

Metode analitice moderne pentru detectarea urmelor de explozivi în mediu

Compușii explozivi reprezintă un grup important de poluanți de mediu, introduși în principal în ecosisteme prin activități militare, fabricare, depozitare sau eliminare a munițiilor. Prezența lor în sol și apă reprezintă riscuri semnificative atât pentru ecosisteme, cât și pentru sănătatea umană. Anumiți compuși, precum hexogenul (RDX) și 2,4-dinitrotoluenul (2,4-DNT), sunt chiar clasificați ca potențiali agenți cancerigeni. În consecință, monitorizarea, determinarea analitică și elaborarea strategiilor pentru îndepărtarea eficientă a explozivilor și a reziduurilor acestora din mediu sunt esențiale pentru reducerea eficientă a riscurilor asociate.



Figura 1: Figură ilustrativă

Explozivi în mediu

În anul 2025, laboratorul ALS și-a extins portofoliul analitic pentru a include metode acreditate de determinare a explozivilor și a compușilor asociați în apă și sol. Aceste proceduri se bazează pe standarde recunoscute internațional, precum US EPA 8330B, EN ISO 22478 și ISO 11916-1.

Elaborarea unor strategii eficiente pentru detectarea și remedierea contaminării cu explozivi în probele de mediu, în special în zonele de testare, este esențială, deoarece metodele actuale se bazează pe date limitate privind explozivii și impactul acestora asupra mediului. Compușii explozivi utilizați frecvent, precum nitroaromaticii și nitraminele, prezintă un risc relativ ridicat de contaminare a mediului, iar nitraminele sunt extrem de mobile. În ciuda reactivității lor, aceste substanțe sunt relativ stabile în natură în condiții normale.

De exemplu, TNT poate persista în sol timp de decenii, mai ales în zone cu acces redus la oxigen și activitate microbiană scăzută. Un exemplu semnificativ de contaminare pe termen lung este zona Kolberger Heide din Marea Baltică, unde munițiile au fost aruncate masiv după Al Doilea Război Mondial. Un studiu realizat în 2025 a confirmat prezența metaboliților TNT în urina și bila peștilor, indicând bioacumularea substanțelor explozive în organismele marine și persistența acestora în mediu timp de peste opt decenii.

Figura 2: TNT formula
(2,4,6-Trinitrotoluene)

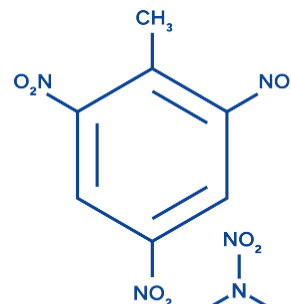
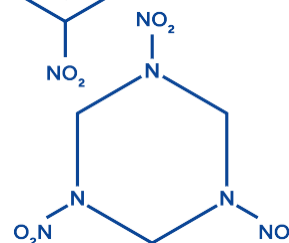


Figura 3: RDX/Hexogen formula
(Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine)



Analiza explozivilor

Implementarea metodelor analitice precise permite identificarea și cuantificarea fiabilă a unei game largi de substanțe explozive, inclusiv a produselor lor de degradare, antioxidanților și propulsoarelor. Introducerea unor astfel de metode reflectă necesitatea tot mai mare de a monitoriza acești contaminanți atât din surse civile, cât și militare.

United States Environmental Protection Agency utilizează Metoda 8330B (SW-846) pentru analiza nitroaromaticilor, nitraminelor și a esterilor de nitrați prin HPLC, o metodă standardizată care asigură obținerea unor rezultate analitice precise.

În cadrul ALS, manipularea și pregătirea probelor respectă procedurile prevăzute de standardele aplicabile, iar analizele sunt efectuate pe sisteme HPLC-DAD de ultimă generație. Fiecare rezultat pozitiv este verificat inițial prin comparare spectrală și ulterior confirmat utilizând o fază staționară alternativă a coloanei cromatografice. Această abordare asigură o fiabilitate ridicată a datelor obținute.

Tabel 1: Lista analiților vizați pentru determinarea lor în apă și sol.

ANALIT	Abrev.	CAS	LOR SOL (mg/kg)	LOR APĂ (µg/L)
Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine	HMX / Oktogen	2691-41-0	0.2	0.4
Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine	RDX / Hexogen	121-82-4	0.2	0.4
1,3,5-Trinitrobenzene	1,3,5-TNB	99-35-4	0.2	0.4
1,3 - Dinitrobenzene	1,3-DNB	99-65-0	0.2	0.4
Methyl-2,4,6-trinitrophenyl-nitramine	Tetryl / CE	479-45-8	0.2	0.4
Nitrobenzene	NB	98-95-3	0.2	0.4
2,4,6-Trinitrotoluene	2,4,6-TNT	118-96-7	0.2	0.4
4-Amino-2,6-dinitrotoluene	4-Am-DNT	19406-51-0	0.2	0.4
2-Amino-4,6-dinitrotoluene	2-Am-DNT	35572-78-2	0.2	0.4
2,4-Dinitrotoluene	2,4-DNT	121-14-2	0.2	0.4
2,6-Dinitrotoluene	2,6-DNT	606-20-2	0.2	0.4
2-Nitrotoluene	2-NT	88-72-2	0.2	0.4
3-Nitrotoluene	3-NT	99-08-1	0.2	0.4
4-Nitrotoluene	4-NT	99-99-0	0.2	0.4
Nitroglycerin / Glycerol trinitrate	NG	55-63-0	1	1
Pentaerythritol tetranitrate	PETN	78-11-5	1	1
3,5 - Dinitroaniline	3,5 - DNA	618-87-1	0.2	0.4
Diphenylamine	DPA / Dpha	122-39-4	0.2	0.4
N-nitrosodiphenylamine	NDPhA	86-30-6	0.2	0.4

Figura 4: Recipient din polipropilenă pentru prelevarea probelor solide de sol. Dacă sunteți interesat de analiza explozivilor, vă rugăm să ne contactați și containerul vă va fi livrat.



Cerințe pentru probe:

Apă: ideal 2 L de probă fără sedimente, recipient din sticlă brună

Sol: ideal 200 g probă, recipient din plastic (pungă/pahar - Fig.4)

Notă privind recipientul de prelevare: Probele de apă trebuie colectate și transportate DOAR în sticle din sticlă brună pentru a preveni fotodegradarea potențială a analiților vizați cauzată de expunerea la lumină, datorită transparenței apei. Probele de sol nu necesită o astfel de protecție, deoarece nu sunt afectate în același mod.

Referințe

- Urmărirea contaminanților explozivi proveniți din muniții aruncate în vestul Mării Baltice, prin analiza urinei și a bilei a trei specii de pești plăți
- Munițiile aruncate în Marea Baltică susțin o abundență și o diversitate ridicată a epifaunei
- Fișă tehnică – Dinitrotoluen (DNT), decembrie 2012

Primul test experimental

Rezultatele inițiale ale laboratorului ALS indică posibile detecții pozitive de hexogen (RDX) în probele analizate, cu concentrații în probele de apă care ating valori de ordinul zecilor de µg/L, iar în probele de sol valori în intervalul mg/kg cu o singură cifră (din proba originală). Deși în prezent nu există cerințe legislative pentru monitorizarea sistematică a substanțelor explozive în mediu, creșterea gradului de conștientizare și înțelegere a acestor substanțe determină schimbări legislative.

De exemplu, în 2020, Canada a impus monitorizarea hexogenului (RDX) în apele utilizate pentru producerea apei potabile, stabilind o limită de 100 µg/L, ca urmare a depistării RDX în apele de suprafață și subterane din apropierea bazelor militare.

Implementarea noilor metode acreditate, conform standardelor internaționale, reprezintă un pas esențial pentru monitorizarea eficientă a substanțelor explozive în mediu. Rezultatele confirmă prezența acestor poluanți în soluri și ape și subliniază necesitatea urmăririi lor sistematice. Datele obținute sunt esențiale nu doar pentru evaluarea riscurilor de mediu, ci și pentru proiectarea unor măsuri adecvate de remediere.

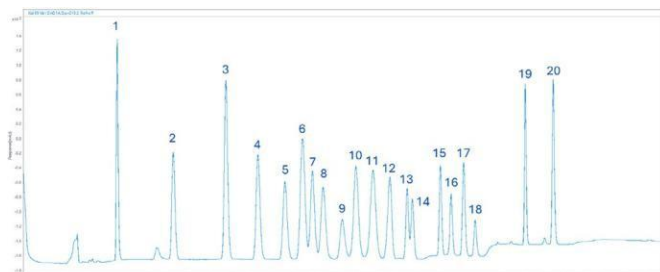


Figura 5: Exemplu de cromatogramă a analiților: (standard mixt 10 µg/mL): (1) HMX; (2) RDX; (3) 1,3,5-Trinitrobenzen; (4) 1,2-Dinitrobenzen; (5) 1,3-Dinitrobenzen; (6) 3,5-Dinitroanilină; (7) Tetryl; (8) Nitrobenzen; (9) Nitroglicerină; (10) 2,4,6-Trinitrotoluen; (11) 4-Amino-2,6-dinitrotoluen; (12) 2-Amino-4,6-Dinitrotoluen; (13) 2,6-Dinitrotoluen; (14) 2,4-Dinitrotoluen; (15) 2-Nitrotoluen; (16) 4-Nitrotoluen; (17) 3-Nitrotoluen; (18) PETN; (19) N-nitrosodifenilamină; (20) difenilamină.

Timp de analiză (TAT):

Rezultatele determinării explozivilor vor fi livrate în termen de 10-14 zile, în funcție de tipul matricei.

Analiza expres: **NU** este posibilă din cauza procesării probelor.

SCAN OR CLICK



Summary of All
EnviroMails

Ask the
EXPERTS