



## Wykrywanie skażeń — nowe wyzwania

WŁADYSŁAW HARMATA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,  
Instytut Chemii, Zakład Radiometrii i Monitoringu Skażeń,  
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

**Streszczenie.** Przeglądowy artykuł dotyczy aktualnej problematyki, jaką jest wykrywanie skażeń. Niestety nie można wykluczyć zagrożenia użycia broni masowego rażenia w konflikcie lokalnym przez Rosję. Dodatkowo, analizując współczesne zagrożenia, należy uwzględnić możliwość wykorzystania przez terrorystów improwizowanych urządzeń wybuchowych z nadtlenkami acetonu i urotropiny. Krajowy system rozpoznania (wykrywania) skażeń jest technicznie i proceduralnie przestarzały w porównaniu do rozwiązań stosowanych w NATO. Dominują detektory punktowe oraz patrole działające w rejonie skażeń, a w armiach NATO systemy zdalne, np. z wykorzystaniem technik lidarowych, środków bezpilotowych itp. W kraju znajdują się wszystkie elementy do utworzenia tego typu systemu rozpoznania skażeń.

**Słowa kluczowe:** nauki chemiczne, improwizowane urządzenia wybuchowe, wykrywanie i monitoring skażeń

DOI: 10.5604/01.3001.0053.8568

### 1. Wprowadzenie

Wciąż zmieniająca się sytuacja bezpieczeństwa międzynarodowego oraz pojawiające się nowe zagrożenia mają zasadniczy wpływ na charakter współczesnych operacji wojskowych. Pomimo podpisanych porozumień i konwencji następuje proliferacja broni masowego rażenia (BMR). Siły zbrojne muszą być odpowiednio przygotowane do przeciwstawienia się tym zagrożeniom oraz mieć skuteczny system obrony przed bronią masowego rażenia (OPBMR). Jednocześnie planowanie i organizowanie systemu wymaga dokładnego zrozumienia, a także właściwego i elastycznego dostosowania zasad do konkretnej sytuacji. Ma to szczególne znaczenie podczas operacji prowadzonych przez Sojusz lub siły wielonarodowe (koalicyjne).

Obserwowane nieprzestrzeganie międzynarodowej kontroli zbrojeń i zobowiązań w zakresie nierozprzestrzeniania BMR, programy rozwoju BMR oraz środków przenoszenia naruszają globalne ustalenia i stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa państwa. Niewłaściwie chroniona broń chemiczna, biologiczna, radiologiczna i jądrowa to poważne zagrożenie, szczególnie w rękach organizacji terrorystycznych.

Widać strach i niepewność w związku z wojną w Ukrainie, a zwłaszcza sytuacją w elektrowniach jądrowych (głównie w Zaporoskiej Elektrowni Jądrowej), gdzie może dojść do celowego lub przypadkowego uszkodzenia jednego (lub wszystkich) z reaktorów jądrowych i wystąpienia niebezpiecznych obszarów skażeń na bardzo dużym terenie. Strach ten jest potęgowany groźbą użycia przez Rosję broni jądrowej w konflikcie lokalnym z Ukrainą lub globalnym z NATO.

Priorytetem sił zbrojnych powinien być rozwój kluczowych zdolności przeciwdziałania się zagrożeniom CBRN. Najważniejsze są zdolności w zakresie: zdalnego wykrywania i identyfikacji skażeń, ochrony przed skażeniami, usuwania improvisowanych urządzeń wybuchowych<sup>1</sup> w środowisku zagrożenia CBRN. Siły zbrojne powinny również kontynuować doskonalenie zdolności wojsk do wsparcia działań ratowniczych w ramach zarządzania kryzysowego [1], głównie w dziedzinie rozpoznania (wykrywania) i monitoringu skażeń.

## 2. Zagrożenie terrorystyczne z wykorzystaniem IED

Początek XXI wieku to walka z międzynarodowym terroryzmem — najczęstszą formą zamachów był atak bombowy. Dokonywano ich z użyciem ładunków wybuchowych, podkładając je we wcześniej wybranych miejscach i detonując w odpowiednim czasie. Jest to o tyle niebezpieczne, że działając przez zaskoczenie, nie daje się praktycznie żadnych szans na obronę, a siła wybuchu często pochłania wiele ofiar.

Improwizowane urządzenia wybuchowe, mimo że używane były już w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku, to jednak złą sławę zyskały dopiero podczas ostatniego konfliktu w Iraku. Ataki terrorystyczne z użyciem IED w tym kraju na wojska koalicyjne spowodowały znaczne straty w stanie osobowym i sprzęcie. Szacuje się, że około 50% ofiar (ranni i zabici) wśród żołnierzy USA i koalicji biorących udział w tych konfliktach spowodowanych było przez eksplozje improwizowanych ładunków wybuchowych [2].

25 marca 2004 roku Unia Europejska przyjęła deklarację w sprawie zwalczania terroryzmu, a dokładniej restrykcje dotyczące zabezpieczenia dostępu do broni, sprzętu do konstrukcji bomb oraz materiałów wybuchowych (MW). Mimo że był to ogromny krok w stronę zwalczania terroryzmu, nadal bardzo trudna jest kontrola obiegu MW pochodzących z kradzieży bądź produkowanych nielegalnie we własnym

<sup>1</sup> EOD/ IEDD — *Explosive Ordnance Disposal/ Improvised Explosive Device Disposal*.

zakresie. Istotnym działaniem, które powinno być realizowane i udoskonalane, jest opracowanie skutecznych metod wykrywania materiałów wysokoenergetycznych, a także monitorowanie substancji stosowanych do ich syntezy [2].

Najczęściej używanymi przez terrorystów materiałami wybuchowymi są:

- różnego rodzaju gazy palne (propan-butan, tlen),
- paliwa płynne (benzyna), opcjonalnie zmieszane z nawozami sztucznymi, pestycydami,
- nadtlutki acetonu: APEX (cykliczny dimer — 3,3,6,6-tetrametylo-1,2,4,5-tetraoksan), TCAP/TATP (cykliczny trimer 3,3,6,6,9,9-heksametylo-1,2,4,5,7,8-heksaoksycyklononan), TATP (cykliczny tetramer 3,3,6,6,9,9,12,12-oktametylo-1,2,4,5,7,8,10,11-oktaoksacykloodekan);
- HMTD (nadtlenek urotropiny, nadtlenek heksaminy — 3,4,8,9,12,13-heksaoksa-1,6-diazabicyklo[4.4.4]tetradekan).

Nadtlenki acetonu i urotropiny są inicjującymi materiałami wybuchowymi, skrajnie niebezpiecznymi w przygotowaniu i użyciu, gdyż wybuchają nawet pod wpływem lekkiego potarcia lub ogrzania, a przechowywane w naczyniach sublimują do ich górnej części, przez co otwarcie takiego naczynia wiąże się z dużym ryzykiem eksplozji.

Istnieją co najmniej trzy podstawowe powody, dla których terroryści sięgają po ten rodzaj materiału wybuchowego:

- niedostateczna ilość fabrycznych materiałów wybuchowych;
- podstawowe składniki TATP (lub DADP) lub HMTD można kupić w aptekach i hurtowniach z odczynnikami chemicznymi bez jakichkolwiek zezwoleń i praktycznie nie budzi to jakichkolwiek podejrzeń;
- zaplecze laboratoryjne do produkcji tych materiałów wybuchowych jest nieskomplikowane i łatwo dostępne (wystarczą zwykłe pojemniki kuchenne i płótno), proces produkcji nie wymaga wiedzy chemicznej, a sposób przygotowania (technologie produkcji) można znaleźć w internecie.

Przedstawicielem łatwych do wykonania materiałów wybuchowych „domowej roboty” jest nadtlenek acetonu (APEX) i jego pochodne: dimer znany jako diperotlenek diacetonu (DADP) i trimer znany jako triaceton triperoxide (TATP). TATP był wielokrotnie wykorzystywany w atakach bombowo-samobójczych oraz w improwizowanych urządzeniach wybuchowych. Został użyty przez zamachowców-samobójców w zamachach w: Paryżu w listopadzie 2015 roku [3], w Brukseli w marcu 2016 roku [4], w Manchester Arena w maju 2017 roku, w Brukseli w czerwcu 2017 roku [5], w Parsons Green w Londynie we wrześniu 2017 roku [6], w Surabaya w maju 2018 roku [7] oraz zamachach wielkanocnych na Sri Lance w kwietniu 2019 roku [8].

„Terroryści prawdopodobnie nadal będą produkować i wykorzystywać TATP w IED ze względu na łatwo dostępne i niedrogie materiały prekursorskie w połączeniu z szeroko dostępnymi instrukcjami, co skutkuje stałym zagrożeniem dla bezpieczeństwa publicznego i pierwszych respondentów. TATP jest domowej roboty

materiałem wybuchowym (HME), który był szeroko stosowany nielegalnie w ciągu ostatnich dwóch dekad. Pierwszy zgłoszony atak terrorystyczny z użyciem TATP miał miejsce w Izraelu w 1980 r., a amerykańskie organy ścigania zetknęły się z TATP już w 1983 r. podczas dochodzenia w Kalifornii. Instrukcje dotyczące wytwarzania TATP pojawiły się od tego czasu w różnych mediach, w tym w książkach, czasopiśmie, źródłach internetowych i komunikatach terrorystycznych. Ciągłe doniesienia mediów na temat HME, w tym doniesienia mylące TATP z innymi rodzajami HME, mogą również napędzać zainteresowanie TATP” [9].

Koszt „domowej” syntezy 15 kg TATP to około 500 zł [10].

Jedną z największych zalet wykorzystania TATP dla terrorystów była jego niewykrywalność. To jeden z nielicznych materiałów wybuchowych niezawierających azotu, dlatego też mógł pozostać niewykryty przez standardowe detektory materiałów wybuchowych, zaprojektowane do wykrywania obecności cząsteczek z azotem. Z drugiej strony TATP jest bardzo niestabilny, co czyni go podatnym na przypadkową detonację.

Innym przykładem organicznego związku o wysokiej wybuchowości, często klasyfikowanego jako „domowej roboty”, są pochodne urotropiny. Jest to materiał wybuchowy bardziej czuły niż TATP. Prekursorami tej substancji są: heksamina, nadtlenek wodoru oraz kwas (np. kwas octowy lub cytrynowy) — odpowiedzialny za zapewnienie kwaśnego środowiska katalitycznego. Pomimo że ma zbliżone właściwości do TATP, HMTD nie zyskał popularności jako narzędzie działań terrorystycznych. Było to prawdopodobnie spowodowane obecnością wielu atomów azotu w pojedynczej cząsteczce, co sprawia, że związek ten jest znacznie lepiej wykrywalny.

### 3. Analiza krajowego systemu rozpoznania i identyfikacji skażeń

W przypadku wystąpienia na terytorium kraju skażeń chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych oraz w czasie wprowadzenia stanu nadzwyczajnego uruchamiany jest jednolity Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania — KSWSiA. Jednym z głównych organów koordynacyjnych tego systemu jest Centralny Ośrodek Analizy Skażeń (pełni on funkcję centrum dyspozycyjnego), a nadzór sprawuje Minister Obrony Narodowej. W skład tego systemu wchodzi:

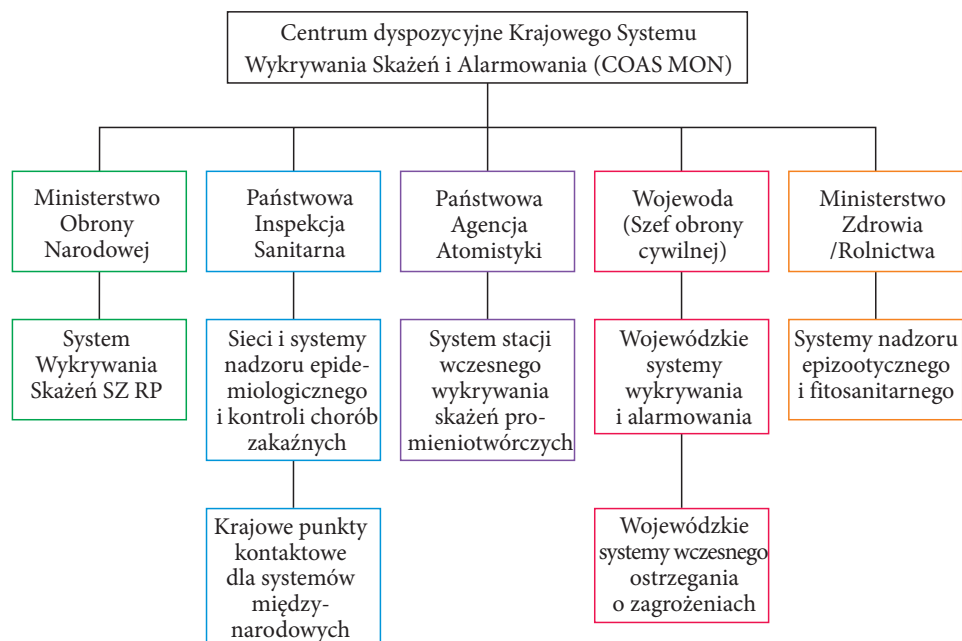
- system wykrywania skażeń SZ RP;
- elementy systemów wykrywania skażeń biologicznych (tj. nadzór epidemiologiczny, inspektorat sanitarny oraz wymiana informacji z organizacjami międzynarodowymi, np. WHO);
- system wykrywania skażeń promieniotwórczych, oparty na stacjach wczesnego wykrywania koordynowanych przez Państwową Agencję Atomistyki;

- wojewódzkie systemy wykrywania i alarmowania SWiA oraz wojewódzkie systemy wczesnego ostrzeżenia o zagrożeniach SWO;
- systemy nadzoru epizootycznego, fitosanitarnego, nadzoru nad bezpieczeństwem produktów pochodzenia zwierzęcego i paszami oraz nad produktami rolno-spożywczymi [11, 12].

System ma zapewnić współdziałanie systemów realizujących zadania dotyczące monitorowania, wykrywania skażeń i alarmowania o nich na terytorium kraju. Ponadto jest źródłem informacji dotyczących skażeń w ramach Systemu Zarządzania Kryzysowego. Proces uruchomienia i rozwinięcia wszystkich elementów systemu inicjuje Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, a uruchomienie KSWSiA zachodzi:

- przez decyzję Rady Ministrów,
- rekomendację ministrów kierujących resortami i jednostkami organizacyjnymi wchodzącymi w skład KSWSiA,
- na prośbę Wojewody, Komendanta Głównego Policji, Komendanta Głównego Straży Granicznej, Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej, Szefa Sztabu Generalnego WP, Prezesa PAA, GIS, Dyrektora Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa lub Dyrektora Urzędu Morskiego [12].

Strukturę systemu przedstawiono na poniższym schemacie (rys. 1).



Rys. 1. Schemat struktury KSWSiA [11]

Ponadto wymienione powyżej systemy muszą charakteryzować się jednolitością interoperacyjności, co będzie odzwierciedlało zastosowanie jednolitych:

- metod obserwacji i pomiarów skażeń,
- formatów meldunków i informacji o skażeniach,
- procedur przekazywania meldunków i informacji o skażeniach,
- schematów obiegu i wymiany informacji o skażeniach [11].

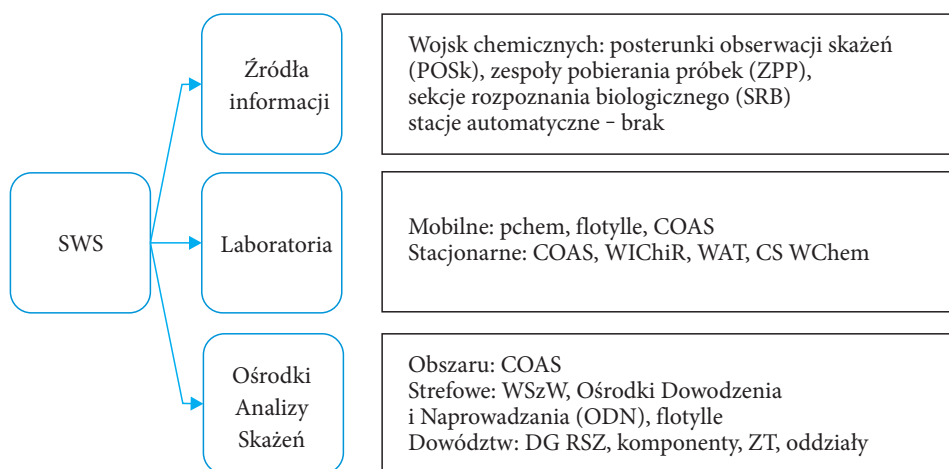
#### 4. System wykrywania skażeń SZ RP

**System wykrywania skażeń (SWS)** to zorganizowany układ elementów powiązanych wzajemnymi relacjami organizacyjno-technicznymi, przeznaczony do zdobywania, gromadzenia, przetwarzania i analizowania informacji o zdarzeniach CBRN, powstałych w ich wyniku skażeniach, a także o potencjalnych źródłach zagrożeń CBRN [13]. W jego skład wchodzi:

- źródła informacji,
- laboratoria analityczne,
- ośrodki analizy skażeń, w tym:
  - ośrodki analizy skażeń dowództw (w zależności od szerebła dowodzenia — *CBRN Sub Collection Centres* lub *CBRN Collection Centres*),
  - ośrodki analizy skażeń strefowe (ang. *CBRN Zone Control Centres*),
  - ośrodki analizy skażeń obszaru (ang. *CBRN Area Control Centre*) [14, 15].

Elementy systemu ostrzegania i meldowania powinny być utworzone na wszystkich szczeblach dowodzenia [16].

Na rysunku 2 przedstawiono skład i strukturę SWS SZ RP.



Rys. 2. Skład i struktura SWS [13]

### *Cel i zadania SWS*

Celem działania SWS jest zapewnienie dowódcom i sztabom wszystkich szczebli dowodzenia SZ RP informacji o wykrytych uderzeniach BMR oraz uwolnieniach środków promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych, a także o powstałych w ich wyniku skażeniach. Informacje te są niezbędne do:

1. ostrzegania i alarmowania wojsk własnych i sojusznicznych;
2. planowania działań bojowych w warunkach użycia BMR oraz wystąpienia skażeń promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych;
3. planowania i organizowania obrony przed bronią masowego rażenia w czasie pokoju, kryzysu i wojny [15].

Do podstawowych zadań SWS należą:

1. monitoring skażeń w wyznaczonych obiektach, rejonach i strefach;
2. wykrywanie uderzeń bronią jądrową, chemiczną i biologiczną oraz uwolnień środków promieniotwórczych, chemicznych lub biologicznych spowodowanych zdarzeniami typu CBRN;
3. prognozowanie sytuacji skażeń promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych powstałych w wyniku uderzeń BMR lub zdarzeń typu CBRN;
4. ostrzeganie i alarmowanie zagrożonych jednostek wojskowych o skażeniach powstałych w wyniku uderzenia BMR lub zdarzeniach typu CBRN;
5. wykrywanie w terenie skażeń promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych;
6. prowadzenie rozpoznania w celu określenia charakteru i stopnia skażenia promieniotwórczego, biologicznego i chemicznego oraz określenia granic obszarów niebezpiecznych;
7. oznakowanie rejonów skażonych i niebezpiecznych;
8. odtwarzanie i ocena rzeczywistej sytuacji skażeń promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych na podstawie danych z rozpoznania;
9. ocena sytuacji skażeń promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych oraz ich wpływu na działania wojsk;
10. meldowanie przełożonym wniosków i propozycji działań wpływających z oceny sytuacji i skutków uderzeń BMR, a także uwolnień środków promieniotwórczych, chemicznych oraz biologicznych spowodowanych zdarzeniami typu CBRN;
11. organizowanie pobierania, przygotowanie do transportu oraz analiza próbek skażonych: powietrza, gleby, wody i innych materiałów;
12. prowadzenie baz danych o uderzeniach BMR, skażeniach oraz substancjach niebezpiecznych stwarzających zagrożenie dla działań SZ RP;
13. określanie warunków atmosferycznych w przyziemnej warstwie powietrza oraz zbieranie i opracowywanie danych o średnich wiatrach w górnych warstwach atmosfery;

14. wymiana informacji pomiędzy jednostkami wojskowymi, siłami NATO i układem pozamilitarnym o uderzeniach BMR, a także uwolnieniach środków promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych spowodowanych zdarzeniami typu CBRN, a także powstałych w ich wyniku skażeniach;
15. udział w wykonywaniu zadań związanych z ochroną środowiska naturalnego, zgodnie z dokumentami normatywnymi obowiązującymi w SZRP [15].

### *Podstawowe wyposażenie*

Metody stosowane do wykrywania i w monitorowaniu atmosfery z punktu widzenia sposobu pobierania próbek do analizy można podzielić na dwie grupy: próbkowanie w miejscu występowania zanieczyszczeń (metody działania miejscowego, punktowe — „in situ”) [17] oraz zdalna detekcja, identyfikacja i pomiar stężenia w odległości od kilkuset metrów do kilkuset kilometrów (metody „stand-off” i „remote”) [18]. W pierwszej grupie metod, z powodu rozdzielania w czasie i przestrzeni miejsc pobrania próbki i jej analizy, dokładność i wiarygodność pomiarów są ograniczone. Metody zdalne pozbawione są tych wad i w zależności od zastosowanej techniki pomiarowej umożliwiają prowadzenie monitorowania atmosfery nawet na wielokilometrowych odległościach. W zdalnej detekcji szczególną rolę odgrywają metody i technologie optoelektroniczne, które jako bardzo precyzyjne narzędzie do wykrywania i pomiaru stężenia zanieczyszczeń, w tym bojowych środków trujących i środków biologicznych, stopniowo wypierają w systemach analizy skażeń dotychczas stosowane metody chemiczne i biochemiczne. Do najważniejszych zalet metod optoelektronicznych należy zaliczyć możliwość automatyzacji pomiaru, wiarygodność wyników, możliwość dokonywania pomiarów bez konieczności pobierania próbki, a także zintegrowanie różnych systemów elektrooptycznych w procesie akwizycji, przetwarzania i transmisji danych pomiarowych [19].

W wyposażeniu systemu rozpoznania (wykrywania) skażeń Sił Zbrojnych RP dominują detektory punktowe. Do wykrywania skażeń chemicznych wykorzystuje się głównie przyrządy bazujące na metodach kolorymetrycznych, np. PChR-54M, PPChR, GSA; chromatograficznych: AP-2C, AP-4C (metoda płomieniowo-fotometryczna) oraz spektrometrycznych: ALERT, CAM-2, GID-3 (spektrometria ruchliwości jonów), PRChR (detektor — impulsowa komora jonizacyjna). Do wykrywania skażeń promieniotwórczych służą radiometry DPS-68M, DP-75 i DPO. W systemie brakuje przyrządów do wykrywania skażeń biologicznych, jak również środków technicznych do automatycznego wykrywania skażeń.

Środki mobilne, ruchome laboratoria chemiczno-radiometryczne, są rozwiązaniami z połowy ubiegłego wieku, podobnie jak transportery do rozpoznania skażeń.

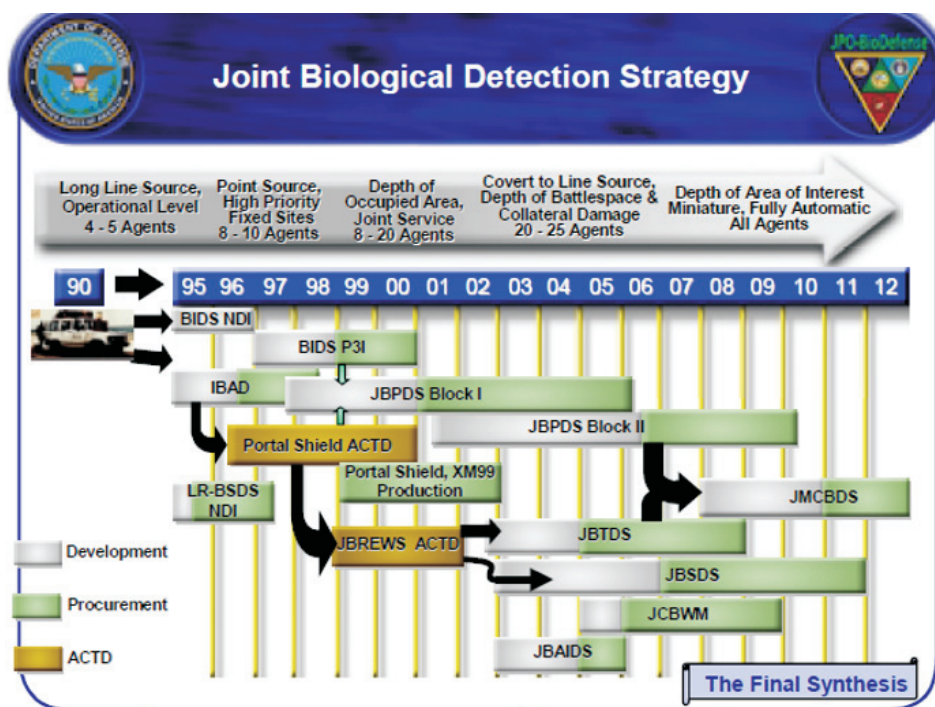


## 5. System wykrywania skażeń w SZ NATO

System wykrywania skażeń w armiach NATO jest wyposażony w detektory punktowe, ale podstawowe zadania realizowane są przez systemy zdalne.

Zdalne wykrywanie skażeń wykorzystywane jest głównie w sieciach monitoringu skażeń chemicznych i biologicznych, których celem jest skuteczna ochrona ważnych obiektów infrastruktury państwowej, a także narażonych na skażenie pododdziałów wojsk.

We wspólnej strategii wykrywania zagrożeń biologicznych w NATO można wyróżnić następujące etapy prac i wdrożeń (rys. 3).



Rys. 3. Wspólna strategia wykrywania skażeń biologicznych w NATO [20]

Przykładem tej strategii może być system LRBSDS (*Long Range Biological Standoff Detection System*) — pozwala na wykrycie chmury aerozolu w promieniu 30 km; wersja JBSDS (*The Joint Biological Standoff Detection System*) — unowocześniona, w pełni automatyczna wersja LRBSDS, rozróżnia aerozole biologiczne od niebiologicznych oraz pozwala na monitorowanie ruchu chmury. IBADS (*The Interim Biological Agent Detection System*) — umożliwia wstępną identyfikację

patogenów na podstawie testów immunochromatograficznych. JPS (*The Joint Portal Shields*) — wysoce zautomatyzowany system detekcji, również wykorzystujący testy immunochromatograficzne, całość sterowana przez centralny komputer JBPDS (*The Joint Biological Point Detection System*) — wykrywa obecność cząstek biologicznych w ciągu 60 sekund i pozwala na identyfikację dziesięciu patogenów w 20 minut. FLAPS (*Fluorescence Aerodynamic Particle Sizer*) — oprócz szybkiej detekcji wysyła informację do centrów dowodzenia [21].

Opracowany i wdrożony *Biological Integrated Detection System* (BIDS) w wersji BIDS P3I oferuje rozszerzoną, półautomatyczną zdolność wykrywania i identyfikacji substancji biologicznych (rys. 4). Wykorzystuje się urządzenia umożliwiające pomiar wielkości aerozolu, liczbę cząstek oraz biologiczną fluorescencję. W systemie P3I wykorzystywany jest detektor bioluminescencyjny w postaci tandemowego instrumentu pirolizy MS oraz automatycznym przyrządem do analiz immunochromatycznych.



Rys. 4. Amerykański system BIDS: widok pojazdu i wnętrza [22]

W korpusie armijnym USA przewiduje się umieszczenie 35 wozów BIDS. W ramach tego programu opracowano system detekcji skażeń biologicznych dalekiego zasięgu — *Long Range Biological Standoff Detection System* (LR-BSDS). Służy on do wykrywania, śledzenia i mapowania dużych powierzchni aerozoli i jest przewidziany do montowania na pokładzie śmigłowca UH-60 Black Hawk.

System CP LR-BSDS składa się z trzech głównych komponentów:

1. bezpieczny dla oka laserowy nadajnik 100 Hz;
2. 24-calowy teleskop odbiorczy;
3. przesunięty detektor diody fotoelektronowej z wbudowanym procesorem informacyjnym zintegrowany z ramką [20].

W systemie wykorzystano technologię laserową i detekcję światła (LIDAR), pozwala na wykrywać i śledzić chmury aerozoli (z cząstkami większymi niż 1 mikron) w zakresie do 30 km (50 km dla systemu obiektywnego). LR-BSDS dostarcza informacje na temat konfiguracji chmury (rozmiar, kształt i względna intensywność)

i jej lokalizacji (zasięg, szerokość, wysokość, wysokość nad powierzchnią ziemi i współczynnik dryftu). System zapewnia również generowane komputerowo rozróżnienie pomiędzy chmurami aerozolowymi wytwarzanymi przez człowieka i naturalnymi (rys. 5).



Rys. 5. System detekcji skażeń biologicznych dalekiego zasięgu (LR-BSDS):  
w śmigłowcu, na platformie samochodowej [23]

Jednym z przyrządów często wykorzystywanych w zdalnej detekcji skażeń jest LIDAR absorpcji różnicowej. Pomiary za jego pomocą polegają na emitowaniu dwóch wiązek światła laserowego nieznacznie różniących się długościami fal, przy czym jedna z nich ma długość dopasowaną do pasma absorpcji badanego gazu. Po odbiciu od badanego obłoku trafiają do odbiornika w postaci dwóch różnych sygnałów. Na podstawie pomiarów różnicy ich amplitud określa się stężenie badanej substancji w powietrzu. Na tej metodzie oparty jest słowacki przyrząd wykrywający skażenia chemiczne **DD-CWA DIAL**. Wyniki jego pomiarów określają średnie stężenie badanego gazu znajdującego się na drodze wiązki laserowej (nie ma możliwości pomiaru stężenia lokalnego w danym miejscu). Ma on trzy tryby pracy: normalny, zgrubny oraz wysokiej dokładności. W przypadku pracy w trybie wysokiej dokładności czułość przyrządu na całej ścieżce pomiarowej wynosi odpowiednio dla GA —  $50 \text{ mg/m}^2$ , GB —  $150 \text{ mg/m}^2$ , GD —  $120 \text{ mg/m}^2$ , Vx —  $80 \text{ mg/m}^2$  oraz HD —  $500 \text{ mg/m}^2$ .

Ma wbudowany mikrokomputer, który steruje działaniem wchodzących w jego skład podzespołów. Jego maksymalny zasięg pomiarowy to 3 km, a masa wynosi 37 kg [23]. Dane pomiarowe mogą być wysłane do zewnętrznego komputera przez port USB. Badania przyrządu prowadzono w Polsce.

Oprócz detektorów aktywnych w wykrywaniu skażeń stosuje się także detektory pasywne. Nie wykorzystuje się w nich światła lasera ani innego źródła promieniowania, tylko dokonuje się pomiarów emisji promieniowania badanego skażenia występującego w powietrzu. Pomiar metodami pasywnymi polega przede wszystkim na termalnym odróżnieniu skażonej chmury powietrza od otaczającej ją tła (powietrza nieskażonego), z zastosowaniem wysokorozdzielczych kamer termowizyjnych wyposażonych w specjalne filtry. Wykorzystanie filtrów ma na celu przepuszczanie tylko wąskich zakresów promieniowania odpowiadających pasmom absorpcji badanych gazów, dzięki czemu możliwe jest zaobserwowanie zmian transmisji pochłanianego promieniowania wzdłuż drogi wiązki laserowej. Zaletą detektorów pasywnych w porównaniu do aktywnych jest ich dużo trudniejsze wykrycie ze względu na brak emisji promieniowania. Szeroko stosowanym przyrządem rozpoznania skażeń chemicznych opierającym wyniki swoich pomiarów na metodzie pasywnej z wykorzystaniem transformaty Fouriera jest **RAPIDplus** (rys. 6). Pozwala wykrywać, monitorować oraz identyfikować (na podstawie porównania otrzymanych widm z widmami zgromadzonymi w bazie danych) BST oraz TSP znajdujące się w postaci aerozoli z odległości 5 km. Przyrząd umożliwia prowadzenie obserwacji 0–360° w poziomie oraz od –10° do +50° w pionie z pomocą kamery sprzężonej z detektorem. Charakteryzuje się krótkim czasem pomiaru (10–60 sekund), włączania (40 sekund), a także wycelowania przyrządu w dowolny punkt w polu obserwacji (3 sekundy). RAPIDplus może być wykorzystywany jako przyrząd stacjonarny lub być montowany m.in. w pojazdach oraz śmigłowcach rozpoznania skażeń. Należy zauważyć, że nawet podczas ruchu wyniki pomiarów są otrzymywane w czasie zbliżonym do czasu rzeczywistego. Producent informuje, że dzięki zastosowaniu obróbki wyników pomiarów z pomocą specjalnych programów przyrząd jest pozbawiony błędnych wskazań. Jego konstrukcja umożliwia także wykonywanie pomiarów w trudnych warunkach środowiskowych. Czulość przyrządu dla poszczególnych BST oraz TSP wynosi odpowiednio: GA — 0,013 ppm, GB — 0,009 ppm, GD — 0,012 ppm, HD — 0,02 ppm, L — 0,03 ppm, CG — 0,01 ppm, SF<sub>6</sub> — 0,03 ppm, amoniak — 2,5 ppm [24, 25].

**DD-CWA-A** (rys. 7) firmy MTI SYSTEMS — przeznaczony do zdalnej detekcji substancji toksycznych w powietrzu. Urządzenie to może być montowane na statywie lub pojeździe (jako urządzenie przenośne) oraz wykorzystywane stacjonarnie. Możliwość pomiaru okrężnego 360°.



Rys. 6. Detektor pasywny RAPIDplus [24]



Rys. 7. Lidar DD-CWA-A firmy MTI SYSTEMS [26]

Rozpoznanie skażeń biologicznych to obecnie główny kierunek rozwoju światowych systemów rozpoznania. Na taki stan wpływ mają dwa czynniki: skażenia biologiczne zostały uznane za najgroźniejszy typ skażeń (trudna detekcja, szybkie rozprzestrzenianie, trudność likwidacji następstw) oraz rozpoznanie skażeń biologicznych jest zdecydowanie mniej rozwinięte niż chemicznych czy promieniotwórczych. Kwestia podziału detektorów do detekcji czynników biologicznych wygląda analogicznie do detektorów skażeń chemicznych. Wyróżniamy trzy kategorie sprzętowe: detektory punktowe, detektory do wykrywania skażeń na odległość oraz detektory wynośne. Obszarem zainteresowań tego podrozdziału są wynośne detektory do wykrywania skażeń na odległość. Mogą one działać w dwóch zasadniczych układach:

- kaskadowo — układ składa się z dwóch detektorów:
  - pierwszy ma za zadanie indykację skażenia i charakteryzuje się dużą czułością, szybkością detekcji oraz niską selektywnością na czynniki biologiczne;
  - drugi ma dokładnie określić skażenia, dlatego charakteryzuje się bardzo dużą selektywnością na czynniki biologiczne;
- wzajemna korelacja obydwu detektorów warunkuje dużą skuteczność rozpoznania;
- układ jednodetektorowy — występuje w nim jeden detektor charakteryzujący się wysoką selektywnością, czułością i szybkością detekcji czynników biologicznych. Obecnie jest w fazie tworzenia.

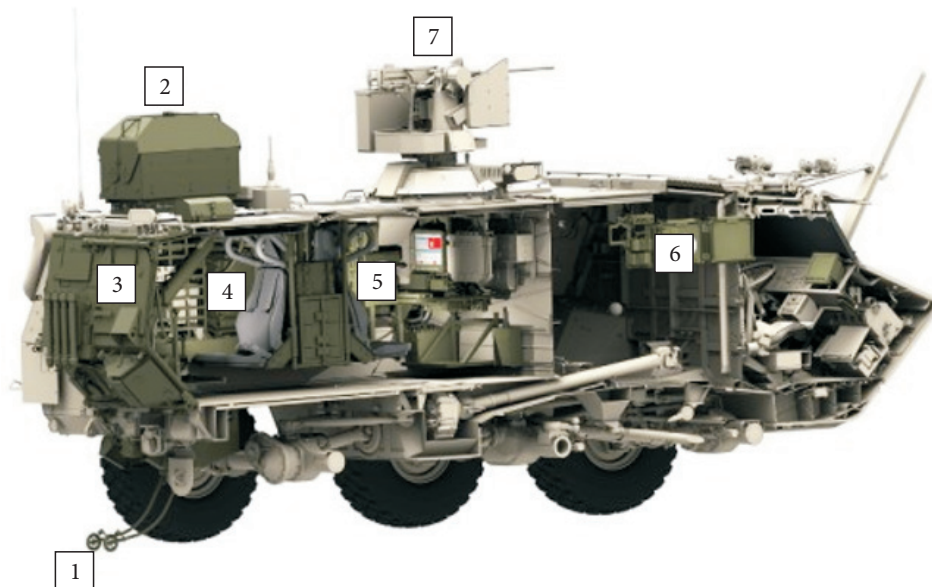
#### *Opancerzony transporter 1(2) Fuchs NBC — Niemcy [27]*

Fuchs NBC-RS (rys. 8 i 9) jest opancerzonym terenowym  $6 \times 6$  transporterem kołowym do rozpoznania skażeń. W pojeździe znajdują się przyrządy do wykrywania wybuchów jądrowych, do pomiaru dawek promieniowania gamma, a także do pomiaru niskich dawek promieniowania gamma w środowisku. Ponadto jest w nim wyposażenie do wykrywania i monitoringu skażeń promieniowaniem alfa i beta. Fuchs 2 wyposażono w system ASG 1 przeznaczony do śledzenia śladu wybuchu jądrowego z wyznaczeniem współrzędnych w połączeniu z systemem orientacji pojazdu (GPC).

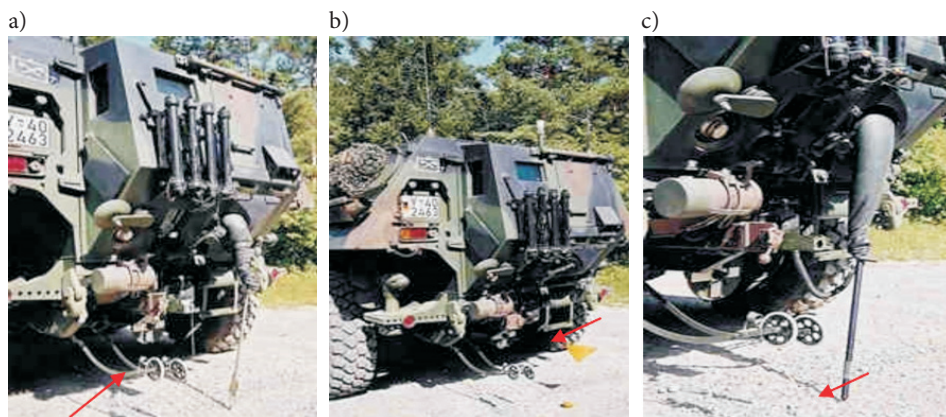
Do analizy chemicznej gleby i monitorowania powietrza wykorzystuje się mobilny spektrometr z detektorem masowym MM-1, który ma automatyczny zestaw do pobierania próbek gleby lub wody. W transporterze znajdują się: system filtrowentylacji i klimatyzacji, wyrzutnie granatów dymnych do samoosłony oraz system łączności kompatybilny z systemami USA.

W nowszych wersjach transportera ulepszono oprogramowanie w celu lepszej prezentacji danych i poleceń (meldunków), a także interfejs danych z innych jednostek, opierając się na amerykańskim systemie M43A1, oraz zamontowano nowe wyposażenie. Szczegółowo: system wykrywania, monitorowania i znakowania terenu

skażonego, detektor podczerwieni (Rapid), stacja meteorologiczna z możliwością integracji w czasie rzeczywistym danych klimatycznych z innymi danymi z czujnika data link Automated RF, GPS i żyroskop światłowodowy dla dokładnych informacji pozycyjnych, MicroCont Detector — urządzenie do wykrywania promieniowania ASG, automatyczne urządzenie do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma z zakresu  $10^{-2}$  do  $10^3$  cGy/h, miernik promieniowania gamma i rentgenowskiego w przedziale dawek od  $0,05 \mu\text{Sv/h}$  do  $10 \text{ mSv/h}$ , GC/MS typu MM-1 nowej generacji. Dla wariantu Fuchs/Fox BIO-RS: system urządzeń do wykrywania substancji biologicznych, monitorowania atmosfery, urządzenie do pobierania próbek powietrza (ciągłe pobieranie próbek gruntu lub wody, czynności sprawdzające, bezpieczne pobieranie próbek do pojemników i ich transport — specjalnie chłodzone luki magazynowe).



Rys. 8. Przekrój Spür Fuchs 2 z uwzględnieniem wyposażenia specjalistycznego: 1) zestaw podwójnych kółek do pobierania próbek — koła pokryte są silikonową powłoką z naniesionym wskaźnikiem, do której przywierają cząstki skażonej powierzchni, powodując detekcję BST; 2) zewnętrzny detektor IR (lidar) o dalekim zasięgu wykrywający w powietrzu lotne substancje. W wersji amerykańskiej zastosowano podobne urządzenie, M21 Remote Sensing Chemical Agent Sensor, wykrywające pary BST z grupy paralityczno-drgawkowych oraz parzących w odległości do 5 km; 3) „Ogon NBC” — część pojazdu używana do ręcznego pobierania próbek z zewnątrz pojazdu z wykorzystaniem szczypic i polimerowych rękawic. Znajduje się również przedział do składowania skażonych próbek; 4) spektrometr masowy — do analizowania zebranych próbek; 5) przedział operatora do obsługi programu „NBC Inspector”; 6) jednostka centralna systemu komputerowego; 7) FLW 200 — jednostka do zdalnego prowadzenia ognia [23]



Rys. 9. Pobieranie próbek oraz pomiar temperatury z FUCHS NBC RS: a) pobieranie próbek gleby chwytakiem kołowym (*grappling*); b) oznaczanie terenu skażonego; c) pomiar temperatury gleby [27]

## 6. Nowe wyzwania

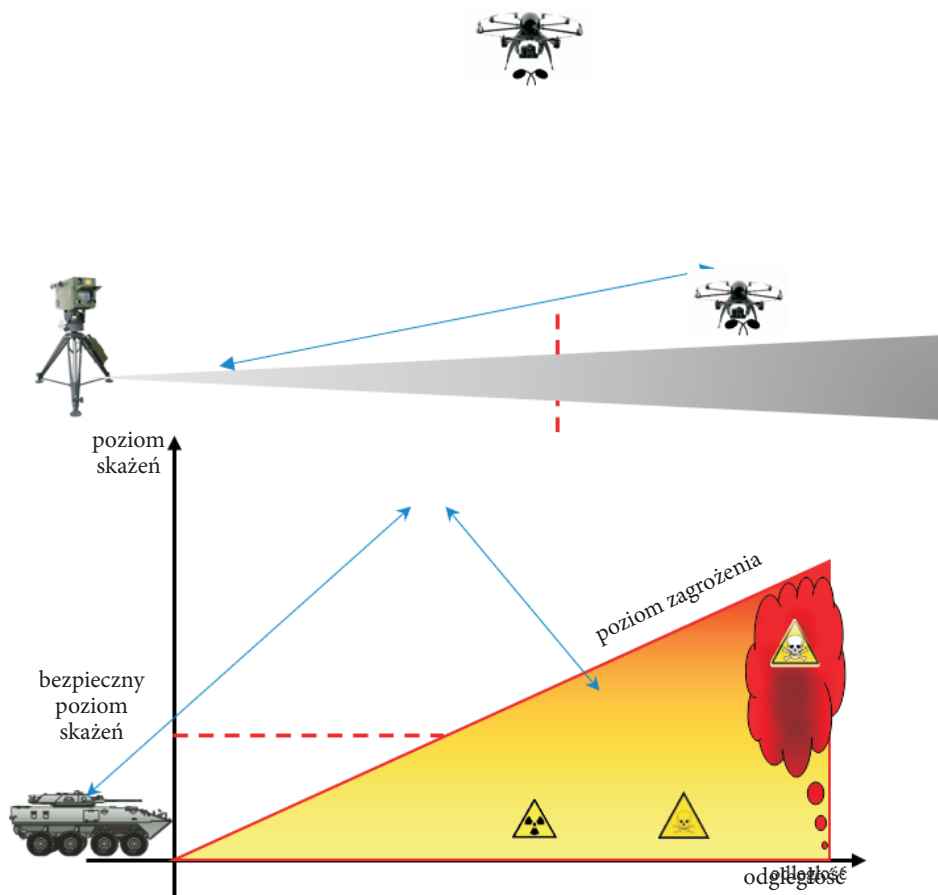
Powyższa bardzo skrótowa analiza wskazuje, że w SZ RP system rozpoznania skażeń znacząco odbiega od rozwiązań technicznych i proceduralnych stosowanych w NATO. Z instrukcji wojsk chemicznych wynika, że podstawowym elementem systemu jest patrol rozpoznania skażeń, z koniecznością wejścia na teren skażony i możliwym rozhermetyzowaniem transportera rozpoznania [15]. Takie działanie doprowadzi do skażeń ludzi i sprzętu, a tym samym konieczności prowadzenia procesów likwidacji skażeń. System może być kompletnie niewydolny w przypadku uwolnień TSP, gdyż filtropochłaniacze masek i wozów bojowych mają bardzo krótki czas ochrony, np. w przypadku amoniaku rzędu kilku — kilkunastu minut [28].

Na wzór rozwiązań stosowanych w NATO powinny być to systemy zdalnej detekcji, które można rozwiązać, wykorzystując określone technologie optoelektroniczne, a obecnie coraz częściej bezzałogowe aparaty latające. Przyszłość pokaże, czy zastosowanie dronów poszerzy zdolności i pozwoli na uzyskanie efektu synergii. Na rys. 10 przedstawiono wizualizację możliwości systemu wykrywania skażeń w zależności od stosowanej metody (środka).





Rys. 10. Wizualizacja możliwości systemu wykrywania skażeń z wykorzystaniem różnych technik



Rys. 11. Wizualizacja możliwości systemu rozpoznania skażeń [30]

Przegląd światowych rozwiązań wskazuje, że istnieje tendencja przenoszenia rozpoznania na coraz niższe szczeble, w tym nawet dla pojedynczego żołnierza, który własny środek rozpoznawczy nosi ze sobą (np. mikro-BSP), a używa go do rozpoznania celów za zasłonami terenowymi. W ten sposób, mając rozpoznanie w głąb przedpoła, żołnierz minimalizuje własne ryzyko i maksymalizuje efekt oddziaływania przez posiadanie przewagi informacyjnej. Ponadto możliwa jest zdalna detekcja skażeń oraz pełna automatyzacja pomiarów dzięki zintegrowaniu różnych systemów elektrooptycznych w procesie akwizycji, przetwarzania i transmisji danych. Połączenie różnych technik pomiarowych i czujników (np. spektrometry ruchliwości jonów, detektory półprzewodnikowe, elektrochemiczne, układy akustooptyczne, światłowodowe itp.) znacznie rozszerza możliwości pomiarowe optoelektronicznych systemów monitoringu skażeń, zapewniając wysoką dokładność i jednoznaczność wyników pomiarów. W wyniku prowadzonych w Wojskowej Akademii Technicznej od kilku lat prac obliczeniowych, analitycznych i eksperymentalnych określone zostały podstawowe widma fluorescencyjne i absorpcyjne bojowych środków chemicznych i biologicznych, widma absorpcyjne BST i TSP w zakresie podczerwieni oraz wpływ na pomiary i detekcję skażeń chemicznych i biologicznych typowych składników atmosfery, ze szczególnym uwzględnieniem pary wodnej, tlenu i dwutlenku węgla. Kluczowy dla projektowania, wykonania i badań zdalnych systemów detekcji gazów i aerozoli, oprócz znajomości ich widm absorpcji, fluorescencji i emisji, staje się wybór odpowiednich substancji symulujących substancje toksyczne — symulantów, nieszkodliwych do tego stopnia, że mogą być wykorzystane na otwartym terenie do badań budowanych systemów [19, 29].

Na rysunku 11 przedstawiono wizualizację możliwości systemu wykrywania skażeń z wykorzystaniem nowych rozwiązań technicznych.

### 8.1. Powszechność

Do końca XX wieku uzbrojenie i technika wojskowa wyposażone były w urządzenia do wykrywania skażeń. Przykładem może być urządzenie PRChR (GO-27) montowane w bojowych wozach piechoty i w czołgach. Przyrząd umożliwia wykrywanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych, niestety był i jest praktycznie niepowiązany z systemem. Jeśli został uruchomiony, dawał informację załodze o możliwym skażeniu i informację dla przełożonych. KTO „Rosomak” wyposażony był w sygnalizator skażeń chemicznych i promieniotwórczych CHERDES II-M, który służy do wykrywania i identyfikacji skażeń bojowymi środkami trującymi (BST), toksycznymi środkami chemicznymi (TSP), wykrywania skażeń promieniotwórczych, bliskich wybuchów jądrowych oraz pomiaru dawki i mocy dawki promieniowania gamma, ale obecnie wyposażanie (z przyczyn pozamerytorycznych) transporterów w sprzęt do rozpoznania skażeń zostało zawieszona. Powinno się więc wyposażać KTO „Rosomak” w elementy systemu do wykrywania, analizy i przekazywania

danych z rozpoznania skażeń. Ze względu na znaczną liczbę w SZ RP, byłyby to podstawowe źródło informacji o skażeniach z terytorium kraju. Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 12. Wyposażenie KTO „Rosomak” w elementy do rozpoznania skażeń (zakażeń): 1) automatyczny sygnalizator skażeń chemicznych i promieniotwórczych: z funkcją identyfikacji środka skażającego, z dwiema sondami radiometrycznymi (jedna umieszczona w przedziale mechanika-kierowcy, druga na zewnątrz transportera), blok wykrywania skażeń TSC i bliskich wybuchów jądrowych, z interfejsem i/lub oprogramowaniem umożliwiającym pracę w zautomatyzowanych systemach wykrywania skażeń; 2) automatyczny sygnalizator skażeń biologicznych z interfejsem i/lub oprogramowaniem umożliwiającym pracę w zautomatyzowanych systemach wykrywania skażeń; 3) integrator z kryptokomputerem z oprogramowaniem umożliwiającym zautomatyzowaną integrację zbieranych danych ze specjalistycznego sprzętu pomiarowego w trakcie tworzenia meldunków i tworzenie meldunków, których postać i zawartość jest zgodna z dokumentami normatywnymi NATO (DT-3.8.1.5 (F)) a także ich transmisję drogą radiową; 4) cyfrowa radiostacja pokładowa transportera; 5) system nawigacji wspomagany GPS

Przy takim założeniu system otrzyma dane (informacje) do alarmowania, wykonania prognozy sytuacji po skażeniach oraz wstępne dane do opracowania prognozy rzeczywistej. Warunkiem jest uruchomienie i powiązanie z Sieciocentryczną Platformą Teleinformatyczną „JAŚMIN”<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Sieciocentryczna Platforma Teleinformatyczna JAŚMIN (zwana również SPT JAŚMIN) jest zbiorem produktów TELDAT. Stanowi wielodomenowy system zarządzania walką i łącznością w siłach zbrojnych oraz kierowania, wspomagania działania służb i łączności, np. w strukturach zarządzania kryzysowego.

## 8.2. Nowe rozwiązania

**Powietrzne rozpoznanie skażeń.** Istotną zaletą powietrznego rozpoznania skażeń jest duża mobilność, która daje możliwość prowadzenia rozpoznania skażeń w miejscach o dużej mocy dawki, trudno dostępnych (nieprzejezdnych dla pojazdów naziemnego rozpoznania skażeń). Dodatkowe atuty to możliwość przystosowania się do warunków działania wojsk lądowych oraz niewielka zależność od warunków pogodowych i terenowych. Armie państw NATO wykorzystują powietrzne rozpoznanie skażeń przede wszystkim, aby określić sytuację skażeń promieniotwórczych (granice skażonych terenów oraz moc dawek promieniowania w ustalonych punktach, wysokość, szerokość i kierunek przemieszczania się obłoku promieniotwórczego) w rejonach działań militarnych (obecnych lub planowanych). Głównym powodem jest dużo większe ograniczenie ekspozycji załóg na promieniowanie podczas prowadzenia rozpoznania powietrznego niż naziemnego tego samego obszaru. Osiągane jest to m.in. dzięki dużo większej manewrowości oraz szybkości prowadzenia rozpoznania powietrznego. Wykorzystując środki powietrzne, można dotrzeć do miejsc niedostępnych dla naziemnych pododdziałów rozpoznawczych oraz rozpoznać znacznie większy obszar, przy zachowaniu dystansu do źródła skażenia [30].

Obecnie coraz powszechniej do systemu wprowadza się środki bezzałogowe, przykładowe rozwiązanie pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Dron z detektorem do rozpoznania skażeń: powierzchnia obszaru obserwacji — 450 km<sup>2</sup>; czas pełnego skanowania — regulowany od 10 s, generowanie sygnału o skażeniach — w czasie rzeczywistym; generowanie współrzędnych obłoku — w czasie rzeczywistym; kąty pomiaru: w poziomie — 360°; w pionie od -30° do +90°; prędkość kątowna skanowania — regulowana; błąd pomiaru (odległości i głębokości obłoku):  $\pm 2$  m; obsługa: jedna osoba [31]

**Bezzałogowy statek powietrzny** — głównym zadaniem mini-BSP będzie transport powietrzny elementów wchodzących w skład wyposażenia podstawowego oraz specjalnego w celu wykrywania i monitoringu skażeń w rejonie prowadzenia misji — rejon skażeń. W skład mini-BSP wejdą: system komunikacji (łączości), system stabilizujący lot, źródło zasilania, elementy umożliwiające start, lot oraz późniejsze odzyskiwanie mini-BSP. Przewiduje się, że mini-BSP będzie miał napęd elektryczny zasilany bateriami litowo-jonowymi pozwalającymi na patrolowanie przez godzinę oraz wykonanie 1,5 godz. lotu (50 km tam i z powrotem) bez konieczności ich lądowania. BSP powinien charakteryzować się dużą manewrowością, w tym możliwością prowadzenia rozpoznania, monitoringu skażeń oraz pomiaru warunków meteorologicznych tuż nad powierzchnią ziemi, nawet w trudnych warunkach terenowych. W tym celu zastosowana konstrukcja BSP umożliwi wykonywanie pionowego startu i lądowania, a także zawisu w powietrzu w celu pomiaru lub prowadzenia monitoringu skażeń w danym punkcie. Maksymalna prędkość BSP-rsk podczas obserwacji i przelotu powinna wynosić 70-140 km/h. Lot powinien odbywać się po trajektorii nisko – wysoko – nisko. Pułap lotu będzie uzależniony od rodzaju misji (rozpoznania) i może odbywać się przede wszystkim tuż nad powierzchnią gleby. Masa całkowita BSP nie powinna przekraczać 20 kg, przy czym masa przenoszonego wyposażenia powinna stanowić około 30% jej wartości.

**Wyposażenie podstawowe** — dwie kamery wyposażone w systemy stabilizacji obrazu — telewizyjna HD o wysokiej rozdzielczości nagrywanych filmów oraz termowizyjna. Oprócz kamer w BSP znajdzie się układ nawigacji, który pozwoli określić jego położenie w dowolnej chwili, a tym samym sterowanie oraz wykonanie samodzielnego lotu do zaprogramowanego miejsca w przypadku utraty łączności z naziemną stacją kontroli i sterowania.

**Wyposażenie specjalne** — wykonywanie zadań specjalistycznych oparte będzie na dwóch systemach:

- wykrywania i monitoringu skażeń,
  - pomiarów parametrów meteorologicznych (p, T).
- 1) **System wykrywania i monitoringu skażeń** może być np. zestawem trzech modułów do detekcji skażeń chemicznych, biologicznych i promieniotwórczych. Powinny to być układy (elektroniczne, optoelektroniczne) gwarantujące szybkie wykrycie, identyfikację (z założonym prawdopodobieństwem) oraz określenie stężenia substancji niebezpiecznej lub mocy dawki promieniowania. Wykorzystanie modułów będzie uzależnione od warunków pogodowych (mgła), taktycznych (stosowanie dymów maskujących) oraz rodzaju skażenia:
- a) **moduł pierwszy** w postaci zestawu czujników i sond do wykrywania i monitoringu skażeń chemicznych i biologicznych oraz podstawowych parametrów meteorologicznych (p, T) w przypadku mgły i zadymienia. W module mogłyby być wykorzystane czujniki z Mobilnej Automatycznej

Platformy Próbobiorczo-Identyfikacyjnej do wykrywania skażeń chemicznych NRC i biologicznych SPR (rys. 15 i 16). Czujniki powinny mieć bibliotekę widm substancji skażających umożliwiającą ich identyfikację przez układ;

- b) **moduł drugi** — lidar do wykrywania i monitoringu skażeń chemicznych i biologicznych oraz czujniki parametrów meteorologicznych ( $p$ ,  $T$ ) w przypadku „przejrzystej atmosfery”. Układ pomiarowy powinien mieć bibliotekę widm substancji skażających umożliwiającą ich identyfikację;
  - c) **moduł trzeci** — zestaw sond radiometrycznych oraz czujniki parametrów meteorologicznych ( $p$ ,  $T$ ) do pomiarów skażeń promieniotwórczych (głównie promieniowania  $\gamma$ ,  $\beta$  i  $n$ ).
- 2) **Integrator z kryptokomputerem** — z oprogramowaniem umożliwiającym zautomatyzowane zbieranie danych z modułów pomiarowych, tworzenie meldunków NBC zgodnych z dokumentami normatywnymi NATO DT-3.8.1.5 (F), z ich transmisją drogą radiową do komputera obsługi lub bezpośrednio do Ośrodka Analizy Skażeń (OAS).

Operator BSP będzie wyposażony w przenośny, spełniający wojskowe wymagania komputer z wgraną cyfrową mapą terenu, wyświetlający informacje niezbędne do kontroli i sterowania lotem mini-BSP oraz działaniem urządzeń pokładowych. Podstawowymi danymi dostępnymi na ekranie komputera będą:

- mapa terenu,
- pozycja BSP w danej chwili,
- trasa przelotu BSP,
- obraz z kamery dziennej/nocnej przekazywany w sposób on-line,
- zaznaczone punkty do szczegółowego rozpoznania przez BSP,
- informacje o stanie BSP (np. stan naładowania baterii, prędkość, wysokość lotu),
- informacje z systemu detekcji i monitoringu skażeń o aktualnym trybie pracy, stanie oraz bieżących wynikach pomiarów,
- informacje z systemu pomiarów warunków meteorologicznych o zmierzonych parametrach pogodowych,
- wykryte rejony skażeń oraz ich współrzędne wraz z określonym rodzajem oraz wartością stężenia (mocą dawki) środka trującego,
- położenie innych obiektów w rejonie prowadzonej przez BSP misji,
- inne dane o terenie, takie jak przeszkody terenowe, warstvice, odległość mini-BSP od punktów kontrolnych.

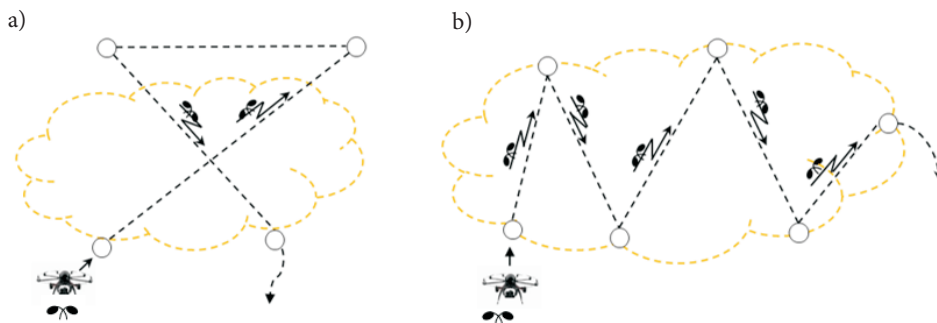
### Wykrywanie skażeń z wykorzystaniem BSP

BSP będą mogły być wykorzystywane do tzw. szczegółowego wykrywania skażeń, które jest bezpośrednim wysiłkiem zmierzającym do określenia natury i stopnia skażeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych w obszarze potwierdzonego lub podejrzanego skażenia, a także do wyznaczenia granic terenu skażonego. Może obejmować monitoring dawek promieniowania lub obecności skażeń chemicznych lub biologicznych: „bezpośredni wysiłek ukierunkowany na określenie charakteru i poziomu potwierdzonych lub spodziewanych skażeń w rejonie zainteresowania oraz określenie granic rejonu skażonego; wysiłek może być ukierunkowany na monitorowanie poziomu skażeń chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych” [32].

Wykrywanie powietrzne skażeń może być prowadzone przez pojedyncze BSP lub ich grupami, np. parą. W instrukcji [33] ustalono, że wysokość lotu nad skażonym terenem podczas wykrywania powinna wynosić 25-500 m. W czasie wykrywania konieczne będzie utrzymywanie BSP w zawisie, zwłaszcza przy rozpoznaniu punktowym i w czasie monitoringu skażeń. Wyróżnia się kilka metod prowadzenia powietrznego wykrywania, według:

- ustalonych punktów terenowych,
- kursu,
- prędkości i czasu lotu pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi.

Powietrzne wykrywanie skażeń dróg prowadzi się wzdłuż ich osi — na całych długościach dokonuje się pomiarów we wcześniej ustalonych punktach lub przedziałach czasu. Zwraca się szczególną uwagę na dokładne rozpoznanie skażeń występujących na nich przeszkód (np. przeprawy), a także miejscowości i planowanych miejsc odpoczynków. W przypadku wykrycia dużych mocy dawek lub stężeń środków trujących należy w drodze powrotnej wyznaczyć drogi obejścia i zapasowe rejonu odpoczynku [33].



Rys. 14. Powietrzne wykrywanie skażeń: a) małych stref, b) dużych stref [33]

Małe strefy rozpoznaje się pod względem skażeń przez dwukrotny przelot nad nimi po trasach prostopadłych do siebie i przecinających się pod kątem prostym na ich środku (rys. 14a). Duże strefy rozpoznaje się, wykonując lot po odcinkach trasy pod kątem 40-50° do kierunku wiatru oraz prowadząc pomiary co 2-3 km, przy czym ustalono, że średnia odległość pomiędzy odcinkami tras powinna wynosić: 1 km dla rozpoznania rejonu blisko miejsca wybuchu, 3 km dla rejonów oddalonych od miejsca wybuchu oraz 3-5 km dla rejonów znajdujących się poza granicami prognozowanych stref skażeń (rys. 14b).

### *Samobieżne roboty*

Sytuacja taktyczna, brak możliwości rozpoznania, wysokie stężenie środka, zagrożenie wybuchem, bezpieczne pobranie próbek mogą wymuszać konieczność wykorzystania naziemnych samobieżnych robotów. W kraju opracowano i przebadano Mobilną Automatyczną Platformę Próbobiorczo-Identyfikującą (MAPPI) — samobieżny robot do wstępnej identyfikacji i pobierania próbek środowiskowych [34]. W platformie zastosowano zestaw czujników do wykrywania skażeń biologicznych (zjawisko fluorescencji wzbudzonej), detekcję i pomiar skażeń bojowymi środkami toksycznymi, toksycznymi środkami przemysłowymi oraz skażeń promieniotwórczych. Do wykrywania skażeń promieniotwórczych wykorzystano sondę radiometryczną ZR-2 produkcji POLON-Alfa, natomiast substancje chemiczne wykrywano na podstawie techniki różnicowej spektrometrii ruchliwości jonów [35]. Na rysunku 15 przedstawiono układ czujników na platformie robota, a na rysunku 16 widok robota [34].



Rys. 15. Układ czujników robota do wykrywania skażeń biologicznych i chemicznych

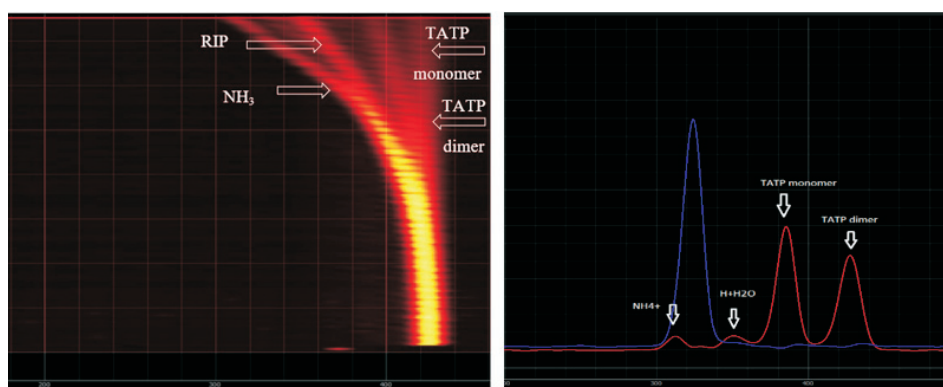




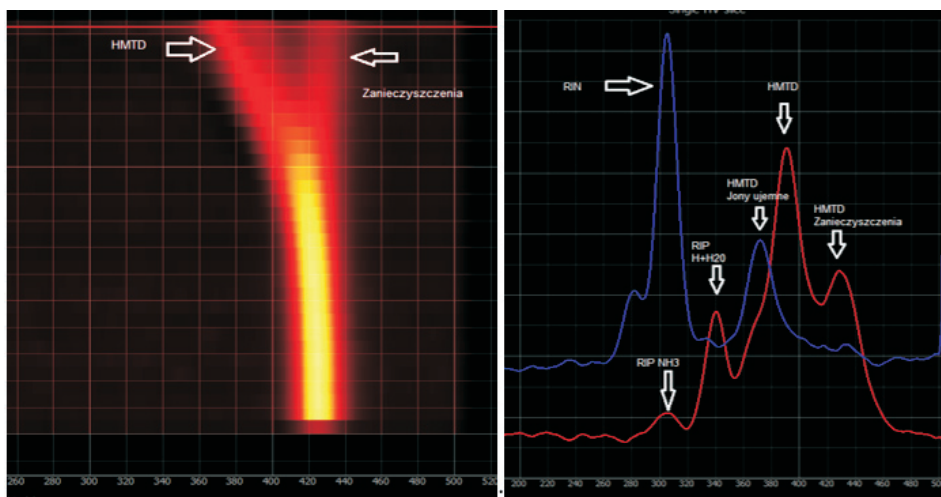
Rys. 16. Mobilna Automatyczna Platforma Próbobiorczo-Identyfikacyjna

Robot sterowany jest drogą radiową, zasięg to ok. 1 km, czas pracy na zestawie akumulatorów ok. 1 godzina.

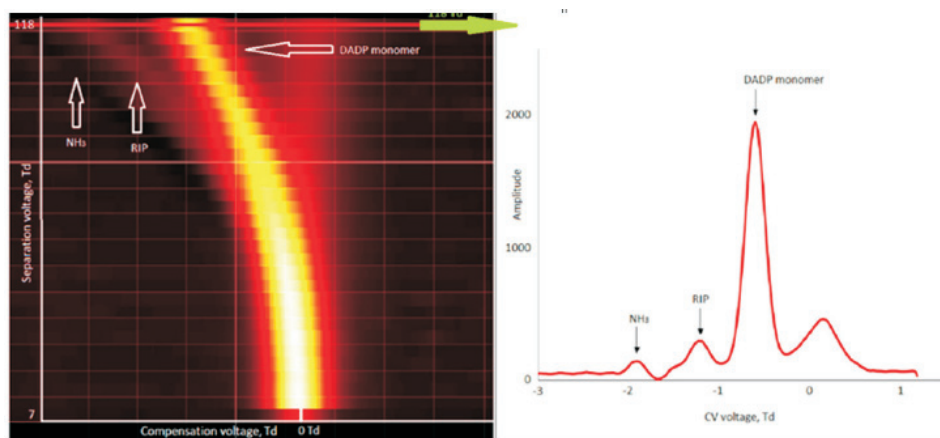
Detektor skażeń chemicznych, bazujący na technice różnicowej spektrometrii ruchliwości jonów, umożliwia wykrywanie BST, TSP oraz materiałów wybuchowych, w tym tych z grupy nadtlenków (rys. 17-19).



Rys. 17. Wykresy dyspersji dla jonów dodatnich tritlenku triacetonu (TATP) ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz widma dryftu [36]



Rys. 18. Wykresy dyspersji dla jonów dodatnich nadtlenu urotropiny (HMTD) oraz widma dryftu [36]



Rys. 19. Wykresy dyspersji dla jonów dodatnich ditlenku diacetony (DADP) ( $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz widma dryftu [37]

## Podsumowanie

Zmiany, jakie w ostatnich latach (a nawet miesiącach) zaszły w militarno-politycznych stosunkach na świecie, spowodowały konieczność nowego spojrzenia na dostosowanie SZ RP do nowej rzeczywistości.

Sugestie, że Rosja może użyć broni jądrowej, pojawiają się od początku rosyjskiej inwazji na Ukrainę. Zaczęto o tym mówić jeszcze w 2014 r., po aneksji Krymu.

W lutym tego roku Władimir Putin zapowiadał zdecydowaną reakcję, jeśli Zachód włączy się w konflikt. Rosja sugerowała nawet „eskalację” w odpowiedzi na dostawy broni dla Ukrainy. Czy to tylko cynizm mający zastraszyć społeczność międzynarodową? Również w lutym Rosja wycofała się z traktatu Nowy START, którego nie przestrzegała, gdyż jak twierdzi amerykański Departament Stanu, od co najmniej trzech lat Stany Zjednoczone nie miały możliwości inspekcji rosyjskiego arsenału jądrowego.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że położenie geopolityczne Polski, przynależność do NATO oraz strefy Schengen sprawiają, że RP może być wykorzystywana jako kraj tranzytowy, dogodna baza logistyczna dla ataków terrorystycznych przeprowadzanych w innych krajach, ale niestety nie można wykluczyć terrorystycznego ataku na obiekty na terytorium RP.

25 marca 2004 roku Unia Europejska przyjęła deklarację w sprawie zwalczania terroryzmu, a dokładniej restrykcje dotyczące zabezpieczenia dostępu do broni, sprzętu do konstrukcji bomb oraz materiałów wybuchowych. Mimo że był to ogromny krok do zwalczania terroryzmu, nadal ogromną trudnością pozostaje kontrola obiegu materiałów wybuchowych pochodzących z kradzieży bądź produkowanych nielegalnie we własnym zakresie. Najczęściej używanymi przez terrorystów materiałami wybuchowymi może być TATP (trinadtlenek triacetonu) czy HMTD (nadtlenek urotropiny) — inicjujące materiały wybuchowe, skrajnie niebezpieczne w przygotowaniu i użyciu, gdyż wybuchają nawet pod wpływem lekkiego potarcia lub ogrzania.

W krajowych systemach wykrywania nie ma wdrożonych środków do automatycznego rozpoznania (wykrywania) skażeń. System oparty jest na detektorach punktowych oraz patrolach, które muszą działać w terenie skażonym.

W SZ NATO zdalne wykrywanie skażeń wykorzystywane jest głównie w sieciach monitoringu skażeń chemicznych i biologicznych powietrza, których celem jest skuteczna ochrona ważnych obiektów infrastruktury państwowej, a także narażonych na skażenie pododdziałów wojsk.

W kraju powstało wiele niewdrożonych opracowań, z których można by było skonstruować system zdalnego wykrywania skażeń. Oprócz elementów technicznych (urządzeń, detektorów) zmianie muszą ulec procedury — wykrywający nie wchodzi w obszar skażeń. Można to osiągnąć przez:

- zastosowanie techniki lidarowej w formie mobilnej (transportery rsk, BSP) lub stacjonarnej;
- odtworzenie pilotowego i stworzenie bezpilotowego systemu rozpoznania skażeń;
- wprowadzenie mobilnych naziemnych platform.

W celu „upowszechnienia” procesu powinno się odtworzyć system na KTO Rosomak, co wobec znaczącej liczby tych transporterów umożliwiłoby uzyskanie mobilnych dajników informacji o skażeniach. Aby system spełniał współczesne wymagania i był kompatybilny z rozwiązaniami stosowanymi w NATO, powinien być zintegrowany z Sieciocentryczną Platformą Teleinformatyczną „JAŚMIN”.

Artykuł był współfinansowany ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach realizacji projektu UGB 794/WAT /2022.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.04.2023. Zatwierdzono do publikacji 23.05.2023.

Władysław Harmata <https://orcid.org/0000-0001-6271-9000>

#### LITERATURA

- [1] NATO's Comprehensive, Strategic-Level Policy for Preventing the Proliferation of Weapons of Mass Destruction (WMD) and Defending against Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Threats, 1 Sep. 09 [http://www.nato.int/cps/en/natolive/official\\_texts\\_57218.htm](http://www.nato.int/cps/en/natolive/official_texts_57218.htm) [dostęp: 03.2023].
- [2] SASKA P., KLIMENTOWSKI F., KOWALCZYK P., *Charakterystyka improwizowanych urządzeń wybuchowych stosowanych w konflikcie irackim*, Zeszyty Naukowe WSOWL, 1, 2008, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Wrocław 2008.
- [3] CALLIMACHI R., RUBIN A.J., FOURQUET L., *A View of ISIS's Evolution in New Details of Paris Attacks*, The New York Times, 19.03.2016, <https://www.nytimes.com/2016/03/20/world/europe/a-view-of-isis-evolution-in-new-details-of-paris-attacks.html> [access: 12.2022].
- [4] »*La mère de Satan*« ou TATP, *l'explosif préféré de l'EI*, le vif, 23.03.2016. <https://www.levif.be/belgique/la-mere-de-satan-ou-tatp-lexplosif-prefere-de-lei/> [access: 12.2022].
- [5] DOHERTY B., *Manchester bomb used same explosive as Paris and Brussels attacks, says US lawmaker*, Guardian, 25.05.2017, <https://www.theguardian.com/uk-news/2017/may/25/manchester-bomb-same-explosive-paris-brussels-attacks-mike-mccaul> [access: 12.2022].
- [6] DEARDEN L., *London attack: Parsons Green bombers 'still out there' more than 24 hour after Tube blast, officials warn*, Independent, 16.09.2017, <https://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/london-attack-parsons-green-bombing-tube-underground-isis-latest-suspects-still-out-there-manhunt-police-investigation-a7949951.html> [access: 12.2022].
- [7] *'Mother of Satan' explosives used in Surabaya church bombings: Police*, The Jakarta Post, 14.05.2018, <https://www.thejakartapost.com/news/2018/05/14/mother-of-satan-explosives-used-in-surabaya-church-bombings-police.html> [access: 12.2022].
- [8] BRYEN S., *'Mother of Satan' explosive used in Sri Lanka bombings*, Asia Times 24.04.2019, <https://asiatimes.com/2019/04/mother-of-satan-explosive-used-in-sri-lanka-bombings/> [access: 12.2022].
- [9] *Joint Counterterrorism Assessment Team (JCAT)*, Office of the Director of National Intelligence, National Counterterrorism Center, Frist Responder's Toolbox, [https://www.dni.gov/files/NCTC/documents/jcat/firstresponderstoolbox/78--NCTC-DHS-FBI---Triacetone-Triperoxide-\(TATP\)-pdf](https://www.dni.gov/files/NCTC/documents/jcat/firstresponderstoolbox/78--NCTC-DHS-FBI---Triacetone-Triperoxide-(TATP)-pdf) [access: 03.2023].
- [10] SZYMCZAK P., *TATP, materiał wybuchowy zwany matką szatana. Czy można go wykryć?*, Focus.pl, 23.09.2029, <https://www.focus.pl/artykul/czy-tatp-materia-wybuchowy-zwany-matk-szatana-mona-wykry> [dostęp: 03.2023].
- [11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 stycznia 2013 r. w sprawie systemów wykrywania skażeń i powiadamiania o ich wystąpieniu oraz właściwości organów w tych sprawach, Dz.U. 2013, poz. 96, <http://isap.sejm.gov.pl/>, [dostęp: 04.2023].
- [12] Plan współdziałania jednostek organizacyjnych wchodzących w skład jednolitego krajowego systemu wykrywania skażeń i alarmowania, MON, Warszawa 2011.

- [13] System OPBMR wg poglądów NATO, Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania, w tym System OPBMR z Podsystemem Wykrywania Skażeń, Prezentacja autorstwa Wydziału Analiz COAS, udostępniona dzięki życzliwości Centralnego Ośrodka Analizy Skażeń, Warszawa 2021.
- [14] SOLARZ J., *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach Cz. I*, AON, Warszawa 2011.
- [15] *Instrukcja systemu wykrywania skażeń w SZ RP*, OPChem. 391/2002, MON Sztab Generalny WP, Warszawa 2002.
- [16] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD-3.8(B)*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych, Szkol. 978/2020.
- [17] SAMUELS A.C., DELUCIA F.C., MCNESBY K.L., MIZIOLEK W., *Laser-induced breakdown spectroscopy of bacterial spores, molds, pollens and protein: initial studies of discrimination potential*, Applied Optics, 42, 30, 2003, 6205-6209.
- [18] BELL A., DAUM R., JOHNSON T., *Detection of chemical agents in the atmosphere by passive IR remote sensing*, [in:] *Internal Standardization and Calibration Architectures for Chemical Sensors*, Proceedings of SPIE, 3856, 2000, 44-56.
- [19] GIETKA A., MIERCZYK Z., MUZAL M., *Optoelektroniczne systemy zdalnego wykrywania skażeń i zanieczyszczeń atmosfery*, Biuletyn WAT, 55, 2, 2006, 21-35.
- [20] *Biological Detection System Technologies Technology and Industrial Base Study. A Primer on Biological Detection Technologies*, final report, Prepared for the North American Technology and Industrial Base Organization (NATIBO), Prepared by TRW Systems and Information Technology Group February 2001.
- [21] Prezentacja na temat *Broń biologiczna*, <http://slideplayer.pl/slide/435207/> [dostęp: 02.2023].
- [22] Biological Integrated Detection System (BIDS), [https://www.google.pl/search?q=Biological+Integrated+Detection+System+\(BIDS\)](https://www.google.pl/search?q=Biological+Integrated+Detection+System+(BIDS)) [dostęp: 02.2023].
- [23] HARMATA W., *Ochrona przed skażeniami. Cz. V. Wybrane zagadnienia organizacyjne i techniczne rozpoznania skażeń*, WAT, Warszawa 2020.
- [24] Zdalny detektor RAIDplus, Bruker.com. <https://www.bruker.com/pl/products-and-solutions/cbrne-detectors/ft-ir/rapid-plus.html> [dostęp: 02.2023].
- [25] BEIL A., *Real time remote detection and cloud imaging of CWA and TIC using high speed FTIR systems*, Fifth Joint Conference on Standoff Detection for Chemical and Biological Defense, 2001.
- [26] BARNASCOLLE F.P., FERVEL F., VALLAYER B., *CWA Stand-off Detection, a New Figure-of-Merit: the Field Surface Scanning Rate*, 11th International Symposium on Protection against Chemical and Biological Warfare Agents, Sweden, June 2013, [https://www.researchgate.net/publication/280313970\\_CWA\\_Stand-off\\_Detection\\_a\\_New\\_Figure-of-Merit\\_the\\_Field\\_Surface\\_Scanning\\_Rate](https://www.researchgate.net/publication/280313970_CWA_Stand-off_Detection_a_New_Figure-of-Merit_the_Field_Surface_Scanning_Rate)
- [27] IHS Jane's EOD & CBRNE Defence Equipment 2014-2015.
- [28] HARMATA W., *Ochrona przed skażeniami. Cz. III. Podstawy teoretyczne i rozwiązania praktyczne w dziedzinie zbiorowych środków ochrony przed skażeniami*, WAT, Warszawa 2015.
- [29] MIERCZYK Z., *Optoelektroniczne systemy monitorowania zagrożeń*, materiały z V Konferencji Naukowo-Technicznej „Zastosowania technik obserwacji Ziemi”, Zielonka 2010.
- [30] HARMATA W., WITCZAK M., PIETRZAK G., *Aerial detection of contamination with the use of unmanned vehicles — development prospects*, Scientific Journal of the Military University of Land Forces, 50, 1, 2018, 5-24.
- [31] HARMATA W., WITCZAK M., *Rozpoznanie skażeń w Polsce — aktualny stan wiedzy*, BiTP, 52, 4, 2018, 20-45.

- [32] AAP-21(B), *Słownik terminów i definicji NATO dotyczący zagrożeń chemicznych, biologicznych, radiologicznych i nuklearnych*, Agencja Standaryzacyjna NATO, 2006.
- [33] Instrukcja o powietrznym rozpoznaniu skażeń, MON, Chem. 306/82, Warszawa 1982.
- [34] Robot wykryje użycie broni biologicznej, *Badania i nauka*, Politechnika Warszawska, <https://www.pw.edu.pl/Badania-i-nauka/Badania-Innowacje-Technologie-BIT-PW/Robot-wykryje-uzycie-broni-biologicznej> [dostęp: 04.2023].
- [35] SIKORA T., MAZIEJUK M., CEREMUGA M., BUCZKOWSKA A., *Technologie mobilne w polowej identyfikacji zagrożeń biologicznych*, [w:] J. Kocik, J. Dziuban, A. Górecka, *Mobilne laboratorium do poboru próbek środowiskowych i identyfikacyjnych zagrożeń biologicznych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014.
- [36] SZAJNER-KONDASZEWSKA O., *Wykrywanie 3,3,6,6-tetrametylo-1,2,4,5-tetraoksanu (TATP) i 3,4,8,9,12,13-heksaoksa-1,6-diazabicyklo [4.4.4] tetradekanu (HMTD) za pomocą różnicowego spektrometru ruchliwości jonów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2022.
- [37] MAZIEJUK M., SZYPOSZYŃSKA M., SPŁAWSKA A., WIŚNIK-SAWKA, M., CEREMUGA M., *Detection of Triacetone Triperoxide (TATP) and Hexamethylene Triperoxide Diamine (HMTD) from the Gas Phase with Differential Ion Mobility Spectrometry (DMS)*, *Sensors*, 21, 2021, 4545.

## W. HARMATA

### Contamination detection — new calls

**Summary.** The overview article deals with the current issue of contamination detection. Unfortunately, the threat of the possibility of using weapons of mass destruction in a local conflict caused by Russia cannot be excluded. In addition, analysing contemporary threats, it is necessary to take into account the possibility of activity of terrorists using improvised explosive devices with acetone and utropin peroxides. The country's contamination reconnaissance (detection) system is technically and procedurally outdated compared to NATO solutions. Point detectors and patrols operating in the area of contamination dominate, while in NATO armies remote systems, e.g., using lidar techniques, unmanned means, etc., are used. Poland has all the elements to establish this type of contamination reconnaissance system.

**Keywords:** chemical sciences, improvised explosive devices, detection and monitoring of contamination.

**DOI:** 10.5604/01.3001.0053.8568