utbytet 90 %. Med THF vid 50°C i 20 min blir utbytet 98 %.

Spikas buffert med RDX och körs i mikrovågsugnen enligt standardprogrammet (SOP-1003) för att sedan sättas på SPE och elueras enligt optimerad metod ligger utbytet mellan 31 och 75 %.

Spikas RDX på sand och extraheras med MAE enligt SOP-1003 med optimerad elueringsmetod blir utbytet ännu lägre, 0-20 %. Högre temperatur vid MAE (120°C samt 130°C) ger inte bättre utbyte.

Extraktionen av RDX har optimerats genom tillsats av aceton, dels i buffert, dels i olika mängd i sköljsteget vid filtreringen. Utbytet blir sämre när man tillsätter aceton och resultaten blir mycket ojämna. Att tillsätta mer aceton i sköljsteget vid filtrering för att lösa ut ämnena ger inte ökat utbyte. Det kan bero på att ämnena finns i acetonen och därför inte fastnar på SPE vid koncentreringssteget. Värdena för RDX skiljer mer än 100 % i dubbelproven.

RDX löst i aceton värmdes till 80°C och analyserades före värmning samt efter 10, 20 och 30 min vid 80°C. Toppformen på RDX är oförändrad och det finns inga andra toppar som tyder på att

¹⁰ Flegmatiseringsmedel tillsätts explosivämnen för att göra det säkrare att hantera

RDX skulle falla sönder vid värme. När RDX körs i MAE vid 60°, 400W i 10 och 30 min ökar utbytet lite (ca 70 % både i buffert och på sand).

3.2.2 HMX

HMX är mer svårslösligt i de lösningsmedel som provats, i jämförelse med de andra ämnena. Det går ej att kvantifiera HMX pga kromatogrammets utseende. Den kromatografiska toppen för HMX blir väldigt osymmetrisk och utdragen. Den blir inte bättre oavsett vilken kolonn, längd eller fas som används. För att se om även HMX kommer ut vid eluering från SPE analyseras provet med LC-MS och utbytet blir då ca 80 % vid optimerad eluering.

3.2.3 PETN (Pentyl)

PETN med olika tillsatser har undersökts, PETN 5, PETN 20, PETN från stubin samt

PETN NSP 12 (ren fuktad). Vid GC-analys ser kromatogrammen likvärdiga ut oavsett tillsats. Detektionsnivå för PETN 5 är ca 100 ng/analys. För analys av PETN krävs en kort kolonn, max 5 m med en tunn ytfilm (0, 15µm). Kromatogrammet för PETN visar på en osymmetrisk top, vilket skulle kunna bero på termiskt sönderfall eller föroreningar.

Spikad i buffert ger PETN nära 100 % i utbyte med optimerad elueringsmetod. Vid tillsats i sand, körd i MAE enligt SOP-1003 och med 3 ml aceton i bufferten, därefter tillsatt på SPE och eluerad med optimerad metod ger utbytet 80 %. Högre temperatur i MAE (120 samt 130°C) ger inte bättre utbyte. Lägre temperatur i MAE (60° vid 400W i 10-30 minuter) ger ett utbyte på 60-80 %. Tillsats av aceton i bufferten vid MAE-steget ger ett högre utbyte.

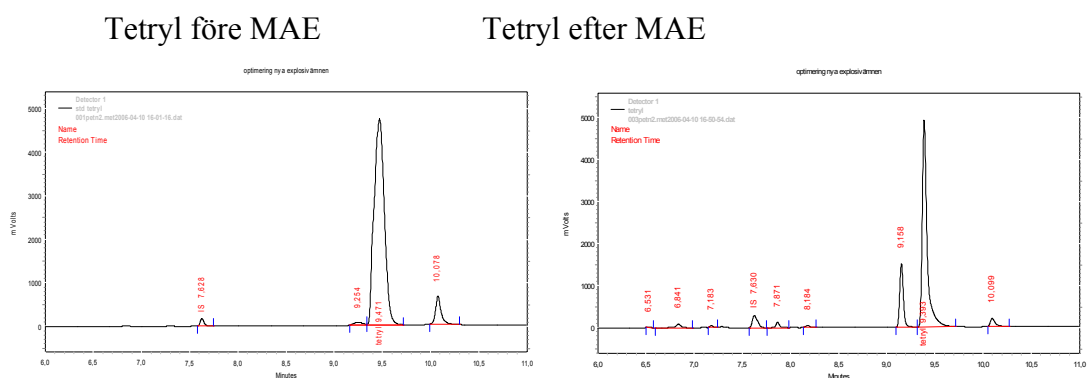
3.2.4 Tetryl

Tetryl ger tre toppar när den analyseras. Antingen sönderfaller den vid analysen eller innehåller den föroreningar som syns vid GC-analysen. Tetryl som omkristalliserats ur olika lösningsmedel analyserades. Den reningsmetod som fungerade bäst var att först omkristallisera tetrylen ur diklorethan, följt av omkristallisation ur aceton. Samtliga prover analyseras på DB-1701 (5 m, 40°C/min). Vid långsam temperaturökning (5°C/min), finns endast en topp. Detta tyder på att övriga toppar orsakats av termiskt sönderfall.

När tetryl spikas på SPE och i buffert ger den nära 100 % utbyte vid optimerad elueringsmetod och GC-analys med temperaturstegring på 40°C/minut. På spikad sand efter extraktion i MAE enligt SOP-1003 med optimerad elueringsmetod är utbytet 35-40 %.

Tetryl spikas på sand och körs i MAE vid 120°C i 15 min. Extraktet sätts på SPE och elueras med optimerad elueringsmetod. Provet analyseras sedan på DB-1701 (ca 7 m lång 20°C/min 50-

280°C). Utbytet blir 22-27 %. Den vanligtvis lilla topp, som kommer ut före tetryl från kolonnen, blir stor efter extraktion i MAE, se Figur 4. Även detta tyder på att tetryl är ett värmekänsligt ämne¹¹.



Figur 4. Vid lägre temp i MAE blir toppen före den stora toppen mindre och utbytet runt 60 %.

3.3 Provtagning av explosivämnen i luft och vatten

I följande text beskrivs utprovning av metoder för provtagning av explosivämnen i luft och vatten.

3.3.1 Provtagning från luft

Inledande försök har utförts för att studera om explosivämnena RDX, HMX, PETN och tetryl, antingen bundna på partiklar eller som ångor, kan samlas in på ett filter och därefter sköljas ut och analyseras med tillräckligt bra detektionsgränser. Faktorer som påverkar transportprocessen av explosivämnen till luft är höljet som innesluter explosivämnet och substansens ångtryck. Ett ämnes ångtryck beskriver hur mycket av detta ämne som kan finnas i luften vid viss temperatur, luftfuktighet och tryck.

Många explosivämnen har ett lågt eller mycket lågt ångtryck. Detta medför att koncentrationen i luften är mycket låg. För dessa ämnen kan den enda möjligheten att samla in dem vara om de är bundna till luftburna partiklar. Ytterligare en möjlighet är att själva explosivämnet är tillräckligt finfördelat för att virvlas upp i luften och därefter samlas upp på filtret.

¹¹ Tetryl sönderfaller vid 185-195°C, J. Köhler, R. Meyer. (1993). Explosives, Fourth, revised and extended edition.

I Tabell 2 visas ångtrycket för några vanliga explosivämnen. TATP visas också, eftersom det bl.a. för preparatsökhundsverksamheten är en intressant substans.

Tabell 2. Ångtryck för några vanliga explosivämnen¹²

Explosivämne	Formel	Ångtryck vid 25°C (mm Hg)
Triacetontriperoxid (TATP)	C ₃ H ₆ O ₆	3,7 x 10 ⁻¹
Dinitrotoluen (2,4-DNT)	C ₇ H ₆ N ₂ O ₄	2,1 x 10 ⁻⁴
Trotyl (TNT)	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	3,0 x 10 ⁻⁶
Hexogen (RDX)	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	1,4 x 10 ⁻⁹
Tetryl	C ₅ H ₇ N ₇ O ₈	5,7 x 10 ⁻⁹
Pentyl (PETN)	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	3,8 x 10 ⁻¹⁰
Oktogen (HMX)	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	1,6 x 10 ⁻¹³

Under året har ett GC-MS analysinstrument installerats på FOI. Denna utrustning är egentligen avsedd för och finansierad av ett annat projekt (OSP). Doftbildsprojektet kommer dock att kunna köpa analystid på detta instrument.

Insamling och analys av partiklar ställer höga krav på luftprovtagningsutrustningen. Filtret får inte släppa igenom intressanta partiklar eller molekyler. Filtret måste också ha tillräcklig kapacitet för att filtrera stora luftvolym, p.g.a. de låga koncentrationerna av explosivämnen i luft¹³. Detta medför också att analysutrustningen måste ha en tillräckligt låg detektionsnivå.

I ett tidigare samarbete mellan FOI och Stockholms Universitet utvärderades ett filter, som finns att köpa kommersiellt. Filtret är utvecklat för att fånga upp molekyler i vatten. Det visade sig att filtret även effektivt fångade in molekyler i gasfas, i vårt fall från luften. Provtagaren har även utvärderats med avseende på insamling av partiklar. Membranet fungerade som ett totalfilter för partiklar ner till en storlek på 8 nm¹⁴. En enkel och snabb extraktionsmetod finns sedan tidigare¹⁵.

¹² R. J. Harper, J. R. Almirall, K. G. Furton. (2005). *Talanta*. 67, 313-327

¹³ C. Sánchez, H. Carlsson, A. Colmsjö, C. Crescenzi, E. Battle. (2003). *Anal. Chem.* 75, 4639-4645

¹⁴ H. Carlsson, opublicerade data

¹⁵ L. Sarholm, H. Carlsson, E. Holmgren, M. Brantlind, M. Ericsson. (2003). FOI-R—0923—SE



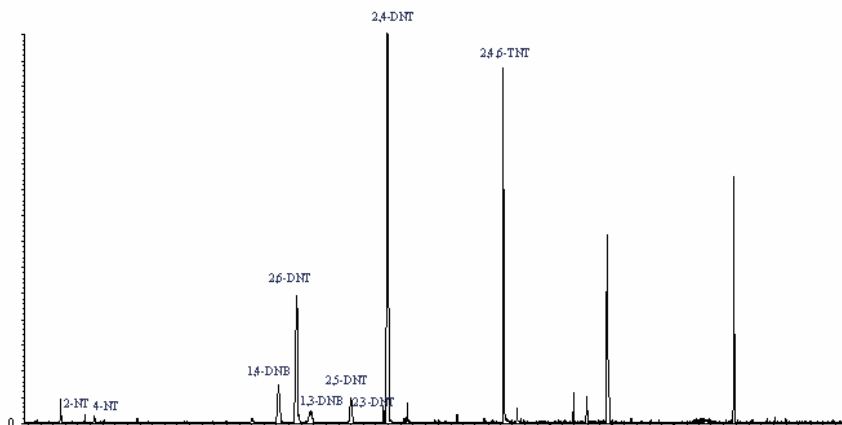
Figur 5. Provtagningsutrustning. De övre bilderna visar provtagningssträtt och luftpump. De nedre visar filter och filterhållare.

3.3.2 Kvalitativ analys av innehållet från luftfilter med GC-MS.

En GC-MS-metod är för närvarande under validering. Genom att använda en masspektrometer som detektor fås en direkt identifiering av molekylerna. Med en speciell teknik som kallas NCI (Negative Chemical Ionisation) fås en extremt låg detektionsnivå i området, 10×10^{-14} g för explosivämnen som är möjliga att analysera med GC-MS. Pentyl och HMX är instabila vid hög temperatur och därför analyseras dessa med LC-MS.

Vid luftprovtagningen användes en luftpump som ger ett flöde på 25 liter/minut, vilket gör det möjligt att under kort tid samla en stor volym luft. Objektet som skall undersökas placeras under en stålträtt (Figur 5), därefter monteras filtret på tratten och pumpen startas. I det aktuella försöket som visas (Figur 6) har filtret samlat luft under två timmar, vilket motsvarar tre kubikmeter luft. Analysen med GC-MS-utrustningen visade detekterbara mängder av TNT och ett antal relaterade föreningar¹⁶. Detta försök visar att det fungerar att detektera en doftbild från industritillverkad TNT. Motsvarande försök kommer att utföras på HMX, RDX, pentyl (PETN) och tetryl. Med stor sannolikhet blir det svårt att hitta dessa ämnen i luftfasen, p.g.a. de låga ångtrycken. I likhet med TNT kan dessa ämnens föroreningar sannolikt hittas i luft. Resultatet visar att det är fullt möjligt att ta en doftbild av ämnen som läcker från ett objekt. Förutom explosivämnesrelaterade ämnen finns det en mängd andra för närvarande oidentifierade substanser.

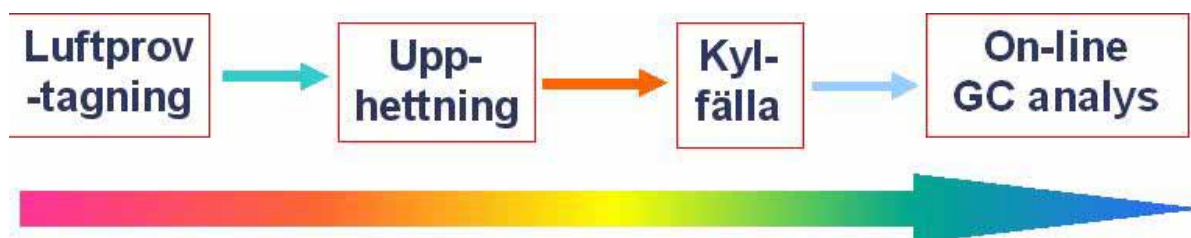
¹⁶ Förutom TNT hittades följande föreningar: 2-NT, 3-NT, 1,3-DNB, 1,4-DNB, 2,3-DNT, 2,4-DNT, 2,5-DNT och 2,6-DNT. Samtliga dessa är biprodukter från produktionen av TNT.



Figur 6. Kromatogram från analys med GC-MS av innehållet från ett filter som samlat molekyler i gasfas ovanför en mina laddad med military grade TNT

3.3.3 Termisk desorption från SPE-faser

Explosivämnesmolekyler kan även samlas in från luft på SPE-faser. Då koncentrationerna av explosivämnen i luft är mycket låga, som nämnts ovan, är det fördelaktigt att kunna använda hela provet och inte bara injicera en delvolym av ett extrakt. Ett sätt att uppnå detta är att värma loss molekylerna från en SPE-fas och sedan leda dessa in i analysinstrumentet. Detta kallas termisk desorption (ATD).



Figur 7. Schematisk beskrivning av termisk desorption

Under året har olika SPE-faser utvärderats¹⁷. En lösning av RDX, 2,4-DNT och TNT sattes på fasen och fick sedan dunsta. Olika temperaturprogram användes för att se hur hårt dessa ämnen bundit till fasen och vid vilken temperatur de släpper från densamma. Arbetet koncentrerades på att hitta en bra separation för de olika ämnena och hitta ett bra, reproducerbart sätt att tillsätta ämnena på fasen för att underlätta utvärdering av resultaten. Följande ATD-inställningar gav bäst resultat: Luft pumpas en minut genom röret. Fasen värms till 250°C i 60 min. Molekylerna som då frisätts fångas i en köldfälla vid -30°C. Därefter värms den med 40°C/s till 280°C. En ventil öppnas och molekylerna i gasfas pumpas över till GC-kolonnen under 1 minut. Ventilens

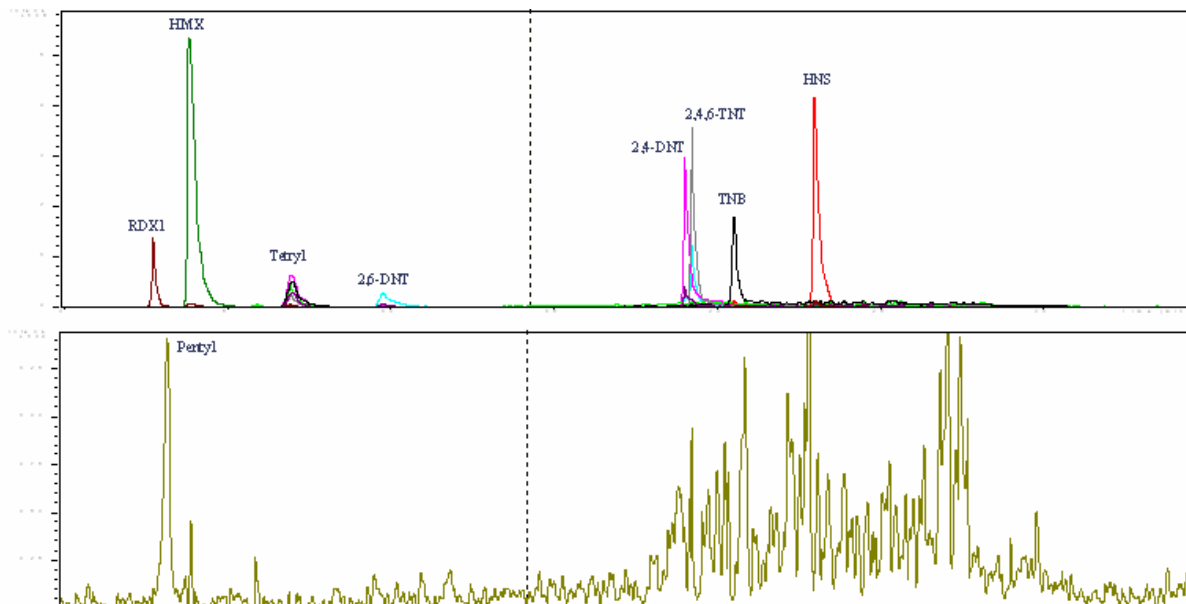
¹⁷ Tenax, Nexus, C18, ENV+ och olika grafit-faser

temperatur är 205°C och överföringskapillären till GC-kolonnen håller en temperatur på 150°C. GC-analysen inleds vid 125°C i 3 min. Sedan höjs först temperaturen med 10°C/min till 150°C, sedan med 5°C/min till 250°C och slutligen 30°C/min till 280°C. Temperaturen hålls sedan konstant i 5 minuter. Detta fungerar för de ämnen vi hittills undersökt, RDX, 2,4-DNT och TNT.

3.3.4 Kvalitativ analys av innehållet från luftfilter innehållande partikelbundna explosivämnen

För att undersöka filtrets förmåga att samla in små partiklar sattes en känd mängd av olika explosivämnen med lågt ångtryck¹⁸ till finkornig sand. Därefter togs luftprov ovanför sanden. Med jämna mellanrum blåstes en luftstråle på sandytan för att röra upp partiklar som sedan fastnade på filtret. Resultatet visar att explosivämnen med lågt ångtryck kan samlas i ett luftfilter om de är bundna på partiklar, se Figur 9.

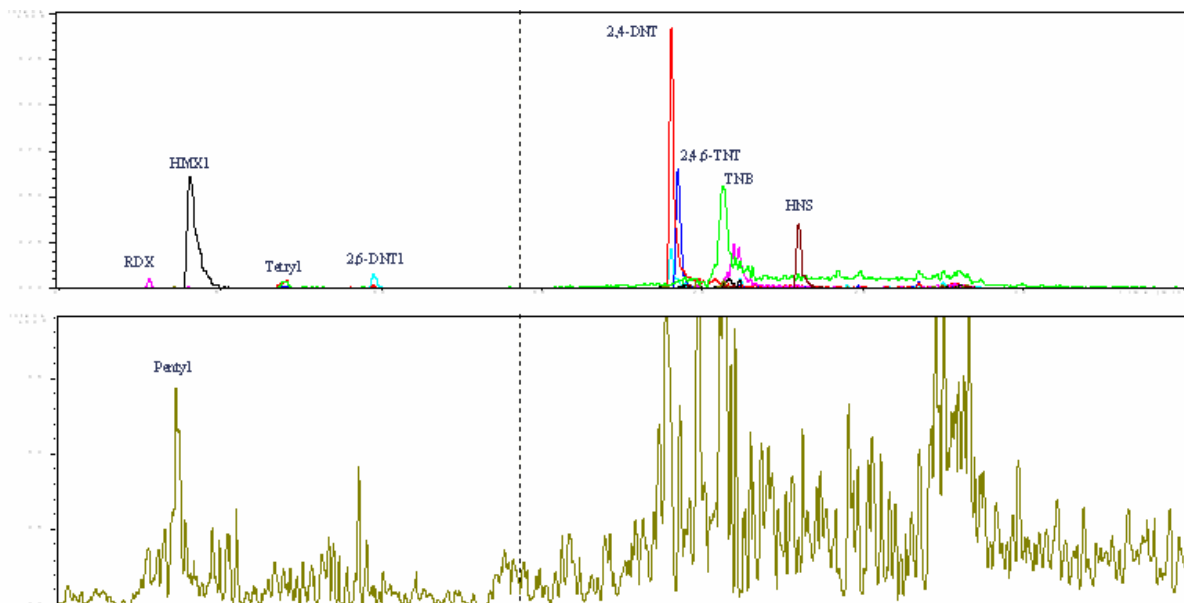
För att bekräfta att både partikelbundna och gasformiga explosivämnen kan insamlas på samma filter tillsattes några ämnen med väsentligt högre ångtryck¹⁹. Luftprov togs och filtren analyserades därefter med LC-MS, se Figur 9. En jämförelse av dessa resultat med analysen av den referenslösning som sattes till sanden, se Figur 8, visar en överrepresentation av ämnen med högt ångtryck i analysen från sanden. I analysen av referenslösningen har HMX en högre topp än 2,4-DNT. Förhållandet i analysen från den kombinerade luft- och partikelinsamlingsförsöket är det motsatta. Detta ligger helt i linje med att HMX har lägst- och 2,4-DNT högst ångtryck av de ingående substanserna.



Figur 8. Kromatogram från analys med LC-MS av en referenslösning bestående av: HMX, RDX, Tetryl, PETN, HNS 2,4, 6-TNT, TNB, 2,4-DNT och 2,6-DNT

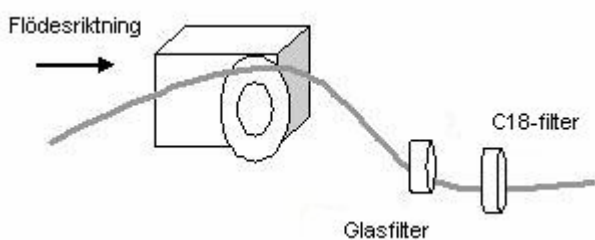
¹⁸ HMX, RDX, Tetryl, PETN och HNS

¹⁹ 2,4,6-TNT, TNB, 2,4-DNT och 2,6-DNT



Figur 9. Kromatogram från analys med LC-MS av RDX, Tetryl, 2,4-DNT, TNB, 2,4, 6-TNT tillsatta i sand

Hittills har provtagning i vatten krävt hantering av stora vattenvolymer och transporter av dessa. Eventuella explosivämnen i vattnet har sedan fångats på en SPE. För att underlätta arbetet undersöktes möjligheten att använda filter för att fånga upp intressanta substanser på plats vid provtagningen. Filtren som används är av typen C18. Dessa är kommersiellt tillgängliga. Då denna metod används behövs endast filtren föras till laboratoriet för analys. Vid provtagning av sjövattnet bör även ett glasfilter användas för att fånga upp partiklar, som annars skulle sätta igen C18-filtret, se Figur 10. Arbetet beskrivs nedan.



Figur 10. System för vattenprovtagning av explosivämnen

Metoden undersöktes genom att två liter vatten spikas med 50 μ l TNT-vattenlösning med en koncentration av ca 40 μ g/ml. Vattnet pumpas genom ett C18-filter med hjälp av filterhållare i glas och sugkolv.

Extraktion av explosivämnen från C18-filtret har utvärderats med två olika lösningsmedel: aceton och metanol. Denna metod har tidigare validerats för strykprov²⁰, där likadana filter använts. Resultaten visade att båda dessa lösningsmedel fullständigt sköljer ut TNT från filtret.

3.4 Soxhletextraktion av explosivämnen

Här beskrivs det arbete som genomförts för att utvärdera soxhletextraktion för prover innehållande explosivämnen.

3.4.1 Bakgrund

I en jämförande studie av extraktion av explosivämnen från jord, skriven av Jenkins²¹ *et al.*, var Soxhlet-extraktion den som verkade mest lovande. Denna extraktionsteknik har i många år använts inom miljökemi för extraktion av jord. I denna studie¹⁷ hade dessutom olika lösningsmedel och extraktionstider jämförts. Acetonitril var det lösningsmedel som fungerade bäst och därför användes detta lösningsmedel även i våra försök. Olika explosivämnen extraheras olika snabbt. Den amerikanska forskargruppen¹⁷ extraherade sina prover i ett dygn.

Tekniken bygger på att kokvarmt lösningsmedel droppar ned på den jord som ska extraheras och sedan rinner tillbaka till den kolv det ursprungligen kom ifrån via en sifonarm, se Figur 11. Jorden ligger i en hylsa, vilken håller kvar jordpartiklar och andra olösliga ämnen. Processen sker i cykler och extraktorer av olika volym finns att tillgå. Då en cykel fullgjorts börjar lösningsmedlet åter att koka, kondensera i kylaren och droppa ned på jorden. Detta fungerar som en destillation och lösningsmedlet är därför rent då det kommer i kontakt med den jord som ska lakas. Då allt förs tillbaka till samma kolv kan stora jordmängder extraheras med en relativt liten volym lösningsmedel. Lösningsmedlet kan sedan indunstas. På detta sätt erhålls ett koncentrerat extrakt.

²⁰ A. Kjellström, L. Sarholm, M. Brantlind, E. Holmgren, S. Ek, A. Woldegiorgis. (2005). FOI-R—1821—SE

²¹ Thomas F. Jenkins, Clarence L. Grant. (1987). *Anal. Chem.* 59, 1326-1331



Figur 11. Soxhletextraktion av jord

Fördelarna med denna metod är stora jordmängder kan extraheras. Den största extraktor som för tillfället finns tillgänglig har en volym av en liter. Vid behov kan större extraktorer specialbeställas. Extraktion av stora provmängder kan vara mycket viktig just vid hantering av jordprover, som misstänks innehålla explosivämnen. Dessa ämnen är ofta mycket heterogent spridda i jorden från exempelvis ett skjutfält. Risken att missa förekomst av explosivämnen avtar med ökad provmängd. En annan metod för att minska denna risk är att homogenisera jorden genom olika malningstekniker.

Vid spårämnesanalys finns många faktorer att ta hänsyn till för att få ett pålitligt resultat. En av dessa är att ytan på vanligt glas innehåller silanolgrupper, som kan fånga upp vissa ämnen. Ett sätt att komma till rätta med detta problem är att ytbehandla glaset, även känt som att deaktivera ytan. Detta kan ske på ett antal olika sätt.

3.4.2 Metodbeskrivning

Extraktion av spikade prover

I de inledande försöken användes en 100 ml Soxhletextraktor. 10 g jord (sand, morän eller lera) spikades med 2 ml av en lösning av olika explosivämnen. Denna jord lades i en Soxhlethylsa, varefter uppställningen monterades. Varje prov extraherades i 24 h med acetonitril. Därefter koncentrerades lösningen tills ett par ml återstod. Detta koncentrat analyserades sedan med LC-MS och GC-MS.

Deaktivering av glas

I en 100 ml flatbottnad kolv hälldes en 5 % lösning av diklordimetylsilan i acetonitril. Denna blandning, där båda komponenterna har närliggande kokpunkter, återloppskokades sedan i 24 h. Därefter sköljdes alla glaskomponenter 3-4 gånger med acetonitril för att ta bort rester från behandlingen.

3.4.3 Resultat och diskussion

I en inledande studie användes en Soxhletextraktor, där glasytan inte deaktiverats. Tre olika jordarter spikades med en referenslösning enligt ovan. Då extrakten analyserades kunde de flesta explosivämnen hittas, dock inte vissa nedbrytningsprodukter från TNT. Detta kunde förklaras med att dessa ämnen innehåller aminogrunder, som kan binda till glasytan och därför ej vara kvar i extraktet.

Kolven, extraktorn och en del av kylaren, d.v.s. alla delar med vilka extraherade ev. explosivämnen eller nedbrytningsprodukter kommer i kontakt, ytbehandlades enligt ovan. Därefter kunde även TNT:s nedbrytningsprodukter extraheras.

3.4.4 Slutsatser

Generellt kan sägas att Soxhletextraktion är en enkel och relativt billig metod med låg arbetsintensitet, då provbearbetningen före extraktion är minimal och arbetsmomenten för att få fram ett färdigt extrakt att analysera är få. Det som kan fördyra processen är hantering och förvaring av stora jordvolymmer, lösningsmedelskostnader och tidsåtgång.

Denna metod ser i nuläget ut att vara lämplig för extraktion av samtliga explosivämnen från jord. En referensmix bestående av flera olika explosivämnen²² tillsattes till jord. Analys visade att alla analyter från referensmixen tillsatta i jorden före extraktionens början kunde detekteras med LC-MS. Detta måste dock utvärderas och kontrolleras med ytterligare verifieringsanalyser.

²² 2,4,6-TNT, 2,3-DNT, 2,4-DNT, 2,5-DNT, 2,6-DNT, 3,4-DNT, 3,5-DNT, TNB, 1,2-DNB, 1,3-DNB, 1,4-DNB, 4-amino-2,6-DNT, 2-amino-4,6-DNT, 2,4-diamino-6-NT, 2,6-diamino-4-NT, HNS, CL20, HMX, RDX, Tetryl, och PETN

4 Slutsatser och framtida arbete

Under året har provtagnings-, extraktions- och analysmetoder för RDX, HMX, pentyl och tetryl utvärderats och förbättrats. Dessa beskrivs nedan var för sig.

Vid ett seminarium i Kista den 21 november presenterades årets resultat för våra kunder. Vissa av dessa resultat visades även på NDRF-konferensen i Trondheim den 23-25 augusti.

4.1 Luftprovtagning

Ovan nämnda substanser kan samlas in på filter och därefter analyseras. Dessa ämnen måste vara bundna till partiklar, då de har ett mycket lågt ångtryck. Metoden har även visat sig fungera för andra explosivämnen, som även kan finnas i ångfas. Denna metod måste dock verifieras före användning i större omfattning, för att avgöra dess möjligheter och begränsningar.

Provtagning med SPE-faser och därpå följande termiska desorption har undersökts. Denna har fördelen att hela provet kan ledas in i analysutrustningen och därmed kan lägre halter detekteras. Nackdelen är långa analystider, ca 1½ timme per prov. Vid extremt låga halter kan detta vara det enda alternativet. Metoden har fungerat för de undersökta explosivämnena, RDX, 2,4-DNT och TNT.

4.2 Vattenprovtagning

En alternativ och mindre arbetskrävande metod har utvecklats. Den använder likadana filter som ovan nämnts vid luftprovtagning. En stor fördel är att provhanteringen underlättas. Nu behöver endast ett filter skickas för analys, istället för stora vattenvolymer. Detta är ett stort framsteg, vilket innebär både praktiska och ekonomiska fördelar.

4.3 Jordextraktion

Vid avveckling av skjutfält har kompositprovtagning visat stor potential. Med förbättrade extraktionsmetoder bör även för projektet Dofbild intressanta ämnen kunna detekteras i jord. Den metod som tidigare utvecklats för extraktion av TNT från jord (MAE) har utvärderats även för aktuella explosivämnen med varierande resultat.

Inledande försök med Soxhletextraktion, som är en vedertagen metod inom analytisk miljökemi, har utförts som ett komplement till MAE. En amerikansk forskargrupp har även utvärderat denna teknik för extraktion av vissa explosivämnen från jord. En stor fördel med denna teknik är att stora provmängder kan extraheras samtidigt med relativt liten arbetsinsats. Stora provmängder innebär att flera kilogram jord kan extraheras, medan många andra metoder endast fungerar i gramskala. Metoden har två huvudsakliga nackdelar. Den ena är att extraktionen tar ett dygn. Den andra är att

det erhållna extraktet innehåller många andra komponenter än explosivämnen. Detta kan smutsa ned analysutrustningen. Dessa problem kan övervinnas med fortsatta studier.

4.4 Framtida arbete

Med den under året införskaffade GC-MS-utrustningen finns stora förhoppningar att förbättra i rapporten beskrivna GC-metoder. Denna utrustning är egentligen avsedd för och finansierad av ett annat projekt (OSP). Doftbildsprojektet kommer dock att kunna köpa analystid på detta instrument. Inledande försök har gett mycket lovande resultat. Arbetet fortsätter och dessa resultat kommer att presenteras i nästa års rapport.

5 Akronymer

CL20	Hexanitrohexaazaisowurtzitan
DNB	Dinitrobensen
DNT	Dinitrotoluen
GC	Gaskromatografi
GICHD	Geneva International Centre for Humanitarian Demining
HMX	Tetranitrotetraazacyklooktan (oktogen)
HNS	Hexanitrostilben
LC	Vätskekromatografi
MAE	Mikrovågsassisterad extraktion
MS	Masspektrometri
NPD	Kväve-fosfor-specifik detektor
NT	Nitrotoluen
OSP	Odour Signature Project
PETN	Pentaerytritoltetranitrat (pentyl)
RDX	Trinitrotriazacyklohexan (hexogen) ²³²⁴
SOP	Handhanvandebeskrivning
SPE	Fastfasextraktion
TATP	Triacetontriperoxid
TNB	Trinitrobensen
TNT	Trinitrotoluen

²³ 2,4,6-TNT, 2,3-DNT, 2,4-DNT, 2,5-DNT, 2,6-DNT, 3,4-DNT, 3,5-DNT, TNB, 1,2-DNB, 1,3-DNB, 1,4-DNB, 4-amino-2,6-DNT, 2-amino-4,6-DNT, 2,4-diamino-6-NT, 2,6-diamino-4-NT, HNS, CL20, HMX, RDX, Tetryl, och PETN

²⁴ 2,4,6-TNT, 2,3-DNT, 2,4-DNT, 2,5-DNT, 2,6-DNT, 3,4-DNT, 3,5-DNT, TNB, 1,2-DNB, 1,3-DNB, 1,4-DNB, 4-amino-2,6-DNT, 2-amino-4,6-DNT, 2,4-diamino-6-NT, 2,6-diamino-4-NT, HNS, CL20, HMX, RDX, Tetryl, och PETN