

# Nowoczesne metody analityczne służące wykrywaniu materiałów wybuchowych w środowisku.

Związki wybuchowe stanowią istotną grupę zanieczyszczeń środowiskowych, wprowadzanych do ekosystemów głównie poprzez działania wojskowe, produkcję, magazynowanie lub utylizację amunicji. Ich obecność w glebie i wodzie stwarza poważne zagrożenie zarówno dla ekosystemów, jak i zdrowia ludzi. Niektóre związki, takie jak **heksogen (RDX)** oraz **2,4-dinitrotoluen (2,4-DNT)**, są nawet klasyfikowane jako potencjalne substancje rakotwórcze. W związku z tym monitorowanie, oznaczanie analityczne oraz opracowywanie strategii skutecznego usuwania materiałów wybuchowych i ich pozostałości ze środowiska mają kluczowe znaczenie dla efektywnego minimalizowania związanych z nimi zagrożeń.

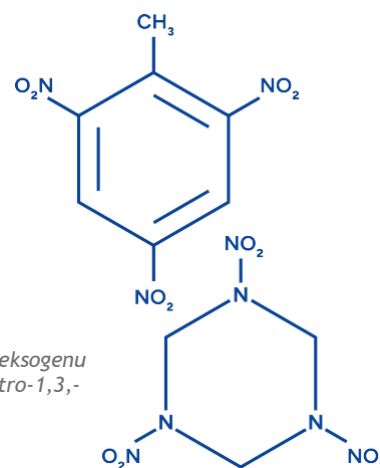
## Materiały wybuchowe w środowisku

W 2025 roku laboratorium ALS rozszerzyło swoje portfolio analityczne o akredytowane metody oznaczania materiałów wybuchowych i związków pokrewnych w wodzie i glebie. Procedury te opierają się na uznanych międzynarodowo normach, takich jak US EPA 8330B, EN ISO 22478 oraz ISO 11916-1.

Opracowanie skutecznych strategii wykrywania i remediacji zanieczyszczeń materiałami wybuchowymi w próbkach środowiskowych jest kluczowe. Powszechnie stosowane związki wybuchowe, takie jak nitroaromaty i nitraminy, stwarzają stosunkowo wysokie ryzyko zanieczyszczenia środowiska, przy czym nitraminy dodatkowo cechują się wysoką mobilnością. Pomimo swojej reaktywności, substancje te są stosunkowo stabilne w warunkach naturalnych. Na przykład trotyl (TNT) może utrzymywać się w glebie przez dziesięciolecia, zwłaszcza w miejscach o ograniczonym dostępie tlenu i niskiej aktywności mikrobiologicznej. Takim przykładem długotrwałego zanieczyszczenia jest obszar Kolberger Heide na Morzu Bałtyckim, gdzie po II wojnie światowej na dużą skalę zatapiano amunicję. Badanie z 2025 roku potwierdziło obecność metabolitów TNT w moczu i żółci ryb, co wskazuje na bioakumulację substancji wybuchowych w organizmach morskich oraz ich trwałość w środowisku przez ponad osiem dekad.



Rysunek 1: Ilustracja pogładowa



Rysunek 2: Wzór TNT  
(2,4,6-trinitrotoluen)

Rysunek 3: Wzór RDX/heksogenu  
(heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazyna)

## Analiza materiałów wybuchowych

Wdrożenie precyzyjnych metod analitycznych umożliwia wiarygodną identyfikację i oznaczanie ilościowe szerokiej gamy substancji wybuchowych, w tym produktów ich degradacji, przeciwtleniaczy oraz materiałów pędnych. Wprowadzenie takich metod odzwierciedla rosnącą potrzebę monitorowania tych zanieczyszczeń pochodzących zarówno ze źródeł cywilnych, jak i wojskowych.

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) stosuje Metodę 8330B (SW-846) do analizy nitroaromatów, nitramin i estrów azotanowych z wykorzystaniem HPLC, znormalizowaną metodę zapewniającą precyzyjne wyniki analityczne.

W ALS postępowanie z próbkami i ich przygotowanie odbywa się zgodnie z procedurami określonymi w obowiązujących normach, a analizy prowadzone są na najnowocześniejszych systemach HPLC-DAD najnowszej generacji. Każdy pozytywny wynik jest najpierw weryfikowany na podstawie zgodności widm, a następnie potwierdzany z użyciem alternatywnej fazy stacjonarnej kolumny chromatograficznej. Takie podejście zapewnia wysoką wiarygodność uzyskanych danych pomiarowych.

Tabela 1: Lista wytypowanych analitów do oznaczania w wodzie i glebie.

Analityt	Abbr.	CAS	LOR Gleba (mg/kg)	LOR Woda (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

Rysunek 4: Pojemnik polipropylenowy do pobierania próbek gleby. Jeśli są Państwo zainteresowani analizą materiałów wybuchowych, prosimy o kontakt, a pojemnik zostanie Państwu dostarczony.



### Wymagania dotyczące próbek

**Woda:** najlepiej 2 L próbki bez osadów, ciemna szklana butelka do poboru

**Gleba:** najlepiej 200 g próbki, pojemnik plastikowy (woreczek/kubek - Rys. 4)

**Uwaga dotycząca pojemników do poboru:** próbki wody należy pobierać i transportować WYŁĄCZNIE w ciemnych szklanych butelkach, aby zapobiec potencjalnej fotodegradacji docelowych analitów spowodowanej działaniem światła ze względu na przejrzystość wody. Próbki gleby nie wymagają takiej ochrony, ponieważ nie są w podobny sposób narażone.

### Bibliografia

[LINK](#) Śledzenie zanieczyszczeń materiałami wybuchowymi pochodzących ze zatopionej amunicji w zachodniej części Morza Bałtyckiego poprzez analizę moczu i żółci trzech gatunków ryb płastugowatych

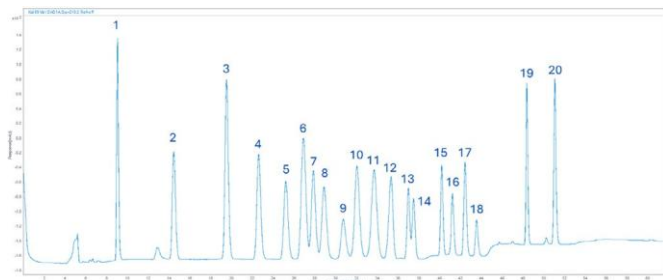
[LINK](#) Amunicja zatopiona w Morzu Bałtyckim sprzyja wysokiej liczebności i różnorodności epifauny

[LINK](#) Technical Fact Sheet dinitrotoluene (DNT), grudzień 2012

## Pierwsze badania eksperymentalne

Wstępne wyniki z laboratorium ALS wskazują na potencjalne pozytywne wykrycia heksogenu (RDX) w analizowanych próbkach. przy stężeniach w próbkach wodnych sięgających dziesiątek µg/L, a w próbkach gleby wykazujących wartości na poziomie jednocyfrowym mg/kg (w próbce pierwotnej). Chociaż obecnie nie ma wymogów legislacyjnych dotyczących systematycznego monitorowania substancji wybuchowych w środowisku, rosnąca świadomość i zrozumienie tych substancji napędzają zmiany legislacyjne. Na przykład w 2020 roku Kanada wprowadziła obowiązek monitorowania heksogenu (RDX) w wodach wykorzystywanych do produkcji wody pitnej, ustalając limit 100 µg/L ze względu na pozytywne wyniki badań na obecność RDX w wodach powierzchniowych i gruntowych w pobliżu baz wojskowych.

Wdrożenie nowych akredytowanych metod zgodnych z międzynarodowymi normami stanowi kluczowy krok w kierunku skutecznego monitorowania substancji wybuchowych w środowisku. Uzyskane wyniki potwierdzają obecność tych zanieczyszczeń w glebach i wodach oraz podkreślają konieczność ich systematycznego monitorowania. Uzyskane dane są niezbędne nie tylko do oceny zagrożeń dla środowiska, ale także do projektowania odpowiednich działań remediacyjnych.



Rysunek 5: Przykładowy chromatogram analitów (mieszana wzorców o stężeniu 10 µg/mL): (1) HMX (oktogen); (2) RDX (heksogen); (3) 1,3,5-trinitrobenzen; (4) 1,2-dinitrobenzen; (5) 1,3-dinitrobenzen; (6) 3,5-dinitroanilina; (7) tetryl; (8) nitrobenzen; (9) nitrogliceryna; (10) 2,4,6-trinitrotoluene; (11) 4-amino-2,6-dinitrotoluene; (12) 2-amino-4,6-dinitrotoluene; (13) 2,6-dinitrotoluene; (14) 2,4-dinitrotoluene; (15) 2-nitrotoluene; (16) 4-nitrotoluene; (17) 3-nitrotoluene; (18) PETN (pentryt); (19) N-nitrosodifenylamina; (20) difenylamina.

### Czas analizy (TAT):

Wyniki oznaczania materiałów wybuchowych zostaną dostarczone w ciągu 10-14 dni, w zależności od rodzaju matrycy.

Analiza ekspresowa: **NIE** jest możliwa ze względu na czas przygotowania próbki do analizy.

SCAN OR CLICK



Summary of All  
EnviroMails

Ask the  
EXPERTS