

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

"...efforts must be made to understand this "signature science" in parallel to the technology development efforts."

"...the ultimate effectiveness of such detection systems under tactical conditions may not be hardware-limited but rather limited by the availability, abundance, persistence and/or spatial distribution of the trace chemical residues they have been designed to detect."

"...the chemistry of the explosive charge is seen as the only common thread linking all IED designs."

Citat hämtat ur forskningsrapport från 2009 finansierad av JIEDDO (se referens 1)

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 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

Projekt Doftbild år 2005-2009

Slutrapport

Titel	Projekt Doftbild år 2005-2009, slutrapport
Title	Odour Signature Project year 2005-2009, final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--2869--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	39 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2009
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E 20515
Godkänd av/Approved by	
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	Defence & Security, Systems and Technology
164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm
	Sweden

Sammanfattning

Denna rapport beskriver Doftbildsprojektet, vilket pågått under åren 2005-2009. Tillsammans med förbättrade provtagningsmetoder för explosivämnen i luft och vatten, har projektet bidragit med kraftfulla verktyg för kontroll av spridning av explosivämnen.

Omvärldens intresse för kunskap om spridning, nedbrytning och doftbilder från explosivämnen har ökat markant. Årets verksamhet har fokuserats på färdigställandet av en ny extraktionsmetod för explosivämnen. Den ger höga utbyten för samtliga av de i projektet utpekade målsubstanserna HMX, RDX, pentyl och tetryl, såväl som för TNT och relaterade ämnen. Upparbetningsstegen innan analys har halverats, vilket ökar kapaciteten. Analystiden för ett prov är ca 10 minuter. Användandet av isotopmärkt internstandard har ökat metodens tillförlitlighet. Den nya metoden kan hantera explosivämneskoncentrationer från spårmängder i pikogramsområdet upp till väldigt höga koncentrationer.

Projektet har genererat nya samarbeten och synergieffekter, vilket resulterat i mer forskning för pengarna. Den direkta nyttan för FM beskrivs också i föreliggande rapport.

Nyckelord: Doftbild, explosivämnen, analys, extraktion

Summary

This report describes the Odour Signature Project, which has been running during the years 2005-2009. Since this is the final report of the project, even the activities during the years 2005-2008 has been described in short.

There has been a noticeable increase of interest concerning knowledge about the odour signature from military explosives. This year the focus has been on validating the new extraction method for explosives. The method has been proved to work for HMX, RDX, PETN and tetryl as well as for TNT and related compounds. It is less work intensive than the present method for TNT, which makes it more facile and faster. The analysis of one sample takes 10 minutes. The use of isotope marked TNT has resulted in an increased quality control of the explosives analysis. The new method can handle samples containing trace amounts of explosives (picogram) up to very high concentrations.

The project has created new cooperation's and synergy effects, which has resulted in added value for the Swedish Armed Forces.

Keywords: Odour signature, explosives, analysis, extraction

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Årets verksamhet	9
2.1	Den nya extraktions- och analysmetoden för explosivämnen	9
2.1.1	FOI:s nya analysmetod i jämförelse med internationellt etablerade metoder	11
2.2	Spridning av RDX, HMX, PETN och tetryl i olika jordarter, i en sluten volym	11
2.3	Förvaring av explosivämne i olika jordarter i rumstemperatur	12
2.3.1	Analysresultat av jorden avseende explosivämnen	13
2.4	Spridning av RDX, HMX, PETN och tetryl i olika jordarter, i en större volym ute i fält	14
2.5	Analysresultat av jorden avseende explosivämnen	15
2.6	Utvärdering av trattar för luft- och partikelinsamling avseende explosivämnesanalys	15
2.7	Jämförelse av doftbilder och tillgång på explosivämnen ovanför minor och IED	19
3	Synergieffekter – relaterade forskningsprojekt	23
4	Sammanfattning av verksamhet år 2005-2008	25
4.1	År 2005	25
4.2	År 2006	26
4.3	År 2007	28
4.4	År 2008	30
5	Praktiska tillämpningar relaterade till Doftbildsprojektet	33
5.1	Avveckling av skjutfält	33
5.2	Riskbedömning vid avveckling av FM-anläggningar	33
5.3	Verifiering av hundars förmåga till explosivämnesdetektion	33
5.3.1	Sökhundar för ammunitionsröjning under vatten	33
5.3.2	Verifiering av minhundar	34
5.4	Framtagning av nya kompletterande träningsmetoder för minhundar och amvapensökhundar	34
5.5	Test av explosivämnesdetektorer	36
6	Slutsatser	38
7	Referenser	39

1 Inledning

Kunskap om explosivämnenas doftbild, den kemiska signaturen, utgör fundamentet för förmågan att bedöma eller utveckla instrument och sensorer för detektion av explosivämnen. Under projektets fem år har värdet av denna kunskap blivit alltmer uppenbar.

Doftbildsprojektets relevans kan åskådliggöras med en vetenskaplig artikel¹ från 2009. I artikeln presenteras fältförsök avseende förutsättningar till taktiskt användande av explosivämnesspår kring IED^a objekt i fält. Det finansierades av JIEDDO^b och i artikeln poängteras följande *”...the chemistry of the explosive charge is seen as the only common thread linking all IED designs.”* Artikeln säger även att *”...the ultimate effectiveness of such detection systems under tactical conditions may not be hardware-limited, but rather limited by the availability, abundance, persistence, and/or spatial distribution of the trace chemical residues they have been designed to detect.”* Och slutligen att *”...efforts must be made to understand this “signature science” in parallel to the technology development efforts.* I stora drag betyder det att explosivämnets kemi är den enda gemensamma nämnaren för alla typer av IED. Den strategiskt viktiga kunskapen enligt författarna är kanske inte relaterat till explosivämnesdetektorn i sig. Den faktiska begränsningen kan istället vara tillgång, koncentration, livslängd och/eller rumslig distribution av de explosivämnesrester som instrumentet är designat för att detektera.

Om ordet ”IED” i forskarnas teori från år 2009 byts mot ”mina” så erhålls en adekvat beskrivning av målsättningen med FOI projektet Landminsystem² som pågick mellan år 2000-2004. Ur ett försvarsmaktsperspektiv har hotbilden skiftat från landminor till IED. Steget från en mina till en IED kan vara kort, då dessa ibland använts som IED anordningar. Trotyl (TNT) var den typ av explosivämne vars signatur och nedbrytning/spridning kring en mina som undersökts. Detta med avsikt att bättre kunna förstå minhundars förutsättning att hitta minor. Valet grundades på den frekventa förekomsten av TNT i minor, vilket även är giltigt för IED objekt i vissa länder.

På samma sätt som beskrivs i artikeln, kanske sensorn inte utgör ”hårdvarubegränsningen” för att detektera minor. Det kan istället vara faktorer som tillgång,

^a IED = Improvised Explosive Ordinance

^b JIEDDO = Joint Improvised Explosive Device Defeat Organization

förekomst, nedbrytning och distribution av explosivämnet från en mina, vilket är det centrala för hundens förmåga. I Doftbildsprojektet har syftet varit, att under år 2005-2009, kartlägga spridning och nedbrytning av några relevanta militära explosivämnen, i första hand hexogen (RDX), oktogen (HMX), pentyl (PETN) och tetryl i olika miljöer. Ämnet TNT används som referensämne då det vid utprovning av nya metodiker är nödvändigt att börja med ett väl studerat ämne. Den huvudsakliga inriktningen i projektet består i att utvärdera och optimera provtagningsmetodik (gas-, partikel-, jord- och vattenfas), utveckla snabba och kostnadseffektiva upparbetningsmetoder, identifiera nedbrytnings- och biprodukter från de utvalda explosivämnena i olika miljöer samt optimera analysmetoder. Kunskap har byggts upp om vilka faktorer som har betydelse för vilka substanser som kommer att finnas i jorden, på partiklar och i luftfasen omkring ett objekt. Vid nedbrytning av explosivämnen i naturlig miljö samverkar en rad olika processer där klimat och jordmån är viktiga faktorer. Det medför att doftbilden från samma typ av explosivämnesobjekt skiljer sig åt beroende på var i världen det ligger nedgrävt. Lokala variationer i nederbörd och temperatur påverkar också tillgången på nedbrytningsprodukter. Det gör kartläggningen av doftbilden till en komplex och omfattande uppgift, då variablerna är så många. Svaren ger möjlighet att förstå förutsättningar och begränsningar när det gäller förmågan att kunna detektera explosiva objekt. Kunskapen utgör basen för både träning av explosivämnessökande hundar, utvärdering av explosivämnesdetektorer och utveckling av nya detektionsmetoder. Viktiga frågeställningar för doftbildsprojektet har varit:

- Hur bryts explosivämnen från minor, IED:er och OXA ned och hur sprids de?
- Hur detekteras explosivämnesinnehållande objekt baserat på kunskap om explosivämnens nedbrytning och spridning?

Själva förutsättningen för kartläggning av explosivämnens nedbrytning och spridning är tillgången till bra verktyg i form av metoder för provtagning och analys. I många fall krävs extremt låga detektionsgränser då spårmängder av explosivämnen och explosivämnesrelaterade substanser måste kunna analyseras. Därför har utveckling av bra analys- och provtagningsmetoder varit en prioriterad del av projektet.

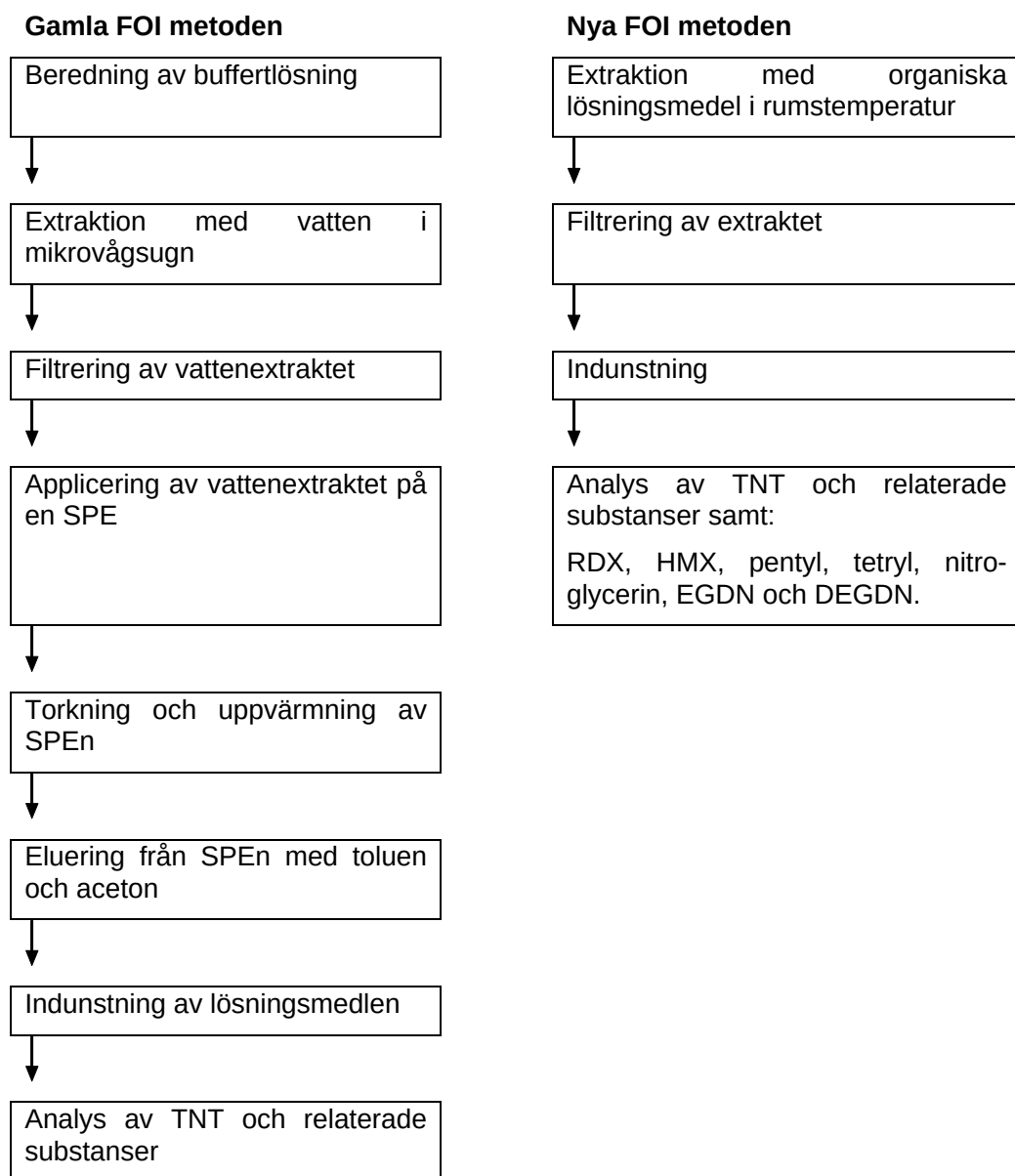
2 Årets verksamhet

2.1 Den nya extraktions- och analysmetoden för explosivämnen

Detta år har fokus legat på färdigställandet av den nya extraktions- och analysmetoden för explosivämnen. Innan en ny extraktionsmetod kan tas i bruk måste den verifieras enligt vedertagen vetenskaplig praxis. De flesta matriser som fångar upp explosivämnen i naturen är besvärliga ur analysynpunkt. Lera, sediment eller jordar innehållande rikligt med humusämnen är speciellt utmanande. Explosivämnena kan vara hårt bundna och svåra att lösgöra. Därför måste det verifieras att en ny extraktionsmetod resulterar i att huvuddelen av explosivämnena går att utvinna ur matrisen. Målet är att minst 90 % av målsubstansen går att utvinna ur respektive prov.

För att utvärdera den nya extraktionsmetodens effektivitet har flera referensjordar innehållande kända mängder av explosivämnen extraherats. En referensjord levereras vid inköp tillsammans med ett certifikat över dess innehåll av explosivämnen. Certifikatet grundas på ett stort antal analyslaboratoriers haltbestämning av de ingående komponenterna enligt en standardmetod. Detta ger många analyser och därmed god statistisk tillförlitlighet hos de framtagna medelvärdena. Standardavvikelser och konfidensintervall finns också med i specifikationerna för de olika jordarna. Då jordarna analyserats med den nya metoden, räknades standardavvikelser fram och halterna jämfördes med specifikationerna. En låg relativ standardavvikelse tyder på god repeterbarhet och 10 % brukar användas som gräns för att avgöra om en metod går att upprepa eller inte.

Resultatet visade att den nya extraktionsmetoden gav halter som låg inom konfidensintervallet eller högre. Det betyder att för vissa explosivämnen gav den nya FOI metoden högre utbyte än standardmetoden som övriga laboratorier använt. Standardavvikelsen låg under 10 %. Detta betyder att den nya analysmetoden för explosivämnen i jord har validerats och kommer därmed att börja användas rutinmässigt. Metoden kommer att utvärderas även för sediment-, vatten- och luftprov. De preliminära resultaten visar att den kommer att fungera väl även för dessa matriser. I figur 1 visas en jämförelse mellan den gamla och den nya FOI metoden för explosivämnesanalys av jordprov.



Figur 1. Jämförelse mellan den gamla och nya FOI metoden för explosivämnesanalys av jordprov.

Den nya metoden har flera fördelar gentemot den gamla, se figur 1. Antalet upparbetningssteg har halverats, vilket medför att kapaciteten kan ökas. Tidigare kunde maximalt 30 jordprov per dag upparbetas. Nu kan, under optimala förutsättningar, uppskattningsvis ca 100 prov per dag upparbetas. Detta om jorden innehåller en stor andel sand och en låg andel humus. En annan fördel med få upparbetningssteg är att

riskerna för kontaminering minskar. Den nya metoden fungerar för fler explosivämnen än TNT och relaterade föreningar samt klarar även prover med höga halter av explosivämnen. Om de extraherade jordarna innehåller mycket låga halter explosivämnen kan dock extrakten behöva koncentreras, dvs. indunstas. För analys av okända prov är den nya analysmetoden idealisk. Det går att göra en screening av innehållet avseende explosivämnen på ca 10 min/prov (extrakt).

2.1.1 FOI:s nya analysmetod i jämförelse med internationellt etablerade metoder

Det kan även vara av intresse att jämföra FOI:s nya analysmetod med de internationellt mest använda metoderna för explosivämnesanalyser. I vetenskapliga artiklar där analys av explosivämnen i jord förekommer, är den vanligast angivna metoden EPA^c metod 8330B³ (den senast reviderade versionen) och EPA metod 8095⁴. Metoden för upparbetning av prover som beskrivs i EPA 8330B innefattar bland annat att jordproven ska malas. Kvarnen måste dock stoppas med jämna mellanrum för att förhindra att provet blir för varmt. Efter homogeniseringen extraheras provet genom att sättas i ett ultraljudsbad i 18 timmar. Förutom att metoden är arbetsam och tidskrävande är det inte orimligt att misstänka förluster av explosivämnen genom den omilda behandlingen. Därefter analyseras extraktet med HPLC-UV^d. Denna metod ger ingen säker identifiering av analyterna. Därför rekommenderas att resultatet konfirmeras via en efterföljande analys med metod EPA metod 8095. Den använder sig av en annan teknik (GC-EC)^e. Förutom en tillförlitlig identifiering av explosivämnen i ett prov har FOI:s nya metod en detektionsgräns som är ca 10000 gånger lägre än med EPA metod 8330B. Detta ger stora fördelar då ett explosivämnesobjekt endast genererar extremt låga halter när det ligger i vatten, eller i luften ovanför det om det är nedgrävt.

2.2 Spridning av RDX, HMX, PETN och tetryl i olika jordarter, i en sluten volym

För att undersöka spridning av målsubstanserna i Doftbilda-projektet, hexogen (RDX), oktogen (HMX), pentyl (PETN) och tetryl i olika jordar påbörjades två olika försök under år 2004.

^c EPA = Environmental Protecting Agency, vilket är USA:s motsvarighet till vårt Naturvårdsverk.

^d HPLC= High Pressure Liquid Chromatography och UV = Ultra Violette, dvs. detektorn arbetar med hjälp av ultraviolett strålning.

^e GC-EC = Gas Chromatography och en Electron Capture detektor

2.3 Förvaring av explosivämne i olika jordarter i rumstemperatur

I ett plaströr med lock läggs en tablett av pressat explosivämne (0,4g). Plaströret placeras i en glasburk som innehåller jord och har tättslutande lock. Glasburken placeras sedan i exikator^f. Det är två burkar/ämne och jordsort. Den ena jorden är lätt fuktad och den andra jorden är torr. När provuttag sker tas röret bort ur glaströret och jorden där röret legat analyseras.

Explosivämnena som ingår i försöket:

Hexogen (RDX)	RDX NSH 481
Oktogen (HMX)	PBXN5 NSI-3-53 CHNR. 2/95
Pentyl (PETN)	PETN NSP 43 90/10
Tetryl	F1329-090470

Explosivämnena pressades till tabletter under maj 2004. (diameter 9mm, höjd 5mm, tryck 400kp, vikt 0,4g/st). I figur 2 visas en bild på plaströren.



Figur 2. På bilden visas plaströren innehållande explosivämne pressat till en tablett.

Jordarter som ingår i försöket: Det är fem olika jordarter som ingått i försöket: lera, laterit, magnetit, morän och sand.

Exikatorerna med glasburkarna står inomhus i en byggnad som håller en temperatur på mellan 15-20°C. Figur 3 visar bilder på burkarna med jord där plaströret med explosivämne stoppats ned i mitten av burken. Provtagning från burkarna sker i oktober

^f En exikator är ett glaskärl med tättslutande lock och torkmedel i botten. Det är till för att skapa en konstant atmosfär inne i kärlet.

2009 då den nya metoden för analys, av de i experimentet ingående explosivämnen, är validerad och klar att tas i bruk.



Figur 3. På bilden visas glasburkarna med plaströren, innehållande explosivämne, placerat mitt i burken .

2.3.1 Analysresultat av jorden avseende explosivämnen

I tabell 1 nedan visas resultatet av explosivämnesanalyserna. Förekomst av explosivämnen som legat inom detektionsgränsen för metoden har markerats med ett ”det” och halter under detektionsnivån har redovisats som ”-”.

Tabell 1. Analysresultat av jordprover.

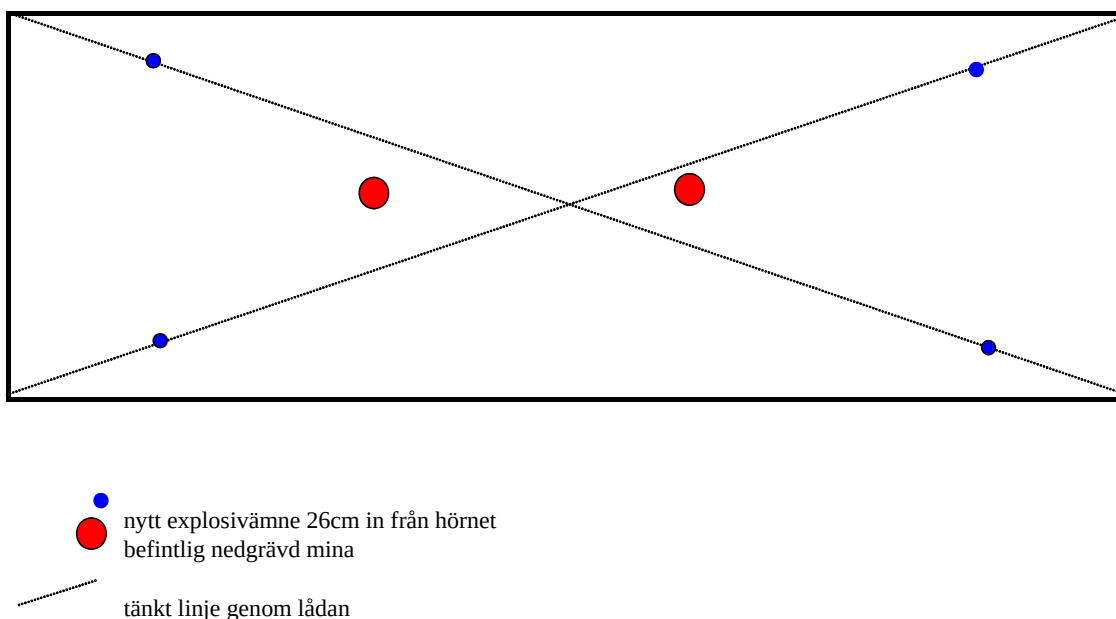
Jordart	Fukthalt i jorden	HMX	RDX	PETN	Tetryl
Morän	10% fukt	-	-	-	-
Morän	torr	-	det	-	det
Lera	10% fukt	det	det	det	det
Lera	torr	det	det	-	-
Sand	10% fukt	det	det	-	-
Sand	torr	-	det	-	-
Laterit	10% fukt	-	det	-	-
Laterit	torr	-	det	-	-
Magnetit	10% fukt	det	-	-	-
Magnetit	torr	det	-	det	-

Explosivämnena i försöket vars resultat redovisas i tabell 1 visar att detekterbara halter av respektive explosivämne bara återfinns i vissa burkar och i väldigt låga halter. Detta trots att det är en liten volym jord som exponerats för explosivämne som haft tillfälle att diffundera ut genom plasten, under drygt fem år. Det explosivämne som återfinns i flest jordar är RDX och det explosivämne som återfinns i lägst grad är PETN och tetryl.

2.4 Spridning av RDX, HMX, PETN och tetryl i olika jordarter, i en större volym ute i fält

I det andra försöket för att undersöka spridning av utvalda explosivämnen i olika jordar, placerades motsvarande plaströr innehållande en pressad tablett explosivämne (0,4 g) vardera i en jordlåda utomhus, se skiss i figur 4. Plaströren stoppades ned i jorden år 2004, i jord som exponerats för väder och vind. Stålbånd med röd tape sätts över röret för att lättare lokalisera det.

BEFINTLIG LÅDA



Figur 4. Här visas en skiss över en jordlåda utomhus, där plaströr innehållande explosivämne grävts ned, se de blå fyllda cirkklarna.

I figur 5 visas en bild av hur plaströrens placering har markerats och en bild där plaströret frilagts vid provtagning.



Figur 5. Här visas en bild av hur plaströrens placering har markerats och en bild där plaströret frilagts vid provtagning.

Provuttag sker flera gånger under perioden 2005-2009 genom att jord tas runt och över plaströret, utan att röret flyttas ut sitt läge. Proven förvaras i frysen i väntan på att den nya analysmetoden skulle bli färdigutvecklad.

Förvaring av explosivämne i olika jordarter i jordlåda utomhus:

Hexogen	RDX NSH 481
Oktofen	PBXN5 NSI-3-53 CHNR. 2/95
Pentyl	PETN NSP 43 90/10
Tetryl	F1329-090470

Ämnena hade pressats till tabletter under maj 2004 (diameter 9mm, höjd 5mm, tryck 400kp, vikt 0,4g/st). I försöket ingick fyra olika jordarter: lera, laterit, magnetit, och sand.

2.5 Analysresultat av jorden avseende explosivämnen

Totalt har 80 stycken jordprov från jordlådor ute i fält samlats in under perioden 2005-2009. Dessa prover analyserades med avseende på explosivämneshåll. Inga detekterbara halter av de fyra explosivämnena i de nedstoppade plaströren kunde detekteras. För att optimera analysen ska provextrakten koncentreras, dvs. indunstas och analyseras en gång till.

2.6 Utvärdering av trattar för luft- och partikelinsamling avseende explosivämnesanalys

För att i bästa möjliga mån kunna efterlikna den doftbild hunden exponeras för när den söker över marken har två nya utformningar av provtagningstratten för luftprovtagning utvärderats. Den gamla tratten visas i figur 6. Förutom att diametern utökats, så att filtret kommer närmare marken, har anslutning ändrats till ett rakt metallrör. Den sistnämnda utformningen med förhoppningen att tryckfallet i systemet ska minska så att provtagningens volymen per minut kan ökas. De två olika systemen med hål längs ytterkanten på tratt nummer 2 och 3 (se figur 7) är till för att skapa lite turbulens inne i

tratten, så att även små jordpartiklar följer med. Tanken är att det ska efterlikna hundens sätt att ibland fnysa innan den andas in, under ett sök.



Figur 6. Den gamla provtagningstratten



Figur 7. De nya provtagningstrattarna med tratt 2 till vänster och tratt 3 till höger.

I tratt nummer 2 sitter det metallproppar i hålen. Dessa kan vara isatta eller plockas bort allteftersom ändrad luftcirkulation i tratten önskas. Tanken fanns också att det skulle gå att tillföra en luftpuff med tryckluft eller blåsbälg genom något hål. Designen av tratt 2 och 3 har utformats i samarbete med Conny Åkerblom och Bertil Ljungqvist, GICHD⁸. I figur 8 visas tratt nummer 3 och en skål med flingad trotyl, TNT.

⁸ Geneva International Centre for Humanitarian Demining



Figur 8. Tratt nummer 3 samt en skål med flingad TNT.

Provtagning gjordes över 0,5g flingad TNT (se figur 8) och synliga minor av typen TMP10^h under perioden 6-9 oktober 2009. Proverna togs under 10 min över TNT flingorna, vid den högsta hastigheten på pumpen vilket gav en provtagningsvolym på ca 100 liter luft ned den gamla tratten. Provtagningen över minorna i olika jordtyper gjordes under 30 min, vilket gav en volym på ca 300 liter luft. Minorna är ytligt lagda och samtliga är delvis synliga.

Resultatet visas i tabell 2. Halterna av TNT och DNTⁱ vid provtagning över flingad TNT var betydligt högre vid provtagning med tratt 1 än med tratt 2 och 3. Det kan möjligen bero på att anslutningen inte blev helt tät, vissa modifieringar i konstruktionen kan behövas. Över minorna återfanns inga detekterbara halter. Detta kan bero på att provtagningstiden var för kort i kombination med den låga mark- och lufttemperaturen.

Tabell 2. Resultatet från utvärderingen av trattarna

Tratt	Datum	Temp luft/mark (°C)	RH (%)	Prov-tagnings tid	Objekt	TNT/filter	DNT/filter 2,6/2,4
1	6/10	9/10	59	10 min	Flingad TNT	det	det
1	6/10	9/10	60	10 min	Flingad TNT	det	det
1	6/10	9/10	60	10 min	Flingad TNT	det	det

^h TMP 10 = Trampmina 10

ⁱ DNT = Dinitrotoluen, en förorening i military grade TNT som härstammar från tillverkningen

1	6/10	9/10	57	10 min	Flingad TNT	det	det
1	6/10	9/10	58	10 min	Flingad TNT	det	det
1	8/10	6/6	71	1 tim	Mina fin sand	-	-
1	8/10	6/6	70	30 min	Mina grov sand	-	-
1	9/10	7/6	63	30 min	Mina lera	-	-
1	9/10	6/6	64	30 min	Mina fin sand	-	-
1	9/10	6/6	63	30 min	Mina grov sand	-	-
2	7/10	14/10	52	10 min	Flingad TNT	-	det
2	7/10	12/10	58	10 min	Flingad TNT	det	det
2	7/10	12/10	58	10 min	Flingad TNT	-	det
2	7/10	12/10	60	10 min	Flingad TNT	-	det
2	7/10	13/10	61	10 min	Flingad TNT	-	det
2	8/10	2/6	72	1 timme	Mina fin sand	-	-
2	8/10	5/6	75	30 min	Mina grov sand	-	-
2	9/10	9/6	65	30 min	Mina lera	-	-
2	9/10	6/6	76	30 min	Mina fin sand	-	-
2	9/10	6/6	81	30 min	Mina grov sand	-	-
3	7/10	13/10	58	10 min	Flingad TNT	-	det
3	7/10	13/11	58	10 min	Flingad TNT	-	-
3	7/10	13/11	58	10 min	Flingad TNT	-	-
3	7/10	12/11	59	10 min	Flingad TNT	-	det
3	7/10	12/11	60	10 min	Flingad TNT	-	-
3	8/10	2/5	62	1 timme	Mina fin sand	-	-
3	8/10	6/6	74	30 min	Mina grov sand	-	-
3	9/10	6/6	80	30 min	Mina lera	-	-
3	9/10	6/6	79	30 min	Mina fin sand	-	-
3	9/10	6/6	65	30 min	Mina grov sand	-	-

Jordprov togs runt minorna efter luftprovtagningen. Resultatet visas i tabell 3.

Tabell 3. Resultat av analyser av jordprov tagna över minor, TMP 10

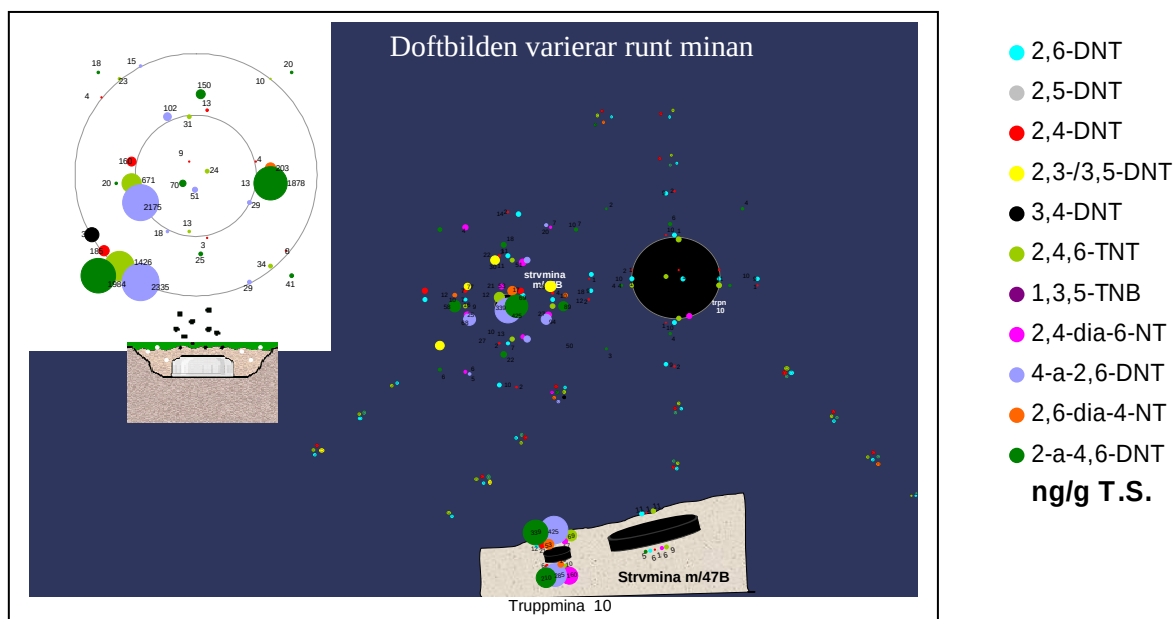
Låda	Datum	2,6-dnt (ng/g TS) ^j	2,4-dnt (ng/g TS)	TNT (ng/g TS)	2a4,6dnt (ng/g TS)	4a2,6dnt (ng/g TS)
Lera	9/10	7	8	4	136	108
Fin sand	9/10	0,5	0,5	15	164	183
Grov sand	9/10	2	0,9	3	94	87

^j ng/g TS är detsamma som nanogram eller 10⁻⁹ g / g torkad jord eller torrs substans

2.7 Jämförelse av doftbilder och tillgång på explosivämnen ovanför minor och IED

Doftbildsprojektet är, som tidigare nämnts, i första hand inriktat på att studera spridningen av RDX (hexogen), HMX (oktogen), pentyl och tertryl. Resultaten redovisade i denna rapport under avsnitt 2.2.2 och 3.3.1 visar att trots den nya extraktions- och analysmetodens känslighet finns inga av dessa explosivämnen att finna ute i fält, i den omedelbara närheten av ett nedgrävt objekt. Den ringa mängd explosivämne som är utplacerad kompenseras av att de ligger i plaströr vilka explosivämnet lätt kan vandra igenom. Projektet har även pekat ut IED som ett relevant objekt att studera ur detektionssynpunkt. Då TNT fortfarande är ett vanligt förekommande ämne i IED objekt, i vissa områden troligen det vanligaste, är det därför relevant att studera doftbilden från TNT. En annan begränsning har varit tillgången på nedgrävda objekt med annat explosivämneshåll än TNT.

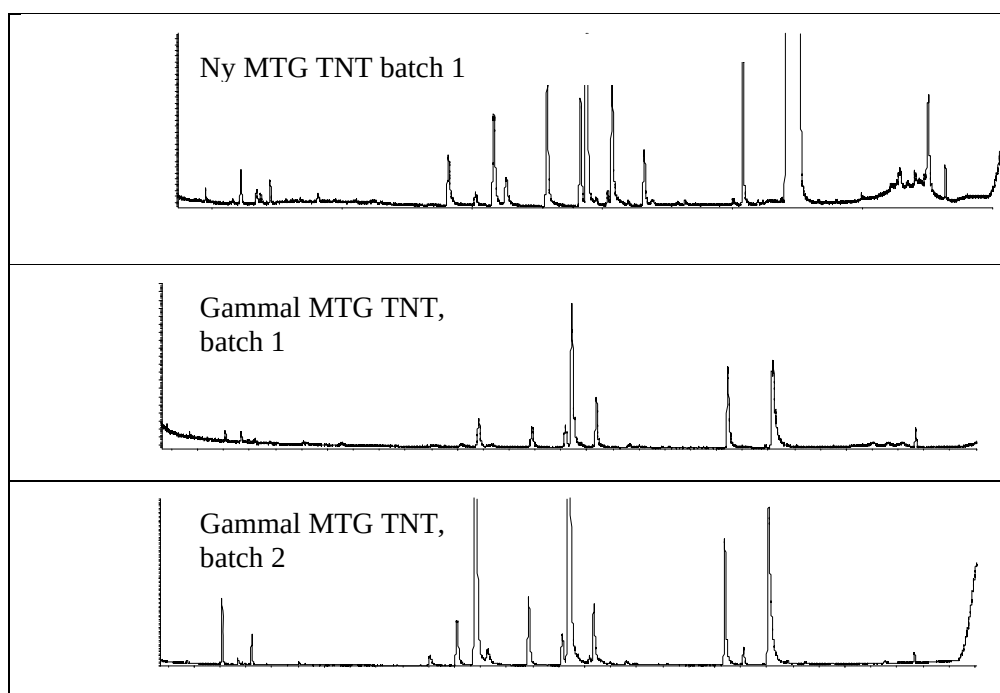
Från tidigare projekt² finns kunskapen att spridningen av explosivämne och relaterade föreningar kring en mina varierar beroende på typ av mina. Spridningen av explosivämnen bildar ett radiellt mönster ut från minan. Den lilla infällda bilden visar också att spridningen inte är homogent fördelad runt om objektet utan varierar kraftigt.



Figur 9. Spridningen av explosivämneshalter kring olika typer av minor

Detta stämmer väl överens med de spridningsmönster kring IED objekt som beskrivs i den artikel¹ som det refereras till i inledningen av denna rapport. Där undersöktes distributionen av explosivämnesrester kring IED i en simulerad operativ miljö. I artikeln poängterades det att den heterogena spridningen av explosivämnen är viktig att känna till vid försök att detektera en IED. Detta visar också att FOI:s kompetens avseende spridning kring och ovanför minor i allra högsta grad är relevant även för IED.

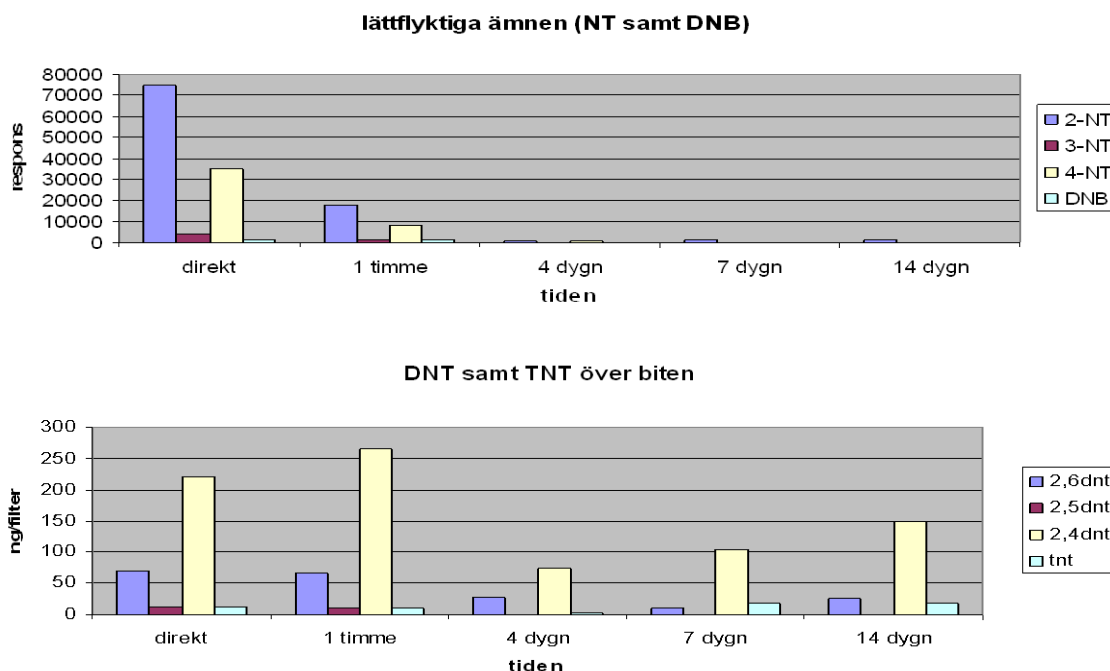
I figur 10 visas Doftbild med explosivämnesrester från luftprover tagna över olika bitar av military grade (MTG) TNT. Där har luftprover tagits över tre olika kutsar där de två övre är från samma tillverkningsomgång (batch), men den gamla har använts för träning och den nya har legat kvar i förpackningen. Den tredje doftbilden härrör från en gammal TNT kuts ur en annan batch än de två övre.



Figur 10. Doftbild med explosivämnesrester från luftprover tagna över olika bitar av military grade (MTG) TNT

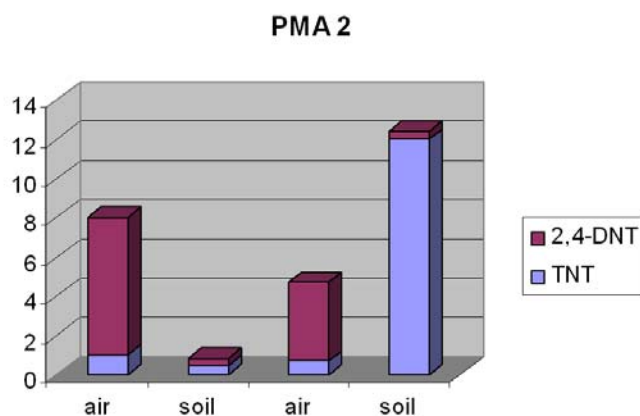
Genom att enbart jämföra de tre doftbilderna med blotta ögat ser man att ingen av dessa tre doftbilder är identiska med varandra.

I figur11 illustreras hur doftbilden förändras med prov tagna direkt, efter en timme, fyra dygn, sju dygn och 14 dygn.



Figur 11. I bilden visas hur doftbilden från en TNT bit varierar över tid. Luftprovtagning över kuts under en 2-veckors tidsperiod.

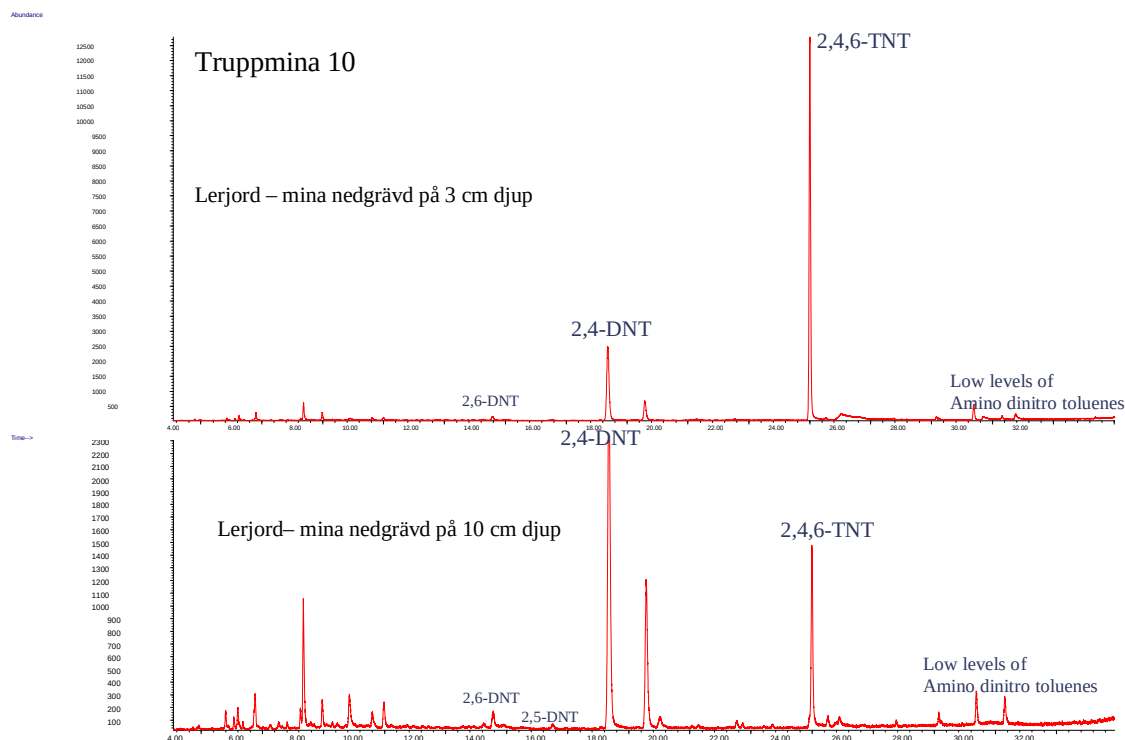
I Figur 12 visas att koncentrationen av explosivämne och relaterade föreningar skiljer sig åt i luften och i jorden vid en jämförelse av luft- och jordprov tagna ovanför en mina.



Figur 12. Här visas relationen mellan explosivämnets fördelning i luft och jord. Luften över mina innehåller andra proportioner än jorden över minan.

Detta är en viktig kunskap att ha vid valet av detektionsutrustning. Det visar att förutsättningarna att detektera ett explosivämnesobjekt som är nedgrävt (i detta fall en

mina) skiljer sig åt beroende på om ett instrument mäter explosivämnen i gasfasen eller på partiklar. I figur 13 visas att även det djup som ett explosivämnesobjekt är nedgrävt på påverkar doftbilden. I detta fall illustrerat av explosivämnesanalys av luftprover tagna ovanför en mina av samma typ, men nedlagda på olika djup. Läggs särskilt märke till hur storleksförhållandet (ju större topp desto högre koncentration av ämnet) mellan TNT och DNT skiftar mellan det övre och nedre grafen.



Figur 13. Doftbilden för en ytligt respektive djupare nedgrävd mina

Detta resultat kan troligtvis överföras på en IED vilken innehåller TNT och är nedgrävd i marken. Skillnaden är att koncentrationen av TNT och relaterade föreningar i luften ovanför varierar utifrån designen på objektet, dvs. beroende på hur mycket explosivämne som kan läcka eller diffundera ut.

3 Synergieffekter – relaterade forskningsprojekt

För att FOI och i förlängningen även kunden ska få bästa utväxling och effekt av den forskning som bedrivs är det viktigt att kunskapsöverföringen mellan olika relaterade projekt fungerar bra. Därför beskrivs här kort några projekt och samarbetspartners som både dragit nytta av och tillfört kunskap till Doftbildsprojektet genom åren.

- Odour Signature Projekt, OSP, finansierat av GICHD där enbart namnet i sig avslöjar kopplingen. Projektet tillförde kontakter och möjlighet till mätdata från Afghanistan, Kambodja, Bosnien och erfarenheter från praktiskt taget varje oroshärd i världen. Genom projektet fick FOI avdelningen Försvars- och säkerhetssystem tillgång till en GC-MS, vilket varit avgörande för metodutvecklingen.
- Projektet Hundens doftbild vid explosivämnessökning, finansierat av FHTE^k ökade kunskapen avseende doftbilden från minor och har tillfört insikt om hundars exceptionella förmåga i detektionssammanhang.
- Alternativa träningspreparat för ammunitions- och vapensökande hund, där kunskapen om doftbildens betydelse resulterade i den teori som framgångsrikt provades i projektet. Det genererade även idéer till nya träningsmetoder för minhundar
- I projektet Litteraturstudie avseende detektion av IED, finansierat av FM, gjordes en översikt av instrument för spårämnesdetektion av explosivämnen. Här kunde detektionsprincipernas lämplighet utifrån möjligheten att hitta ett explosivt objekt lättare bedömas. Annan kunskap som tillfördes var vilka faktorer som är avgörande för att välja rätt utrustning utifrån den uppgift som ska lösas.
- OPTIX (stand off detection of explosives) vilket är finansierat av EU, FP7, och medfinansierat av FM. Kunskap om explosivämnens egenskaper och spridning samt provtagnings- och analysmetoder från Doftbildsprojektet används.
- LOTUS vilket är finansierat av EU, FP7, och medfinansierat av FM. Kunskap om explosivämnens egenskaper och spridning samt provtagnings- och analysmetoder från Doftbildsprojektet används.

^k FHTE = Försvarets Hundtjänstenhet

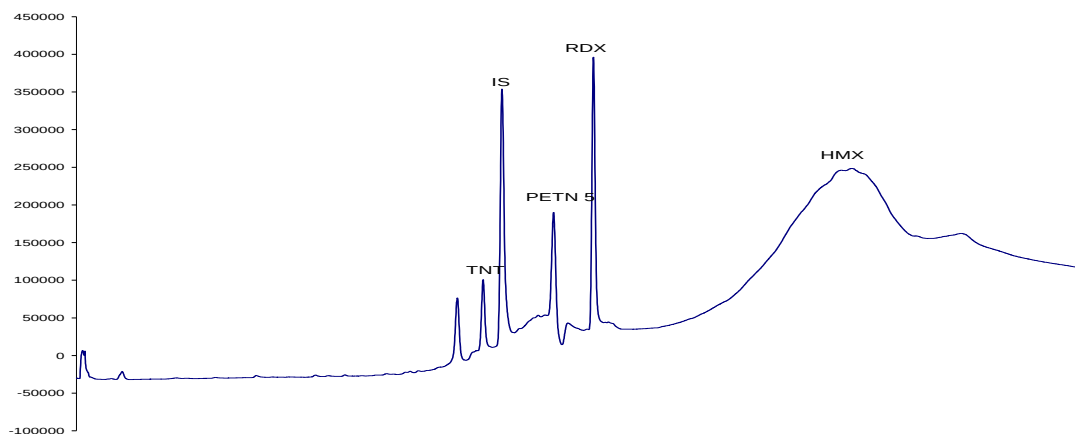
- Strategiskt FOI projekt "Partikelinsamling och spridningsstudier för effektivare explosivämnesdetektion". Där studeras explosivämnesspår i partikelfasen från IED:er. Finansieras av FM.
- Nytt projekt under förhandling, angående forskning för att hitta metoder att kunna skilja gamla explosivämnesrester från laddningar (IED:er) som nyligen har placerats ut i terrängen. Det finansieras av ONR (Office of Naval Research) USA.
- Samarbetspartners med koppling till Doftbilsprojektet, dvs. intresset för samarbete bygger på kunskap som erhållits upp i Doftbilsprojektet:
- GICHD: De kommer att under 2009 påbörja arbetet med att sammanställa en kravspecifikation för "route clearance" hundar.
- NPA (Norwegian Peoples Aid) och deras Global Training Center i Bosnien där samarbetsprojekt har genomförts under 2009 avseende minhundar. NPA utbildar och säljer "route clearance" hundar och är öppna för nya samarbeten
- Samarbete med FHTE, vilka har inlett diskussioner med DSTL (UK) angående deras utbildning av "route clearance" hundar
- Via FHTE har diskussioner med JIEDDO (Joint Improvised Explosive Device Defeat Organization), i USA förts.
- Deltagande i EDA PT C-IED. Spanska försvarsdepartementet har visat intresse för ett gemensamt projektsamarbete med FOI. I projektet skulle kartläggning av tillgången och spridning av explosivämnen kring en IED i ett utvalt scenario studeras.
- ARDEC (USA) har också visat intresse för samarbete, inledande möten/diskussioner har påbörjats inom ramen för avtalet IEA 1801 SWE-USA. De är bland annat mycket intresserade av att undersöka det optimala koncentrationsspannet för ett detektionsinstrument som ska användas i Afghanistan.

4 Sammanfattning av verksamhet år 2005-2008

Då detta är en slutrapport redovisas här en kort sammanställning av verksamheten under tidigare år.

4.1 År 2005

Under det första projektåret undersöktes möjligheten att använda den metod FOI utvecklat för upparbetning och analys av trotyl (TNT) och dess relaterade föreningar även för explosivämnena hexogen (RDX), oktogen (HMX), pentyl (PETN) och tetryl. De inledande försöken visade på en viss potential, men metoden behövde modifieras och optimeras för att erhålla ett bättre utbyte och tillräckligt låga detektionsnivåer. I figur 14 visas resultatet av de inledande försöken.



Figur 14. Kromatogram från analys med GC-NPD av HMX, RDX, TNT och PETN lösta i acetone. 2,4-dinitroanisol har använts som internstandard (IS).

Under år 2004 inleddes arbetet med att skapa förutsättningar för att en långtidsverkande klimat- och miljöpåverkan på utpekade explosivämnen skulle kunna studeras, när en ny analysmetode var utvecklad.

En studie genomfördes för att få kunskap om de föroreningar och nedbrytningssubstanser som kunde förväntas från de utpekade explosivämnena och för att samla in kunskap om deras fysikaliska och kemiska egenskaper. Försök att syntetisera två RDX-metaboliter gjordes men med dåligt utbyte och för någon metabolit har ännu ingen syntesväg hittats. Tetryl visade sig innehålla en hel del föroreningar från

tillverkningen och även detekterbara mängder av ett tiotal hittills okända föreningar, vilka troligen kan ha betydelse för den doftbild som härrör från laddningar med tetryl.

En viktig parameter att ta hänsyn till är föreningarnas ångtryck. Explosivämnena RDX, HMX, PETN och tetryl har alla lägre ångtryck än TNT och DNT som tidigare studerats. I tabell 4 redovisas även TATP eftersom det är en intressant substans bl.a. för preparat-sökhundsverksamheten.

Tabell 4. Ångtryck för några vanliga explosivämnen⁵

Explosivämne	Formel	Ångtryck vid 25°C (torr)
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
Tetryl (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

Behovet av en masspektrometer till den befintliga gaskromatografen från Agilent visade sig vara mycket stort. FOI kunde inte själv finansiera ett sådant instrument, men det löstes med hjälp av ett annat projekt, Odour Signature Project (OSP), finansierat av GICH¹. Via det projektet fick FOI tillgång till en ny GC-MS.

4.2 År 2006

För luftprovtagning av de explosivämnen som utpekats i Doftbildsprojektet har samma typ av filter som används för TNT, se figur 15 provats. Metoden har visat sig fungera för explosivämnen som kan finnas i ångfas, alternativt fånga upp partiklar med

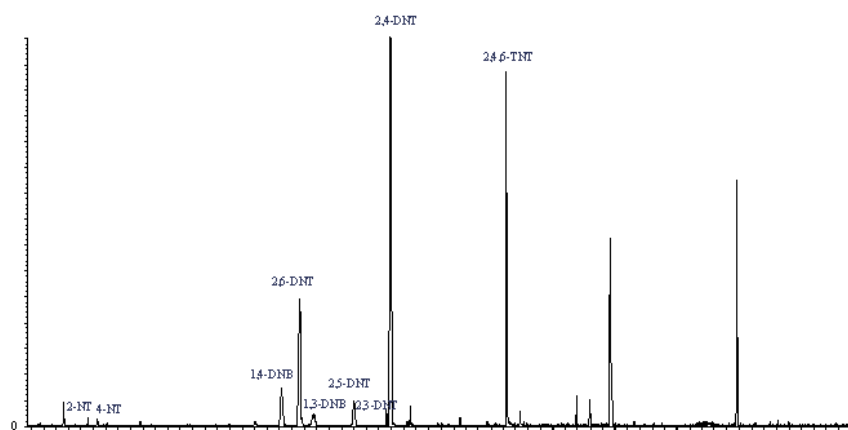
¹ GICH¹ = Geneva International Centre for Humanitarian demining

explosivämnen på. Denna metod måste dock verifieras innan den används i någon större omfattning.



Figur 15. Provtagningsutrustning för luftprovtagning

Med hjälp av provtagningsutrustningen i figur 15 kunde luftprover tas för att beskriva doftbilden ovanför en mina, se figur 16.



Figur 16. Kromatogram från analys med GC-MS av innehållet från ett filter som samlat molekyler i gasfas ovanför en mina laddad med military grade TNT.

Den metod som tidigare utvecklats⁶ för extraktion av TNT från jord (MAE)^m utvärderades även för aktuella explosivämnen med varierande resultat.

För provtagning av explosivämnen i vatten har en alternativ och mindre arbetskrävande metod utvecklats. Den använder likadana filter som visas i figur 7. En stor fördel är att provhanteringen underlättas. Nu behöver endast ett filter skickas för analys, istället för stora vattenvolymer.

4.3 År 2007

Under år 2007 konstaterades det att den metod som tidigare utvecklats⁶ för extraktion av TNT från jord (MAE) inte fungerade för de i projektet utpekade målsubstanserna. Därför påbörjades utprovning av en ny extraktionsmetod för explosivämnen i jord. De preliminära resultaten var väldigt lovande och uppvisade höga utbyten för HMX, RDX, pentyl och tetryl såväl som för TNT och relaterade ämnen. För den som inte är kemist kan det vara svårt att förstå hur mycket arbete som ligger bakom att kunna provta och analysera sitt prov. I figur 17 visas de olika stegen i processen. Precis som i en kedja är det den svagaste länken som sätter gränserna för metodens prestanda.

Analysen består av mer än bara analysen

Provtagning — fånga målsubstansen, undvika korskontaminering, provta på rätt plats och djup

Lagring — hålla kvar målsubstansen, den får ej dunsta bort eller brytas ned före analysen

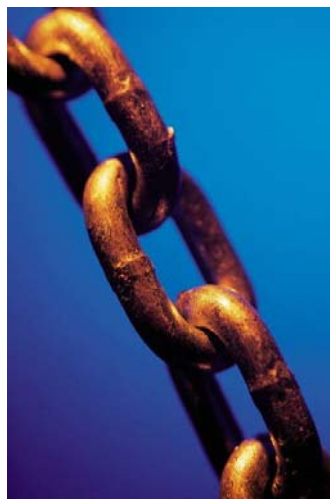
Extraktion — kunna lösgöra målsubstansen från den provtagna matrisen, t.ex. jord

Rening — ta bort allt utom det önskade ämnet

Separation — skilja olika ämnen åt i ett prov

Identifiering — vilka ämnen finns i provet?

Kvantifiering — haltbestämning



Figur 17. Provtagnings- och analysprocessens många steg som alla måste fungera

^m MAE = Microwave Assisted Extraction eller mikrovågsassisterad extraktion

Isotopmärkt TNT framställdes under året och kommer fortsättningsvis att användas vid explosivämnesanalyser. Det är den bästa interna standard som finns, då den har samma kemiska egenskaper som vanlig TNT, men ändå kan skiljas från den senare med hjälp av masspektrometri. Detta är möjligt tack vare att molekylvikten är högre än i normalfallet.

Det filter som verkade så lovande för provtagning av explosivämnen i vatten fungerade inte när metoden skulle valideras. För att utesluta att de uppkomna problemen orsakats av läckage planerades prov med en ny filterhållare under nästkommande år.

Studier av explosivämnen och relaterade substanser i jordprofiler kan ge ett viktigt bidrag för att kunna förklara och förutsäga den doftbild som kan påträffas i fält. I figur 18 visas förberedelserna inför en studie av explosivämnestransport i en jordprofil, i kontrollerad laboratoriemiljö.



Figur 18. Uttagande av en 40 cm hög jordprofil med hjälp av en cylinder

Den försöksuppställning som förberetts möjliggjorde studier av transportprocessen av explosivämnen i en kontrollerad laboratoriemiljö. Genom att använda ett brett urval av sprängämnesrelaterade ämnen under olika förhållanden kan viktiga processer kontrolleras och mätas. De preliminära resultaten från de första försöken verkade lovande.

4.4 År 2008

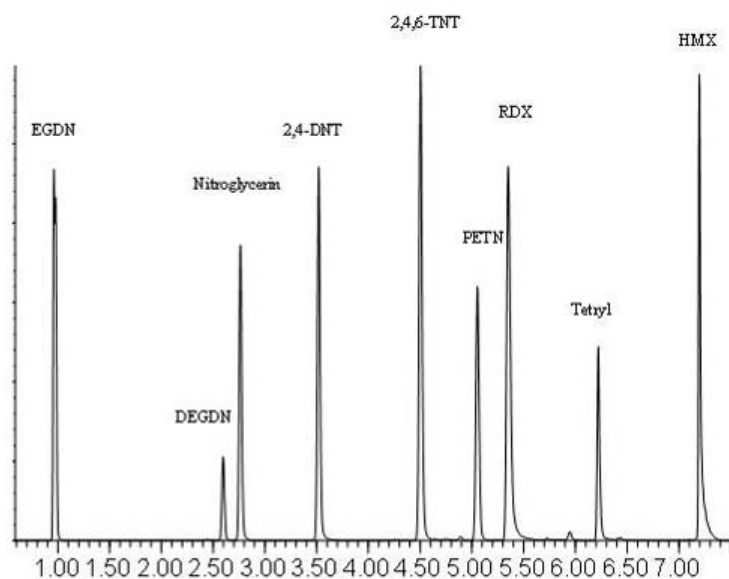
För att ytterligare förbättra kedjan från extraktion till analys utvecklades en ny analysmetod (innefattar stegen separation, identifiering och kvantifiering, se figur 17) som fungerar för de flesta militära och civila explosivämnen. Den teknik som tidigare använts för analys av jordprover (LC-MS) och för att verifiera förekomst av pentyl, RDX, HMX och tetryl har en detektionsnivå på några nanogramⁿ per analys. Då koncentrationerna av dessa ämnen kan ligga på betydligt lägre nivåer behövs en analysmetod med väsentligt förbättrad detektionsnivå.

En GC-MS metod har därför utvecklats. Den har detektionsnivåer för tidigare nämnda ämnen i nivån 100 femtogram^o per analys, d.v.s. en förbättrad detektionsnivå med ca 10000 ggr. Den förbättrade detektionsnivån ger nya möjligheter att kvantifiera och verifiera extremt låga nivåer av explosivämnen i olika provmatriser, t.ex. jord, vatten och luft. Analysmetoden har använts för att verifiera den nyutvecklade extraktionsmetoden.

Den nya analysmetoden gör det möjligt att screena explosivämnesinnehållet i ett prov på ca 10 minuter och är därför väldigt effektiv när det gäller att analysera många prov, se figur 19. Metoden kan med fördel användas när det gäller analys av ett okänt prov. Om mer information krävs, t.ex. för att belägga förekomst av olika isomerer av TNT och relaterade föreningar, kan längre analysmetoder användas. Begränsningen är att energetiska salter t.ex. nitrater och klorater inte kan detekteras, då dessa ej förångas vid de temperaturer som används i GC-MS utrustningen.

ⁿ Nanogram = 10^{-9} g eller 0,000000001 g

^o Femtogram = 10^{-15} g eller 0,000000000000001 g

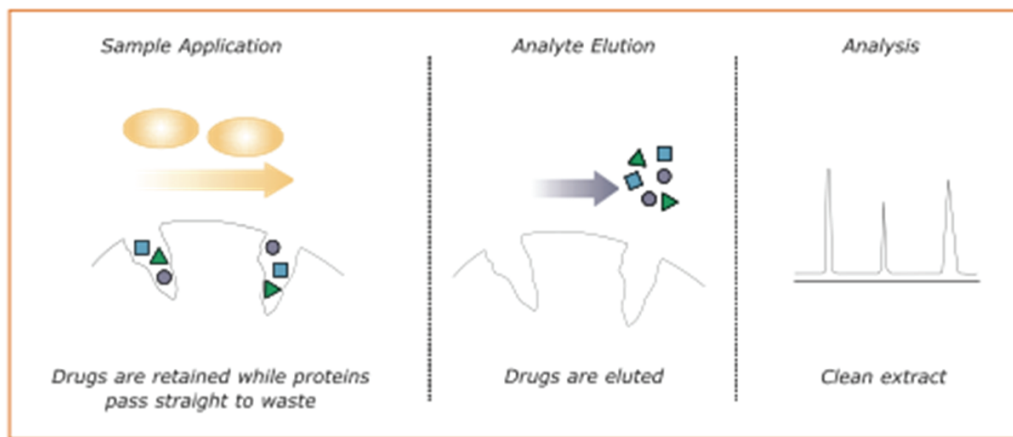


Figur 19. Bilden visar ett GC-MS kromatogram där ett prov av en referensmix har analyserats. Koncentrationen är 100 pg av varje ämne.

De filter som utvärderades förra året för provtagning av explosivämnen i vatten visade sig ha för låg kapacitet för att fånga de önskade molekyler. Därför undersöktes ett antal olika alternativ. Den provtagningsutrustning som sedan valdes ut, har enligt företagets egen försäljare använts för att undersöka läkemedelshalter i blod och bekämpningsmedelshalter i havsvatten i ishaven.

Dessa provtagare, i fortsättningen kallade SPE^P:er, är fyllda med små klot med porös yta. Porerna i ytan fångar molekyler i ett visst storleksintervall. Mindre molekyler, såsom vatten och salt, är för små för att fastna och de större, t.ex. proteiner, rinner emellan kloten utan att komma in i porerna. Sedan lakas SPE:erna ut med organiska lösningsmedel, som löst det som fastnat, se figur 20.

^P SPE = Solid Phase Extraction eller fastfaskolonn



Figur 20. Schematisk skiss över extraktion med porös fas. Samma princip gäller för explosivämnen som för läkemedel.

För att se om dessa SPE:er fungerade för explosivämnen gjordes ett fåtal försök. Resultaten därifrån var så lovande, att det är värt att utvärdera metoden vidare.

5 Praktiska tillämpningar relaterade till Doftbilsprojektet

I detta avsnitt beskrivs hur kunskapen och verktygen från Doftbilsprojektet kommit Försvarsmakten till nytta med hjälp av några konkreta exempel.

5.1 Avveckling av skjutfält

FOI har, på uppdrag av Fortifikationsverket, tagit prover⁷ på ett avvecklat skjutfält (Hovdala), där ammunitionsröjning med hjälp av metalldetektorer pågick. Jord-, vatten- och sedimentprov togs inom några begränsade områden där man kunde förvänta sig att OXA^q fanns. Analyserna visade på förekomst av TNT i låga halter i samlingsproven från några områden. Detta tyder på att det fanns en källa någonstans som läckte TNT och att man med hjälp av en explosivämnesdetekterande hund skulle ha kunnat få en närmare position för dessa källor.

5.2 Riskbedömning vid avveckling av FM-anläggningar

Vid avveckling av gamla FM-anläggningar där det har hanterats explosivämnen har FOI genomfört kontroll och provtagningar samt rekommendationer inför rivningsarbetet⁸. Det är viktigt att kontrollera ventilationstrummor, vattenlås etc. där det finns risk att explosivämnesrester ansamlats. Då FOI har färdiga provtagningsmetoder och en snabb extraktions- och analysmetod med extremt bra detektionsgräns för explosivämnen kunde ett snabbt svar lämnas. Detta sparade in pengar, då maskiner för rivningsarbetet genererade höga kostnader per timme samtidigt som säkerheten för personalen ökade.

5.3 Verifiering av hundars förmåga till explosivämnesdetektion

5.3.1 Sökhundar för ammunitionsröjning under vatten

FOI har medverkat med provtagning och analys⁹ för att stödja 4:e sjöstridsflottiljens och SWEDECs försök att använda hundar för ammunitionsröjning under vatten. De sanalyser som gjordes verifierade att det fanns TNT i vattnet i koncentrationer som med största sannolikhet gav upphov till detektionsmöjligheter för hunden.

^q OXA = Oexploderad ammunition

5.3.2 Verifiering av minhundar

En stor utmaning vid test av en minhunds förmåga är att veta vad det egentligen är som hunden markerar för. Markerar hunden därför att den känner doftsignaturen från en mina eller markerar den för att den registrerar en avvikelse i doftbilden? Hur falsk är en falsk indikering? Går det att vara säker på att det inte finns explosivämnen i jorden där hunden markerar? Varför är det svårare för hunden att hitta vissa typer av minor? Vad är det egentligen som hunden detekterar? Det närmaste ett riktigt svar är att analysera luft- och jordprover ovanför minor eller där hunden markerar. FOI har ökat sin kunskap i frågan genom att utföra uppdrag åt GICHD i Afghanistan, se figur 21.



Figur 21. Ett minhundsekipage i arbete på ett område för testning av minhundar, strax utanför Kabul.

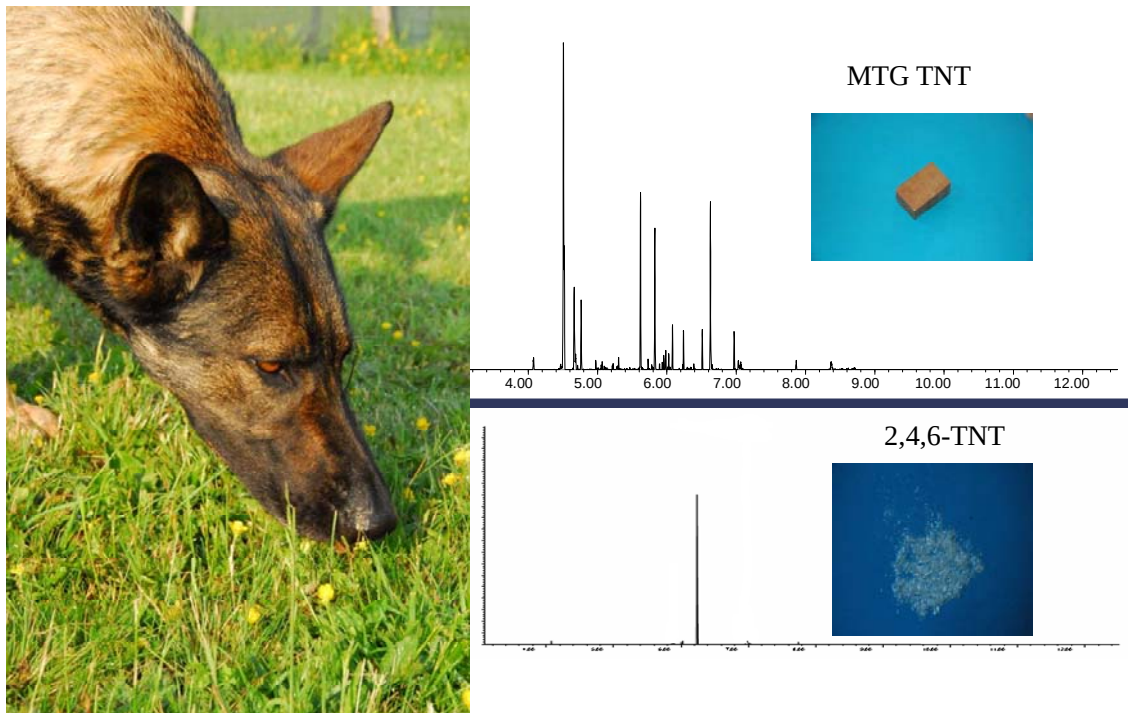
I samband med en test av minhundsekipage togs jordprover där hundarna gjort korrekta markeringar, felmarkeringar, missat en mina samt bakgrundsprover^r. Svaren som explosivämnesanalysen gav visade att det inte alltid är så lätt att göra några självklara tolkningar av resultatet.

5.4 Framtagning av nya kompletterande träningsmetoder för minhundar och amvapensökhundar

I projektet "Hundens doftbild vid explosivämnessökning" som finansieras av FHTE är det doftbildstänket från föreliggande projekt som genererat själva grundstommen. I projektet har den doftbild hunden har att tillgå vid träning analyserats och jämförts med den doftbild som minorna genererar. Syftet med projektet var att försöka identifiera hur

^r Bakgrundsprov=prov tagna i samma textbox som övriga prov, men på en plats så långt som möjlig från förekommande minor

hundens doftminne fungerar och dess förmåga att associera träningssämnerna med riktiga objekt. Det var kunskapen om hur mycket doftbilden från en mina och från military grade TNT varierar som resulterade i tanken att prova träna hunden på renad 2,4,6-TNT. Detta därför att TNT är den minsta gemensamma nämnaren för alla objekt som innehåller TNT, oavsett om det är en mina eller en IED, se figur 22.



Figur 22. Doftbilden i luften ovanför en MTG TNT kuts och renad TNT

Ett liknande tankesätt har resulterat i projektet "Alternativa träningspreparat för ammunitions- och vapensökande hund", där kunskapen om doftbildens betydelse resulterade i den teori som framgångsrikt provades i projektet. Syftet var att hitta kompletterande träningssubstanser som inte regleras av några restriktioner eller säkerhetsbestämmelser avseende hanteringen. Detta för att kunna underlätta träningssituationen och öka antalet träningsmöjligheter för dressören eller hundföraren. I figur 23 visas bilder från ett av de försök som genomfördes.



Figur 23. Test av nytt träningspreparat för ammunitions- och vapensökhund. Utbildad ammunitions- och vapensökhund markerar för simliämnen representativ för vapen och ammunition.

5.5 Test av explosivämnesdetektorer

Tillverkare av explosivämnesdetektorer drar sig inte för att tänja på sanningen när de ska beskriva den operativa förmågan hos sitt instrument. Detta gör det riskabelt att vara köpare om det inte finns möjlighet att erhålla en objektiv testning. Ibland är dock överdrifterna så grova att de är lätta för de flesta att genomsåda, som exempel kan instrumentet ADE651 nämnas. Det säljs av ett brittiskt företag och består huvudsakligen av en teleskopisk radioantenn monterat på ett svängande svart plasthandtag, liknande en modern slagruta¹⁰. Det innehåller inget batteri utan drivs enligt tillverkaren med elektrostatisk energi som genereras när man går. Detta instrument påstås kunna detektera allt från explosivämnen till mänskliga kvarlevor och narkotika, på upp till en kilometers avstånd. Trots denna osannolika konstruktion och utfästelser har Iraks regering spenderat ca 85 miljoner dollar på inköp av ADE651 och de används vid säkerhetspolisens kontrollstationer (checkpoints).

När SWEDEC blev intresserade av ett instrument, FIDO, som enligt tillverkaren Nomadics skulle kunna detektera nedgrävda explosiva objekt, fick FOI i uppdrag att utvärdera det. När SWEDEC kontaktade tillverkaren för att köpa ett instrument för testning ville leverantören veta hur testen skulle utföras. Det slutade med att FOI fick skicka jordprov preparerade med explosivämnen till tillverkaren, som ville göra en egen test först. Efter lång väntan kom tillslut beskedet att SWEDEC tyvärr inte kunde få köpa något instrument då Nomadics fått en stor order från amerikansk militär.

Dessa två exempel visar hur viktigt det är med oberoende testning av instrument som ska detektera explosivämnen. Tack vare den känsliga metod för provtagning och analys av explosivämnen som utvecklats inom Doftbildsprojektet, har FOI det grundläggande verktyget för att kunna bygga upp en testanläggning.

6 Slutsatser

Den nyutvecklade analys- och extraktionsmetoden för RDX, HMX, pentyl, tetryl samt TNT och relaterade ämnen, är nu validerad med gott resultat och har börjat användas. Metoden ger ökad analyskapacitet och kvalitetssäkringen har förbättrats sedan isotopmärkt TNT och DNT framställts och börjat användas som internstandard. Analys av okända prov med avseende på explosivämnen kan nu göras på ca 10 minuter per prov. Tillsammans med de förbättrade provtagningsmetoderna för explosivämnen i luft och vatten finns nu kraftfulla verktyg för kontroll av spridning avseende nämnda explosivämnen.

När den nya metoden för explosivämneshälsor var klar kunde resultatet av de två försök som påbörjades år 2004 utvärderas. Syftet med försöken var att kartlägga spridningen av RDX, HMX, pentyl och tetryl i olika jordar. Resultaten visade att dessa explosivämnen inte tycks sprida sig på samma sätt som TNT. I de jordar utomhus där plaströr med respektive explosivämne stoppats ned kunde inga detekterbara halter av några explosivämnen återfinnas. Likadana plaströr innehållande nämnda explosivämnen placerades även i jord i små glasburkar inomhus. Analysresultaten visade på knappt detekterbara halter av explosivämnen i några av jordarna. Detta trots att jordvolymen var liten och att explosivämnet haft tillfälle att diffundera ut genom plasten, under drygt fem år. Det explosivämne som återfanns i flest jordar var RDX och det explosivämne som återfanns i lägst grad var PETN och tetryl.

Det kan konstateras att omvärldens intresse för doftbilder från explosivämnen, samt kunskap om dess spridning och nedbrytning i olika miljöer, ständigt ökar. Den kunskap som Doftbildsprojektet genererat har lagt grunden till nya forskningsprojekt och blivit en inträdesbiljett till internationella samarbeten.

Trots att Doftbildsprojektet härmed är avslutat kommer explosivämnens doftbild att förbli ett aktuellt ämne för Förvarsmakten under lång tid framöver.

7 Referenser

1. Kunz, R. R.; Gregory, K. C.; Hardy, D.; Oyler, J.; Ostazeski, S. A.; Fountain III, A. W., Measurement of trace explosive residues in a surrogate operational environment: implications for tactical use of chemical sensing in C-IED operations. *Anal. Bioanal. Chem.* **2009**, 395, 357-369.
2. Stefan Ek, R. B., Mona Brantlind, Erik Holmgren, Ann Kjellström, Dennis menning, Lena Sarholm, Marita Wanhatalo, Andreas Woldegiorgis *Sammanfattning av arbetet i projektet Landmins system - Detektion och neutralisation under åren 2000-2004*; FOI-R--2345--SE; December, 2007.
3. EPA Method 8330B (SW-846): Nitroaromatics and Nitramines by High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Revision 2, October 2006. <http://www.epa.gov/sam/pdfs/EPA-8330b.pdf> (accessed November).
4. EPA Method 8095 (SW-836): Explosives by gas chromatography, Revision 0. . <http://www.epa.gov/sam/pdfs/EPA-8095.pdf>. (accessed February).
5. R.J. Harper, J. R. A., K.G. Furton, Identification of dominant odor chemicals emanating from explosives for use in developing optimal training aid combinations and mimics for canine detection. *Talanta* **2005**, 67, 313-327.
6. Ann Kjellström, M. B., Carina Eldsäter, Optimized microwave extraction for trace detection of 2,4,6-trinitrotoluene in soil samples. *Chemosphere* **2008**, 71, 1701-1708.
7. Karlsson, R.-M. *Rapport från riskreducering genom provtagning och kemisk analys av explosivämnen på Hovdala skjutfält*; FOI Memo 1809; September, 2006.
8. Menning, D. *Underlag från explosivämnesprovtagningar i utrymmen enligt hemställan FMTM 13601:90786, samt rekommendationer för genomförande av rivningsarbete*; FOI Memo 2802; 2009.
9. Kjellström, A. *Provtagning och kemisk analys i samband med genomförandet av prov och försök med hundar för amunitionsröjning under vatten* FOI Memo 05-586:3; FOI: November 2005.
10. Nordland, R., Iraq Swears by Bomb Detector U.S. Sees as Useless. *New York Times* **2009**.