

dr hab. inż. Władysław Harmata, prof. WAT<sup>a)</sup>\*, gen. bryg. (r) Marek Witczak, prof. wizyt. WAT<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii / Military University of Technology, Faculty of Advanced Technologies and Chemistry

\*Autor korespondencyjny / Corresponding author: [wladyslaw.harmata@wat.edu.pl](mailto:wladyslaw.harmata@wat.edu.pl)

## Rozpoznanie skażeń w Polsce – aktualny stan wiedzy

Diagnosis of Contamination in Poland – Current State of Knowledge

Распознавание загрязнений в Польше – использование современных разработок

### ABSTRAKT

**Cel:** Celem artykułu jest prezentacja aktualnego stanu wiedzy nt. prowadzenia rozpoznania skażeń w systemie automatycznym za pomocą środków bezzałogowych.

**Wprowadzenie:** Narasta hipotetyczne zagrożenie skażeniami na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej (RP), których źródłami mogą być katastrofy i awarie techniczne w zakładach przemysłowych (w tym w elektrowniach jądrowych) oraz niekontrolowane uwolnienia wysoko toksycznych substancji chemicznych w czasie transportu, a także czego nie można wykluczyć – terrorizm. W niniejszej pracy zasygnalizowano dylematy systemu rozpoznania skażeń w Siłach Zbrojnych RP (SZ RP) dotyczące głównie jego elementów technicznych i organizacyjnych. Przedstawiono opracowania techniczne, które wykorzystywane są w armiach NATO do automatycznego rozpoznania (wykrywania) skażeń. Zaproponowano elementarny sposób działania systemu podczas wykonywania zadań. Wprowadzenie rozwiązań automatycznych w znacznym stopniu zwiększyłoby efektywność działania Systemu Wykrywania Skażeń w SZ RP (SWS SZ RP), ale także innych cywilnych podsystemów funkcjonalnych w Krajowym Systemie Wykrywania Skażeń i Alarmowania (KSWSiA). Za ich wykorzystaniem przemawia wiele zalet takich jak m.in. brak konieczności narażania personelu na skażenie oraz wysoka mobilność.

**Wnioski:** Na terytorium RP istnieje realne zagrożenie skażeniami powstałymi po niekontrolowanym uwolnieniu wysoko toksycznych substancji chemicznych z ponad 400 zakładów przemysłowych, mogących być potencjalnymi źródłami poważnych awarii. Uwolnienie do środowiska może zostać spowodowane czynnikami naturalnymi (np. huragany, powodzie, trzęsienia ziemi) lub przez człowieka w sposób nieświadomy (np. przez błąd ludzki) lub świadomy (np. jako akt terrorizmu). W analizie nie można pominąć zagrożeń od reaktorów jądrowych znajdujących się przy granicach RP oraz od środków automatycznych np. typu lidar, dron, robot lub ich połączeń: dron z lidarem, robot z lidarem lub desantowana mikropaleta (z zestawem czujników, systemem analizy i przekazywania sygnału) o określonym czasie eksploatacji (np. 24 h) typu amerykańskiego Organic Air Vehicle.

**Słowa kluczowe:** rozpoznanie skażeń, środki bezzałogowe

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

Przyjęty: 17.07.2018; Zrecenzowany: 22.11.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Identyfikator ORCID autorów: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witczak – 0000-0001-9743-7150;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

### ABSTRACT

**Aim:** The aim of this paper is to present the current state of knowledge on the reconnaissance of contamination in the automatic system by unmanned means.

**Introduction:** The hypothetical threat of contamination in the territory of the Republic of Poland (RP) is growing. This threat may be caused by technological disasters and technical failures in industrial plants (including nuclear power plants) and also uncontrolled releases of highly toxic chemicals during transport, and in some cases, which cannot be ruled out, also by terrorism. This work introduces the dilemmas of the contamination reconnaissance system of the Polish Armed Forces, mainly their technical and organisational elements. It presents technical studies that have been used in NATO armies for the automated reconnaissance (detection) of contaminations. The basic operation of the system for the performance of its tasks is proposed. The implementation of automated systems would significantly increase the effectiveness of the Reconnaissance System of the Polish Armed Forces (SWS).

SZ RP), but also of other civil functional subsystems in the National Alert and Detection System (KSWSiA). Automated recognition systems have many advantages such as there being no need to expose staff to contamination and high mobility.

**Conclusions:** There is a real threat that the territory of the Republic of Poland could become contaminated through the uncontrolled release of highly toxic chemicals from over 400 industrial plants that could be potential sources of major failures. Releases to the environment may be caused by natural factors (e.g. hurricanes, floods, earthquakes) or by unintentional (e.g. human error) or deliberate (e.g. act of terrorism) human activity. This analysis should not ignore threats posed by nuclear reactors located near the borders of the Republic of Poland and by pathogens. The Contamination Detection System of the Polish Armed Forces is incompatible in procedural terms with analogous solutions existing in NATO member states. In these countries it is preferable to use automated systems based on the latest technological developments, while in the Polish Armed Forces the systems employed are manually operated and obsolete. CBRN information management should be not only an instructional record, but a real element of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence (CBRN Defence) system. The task involving risk assessment and forecasting should be an anticipatory task based on present inventory levels in plants and contribute to planning the deployment of the elements of the Contamination Detection System. The contamination reconnaissance system, modelled on the basis of the solutions available in NATO armies, should employ automatic means such as lidar, drones and robots or their joint implementation – drones with lidar, robots with lidar or dropped micro-pallets (with a set of sensors and a signal analysis and alerting system) with a specific service life (e.g. 24 h) – such as the US Organic Air Vehicle.

**Keywords:** contamination reconnaissance, unmanned systems

**Type of article:** review article

Received: 17.07.2018; Reviewed: 22.11.2018; Accepted: 20.12.2018;

Authors' ORCID IDs: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witzczak – 0000-0001-9743-7150;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Целью статьи является представление современных разработок в сфере проведения диагностики загрязнений при помощи автоматической системы с использованием беспилотных средств.

**Введение:** Гипотетическая угроза загрязнений на территории Республики Польша (РП) растет, их источниками могут быть техногенные катастрофы, аварии на промышленных предприятиях (в том числе на атомных электростанциях) и неконтролируемые выбросы высокотоксичных химических веществ во время транспортировки, а также то, что нельзя исключать - терроризм. В этом документе были обозначены дилеммы системы распознавания загрязнений в Вооруженных силах Республики Польша (СРЗ ВС РП), связанные главным образом с ее техническими и организационными составляющими. Представлены технические разработки, которые используются в армиях НАТО для автоматического распознавания (обнаружения) загрязнений. Предложен простейший способ работы системы во время выполнения задач. Внедрение автоматизированных решений значительно повысит эффективность системы распознавания загрязнений в польских вооруженных силах (СРЗ ВС РП), а также других гражданских функциональных подсистем в Национальной системе распознавания загрязнений и оповещения (НСРЗиО). Среди многих преимуществ системы выделяют отсутствие необходимости подвергать персонал опасности и высокая мобильность.

**Выводы:** На территории Республики Польша существует реальная угроза возникновения загрязнений в результате неконтролируемого выброса высокотоксичных химических веществ на более чем 400 промышленных предприятиях, которые могут быть потенциальными источниками крупных аварий. Выброс в окружающую среду может быть вызван природными факторами (например, ураганами, наводнениями, землетрясениями) или неосознанными человеческими действиями (например, ошибками персонала) или осознанными (например, террористическими актами). Анализ не может игнорировать угрозы, исходящей от ядерных реакторов, расположенных на границах Республики Польша и от патогенных микроорганизмов. Система обнаружения Вооруженных сил Польша является, с точки зрения процедур, неслаженной с аналогичными решениями, существующими в НАТО. В НАТО предпочтение отдается автоматизированным системам, основанным на последних технологических достижениях, а в Вооруженных силах Польши «ручных», с техническим оборудованием ушедшей эпохи. Управление информацией ХБРЯ (о химическом, биологическом, радиологическом и ядерном оружии) должно быть не только обучающим документом, но и реальным элементом Системы защиты от оружия массового поражения (СЗОМП), а задача оценки и прогнозирования угроз должна быть упреждающей задачей, исходящей из количества существующих запасов потенциальных источников загрязнений на заводах и должна вносить вклад в планирование развертывания элементов системы обнаружения. Система распознавания загрязнения, представляющая собой модель решений, существующих в армиях НАТО, должна основываться на автоматических средствах, таких как лидар, дрон, робот или их комбинации: дрон с лидаром, робот с лидаром или десантируемая микросхема (с набором датчиков, системой анализа и сигнализации) с определенным сроком службы (например, 24 часа) типа американского Organic Air Vehicle.

**Ключевые слова:** распознавание загрязнения, беспилотники

**Вид статьи:** обзорная статья

Принята: 17.07.2018; Рецензирована: 22.11.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witzczak – 0000-0001-9743-7150;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

## Wstęp

W niniejszym artykule przedstawiono analizy na temat istniejącego systemu rozpoznania skażeń w SZ RP. Z uwagi na narastające zagrożenia skażeniami, głównie pochodzenia przemysłowego, istnieje potrzeba wprowadzenia zmian technicznych i organizacyjnych w systemie, tak aby w maksymalnym stopniu pozwalał on na eliminację czynnika ludzkiego przy zachowaniu wiarygodności otrzymywanych danych.

Do niedawna określenie „skażenie środkami chemicznymi, promieniotwórczymi czy biologicznymi” kojarzyło się wyłącznie z okresem wojny i użyciem broni masowego rażenia. Wiązało się to z szerokim uświadamianiem społeczeństwa o możliwości wystąpienia tego rodzaju zagrożeń, o skutkach, jakie mogą one wywołać, sposobach zabezpieczenia przed nimi i ich likwidacji. Mało rozpowszechniane były natomiast zagadnienia związane ze skażeniami w okresie pokoju.

## Analiza zagrożenia terytorium RP skażeniami

### Zakłady przemysłowe

Produkcyjna działalność ludzka, chociaż bogata w formy i rodzaje wytworów umysłu i rąk ludzi, przynosi jednak w rezultacie mniejsze lub większe zagrożenia dla środowiska. Procesy wytwórcze spowodowały, że stale potęgują się do niedawna niedoceniane kwestie zanieczyszczeń, które dziś urosły do rangi problemu globalnego (np. smog). W dzisiejszym uprzemysłowionym świecie paradoksem jest nawet to, że skażenia powietrza i wód stanowi o wiele większe niebezpieczeństwo niż skażenie żywności czy użycie broni masowego rażenia.

Zbyt późne wykrycie skażenia sprawia, że bardzo często powoduje ono masowe straty zarówno w ludziach, jak i w środowisku naturalnym. Wymusza to konieczność prowadzenia dokładnej i systematycznej analizy realnych oraz hipotetycznych przyczyn powstania skażeń, która pozwoli na szybkie wszczęcie działań prewencyjnych, dzięki którym możliwa będzie ochrona ludności przed skażeniami lub zminimalizowanie ich skutków. Jest to dość trudne zagadnienie ze względu na dużą złożoność przyczyn powstawania skażeń, które mogą obejmować działalność człowieka lub niszczycielską siłę natury. Należy zauważyć, że obie wymienione przyczyny są w pewnych aspektach ze sobą skorelowane, wzajemnie wpływają na siebie, co dodatkowo komplikuje analizę zagrożenia skażeniami.

We współczesnych czasach, jak wspomniano wcześniej, zagrożenie może pochodzić głównie z katastrofalnych uwolnień wysoko toksycznych substancji chemicznych i promieniotwórczych z zakładów przemysłowych (elektrowni jądrowych), transportu (głównie drogowego), a także, czego nie można wykluczyć, działalności terrorystycznej.

Według danych Komendy Głównej PSP na koniec 2016 roku w RP zlokalizowanych było 415 zakładów przemysłowych, w których istnieje możliwość wystąpienia poważnej awarii przemysłowej ze względu na ilość przechowywanych w nich materiałów niebezpiecznych. W tej liczbie znajdowało się 179 zakładów dużego ryzyka (ZDR) i 236 zakładów zwiększonego ryzyka

## Introduction

This article presents analyses of the present contamination reconnaissance system in the Polish Armed Forces. Due to the growing threat of contamination, mainly of industrial origin, there is a need to introduce technical and organisational changes into the system, to eliminate the human factor to the maximum possible extent while maintaining the reliability of the data received.

Until recently, the term “chemical, radioactive or biological contamination” was associated only with wartime and the use of weapons of mass destruction. This involved raising public awareness of the possibility of such risks, the effects they may have, and the means of protecting against them and dealing with them. On the other hand, issues related to contamination during peacetime were rarely discussed.

## An analysis of the risk of contamination in the territory of the Republic of Poland

### Industrial plants

Manufacturing activities undertaken by man, however rich in terms of form and type of man-made items, results in risks to the environment which may be more or less significant. Manufacturing processes have resulted in pollution issues, which until recently have been underestimated, growing to reach the rank of a global problem (e.g. smog). In the present industrialised world, it is paradoxical that air and water contamination has become much more dangerous than food contamination or the use of weapons of mass destruction.

Detecting contamination too late often results in heavy loss of life and environmental damage. This necessitates a thorough and systematic analysis of the real and hypothetical causes of contamination, which will facilitate the quick launching of preventive measures to protect the population against contamination or to minimise its effects. This is a rather difficult issue due to the significant complexity of the causes of contamination, which can include human activity or the destructive force of nature. One should note that both these causes are correlated in some respects, which further complicates the analysis of the risk of contamination.

Nowadays, as mentioned above, the risk may be caused mainly by catastrophic releases of highly toxic chemical and radioactive substances from industrial plants (nuclear power plants), transport (mainly road transport) and terrorist activities, which also cannot be ruled out.

According to the data of the National Headquarters of the State Fire Service, as at the end of 2016 in Poland there were 415 industrial plants which, due to the amount of hazardous materials stored within, posed a risk of a serious industrial accident. These included 179 upper-tier establishments (UTE) and 236 lower-tier establishments (LTE). Figure 1 presents the

(ZZR). Na ryc. 1 przedstawiono zestawienie ilościowe (stan na 31.12.2016) odnoszące się do liczby zakładów kategorii ZDR oraz ZZR<sup>1</sup> w Polsce w rozbięciu na poszczególne województwa.

numbers of UTEs and LTEs<sup>1</sup> in Poland in individuals voivodeships (as at 31.12.2016).



Rycina 1. Liczba zakładów kategorii ZDR oraz ZZR w Polsce według danych KG PSP (stan na 31.12.2016) [1]

Figure 1. Number of UTEs and LTEs in Poland according to National Headquarters of the State Fire Service's data (as on 31 December 2016) [1]

## Awarie reaktorów w elektrowniach jądrowych

Skutki katastrof, zwłaszcza w Czarnobylu, budzą ogromne obawy związane z pozyskiwaniem energii z tego typu obiektów. Konsekwencje awarii dotknęłyby miliony ludzi i nadal budzą strach.

Elektrownie jądrowe, mogące – w wyniku wypadku lub za pomocą celowego uszkodzenia – uwalniać promieniowanie natychmiastowe i powodować skażenie atmosfery, potencjalnie stanowią duże zagrożenie dla ogółu ludności. Emisja promieniowania  $\gamma$  i neutronowego powyżej wartości krytycznych może w krótkim czasie spowodować wystąpienie dawek śmiertelnych dla człowieka. Skażenie promieniotwórcze z uszkodzonego niezdeaktywowanego reaktora (dwa reaktory w EJ w Ignalino na Litwie) może trwać bardzo długo, powodując wewnętrzne i zewnętrzne zagrożenie radiologiczne dla personelu i ludności na bardzo dużym obszarze. Dla tego promieniowania charakterystyczna jest radiotoksyczność biologiczna. Tym samym obliczanie przybliżonych wartości dawek efektywnych ściśle zależy od rodzaju promieniowania pochodzącego od występujących radionuklidów.

<sup>1</sup> **Poważna awaria** – zdarzenie, w szczególności emisja, pożar lub eksplozja, powstałe w trakcie procesu przemysłowego, magazynowania lub transportu, w którym występuje jedna niebezpieczna substancja lub więcej jej rodzajów, prowadzące do natychmiastowego powstania zagrożenia życia lub zdrowia ludzi lub środowiska bądź powstania takiego zagrożenia z opóźnieniem (definicja ustawy – POŚ). **Zakład o dużym ryzyku wystąpienia awarii (zakład dużego ryzyka – ZDR)** – nazwa kategorii zakładów (instalacji) spełniających kryterium większej wartości progowej – zagrożenie poważną awarią (katastrofą) o poważnych skutkach również poza terenem zakładu. **Zakład o zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii (zakład zwiększonego ryzyka – ZZR)** – nazwa kategorii zakładów (instalacji) spełniających kryterium mniejszej wartości progowej – zagrożenie awarią o skutkach wewnątrz zakładu lub (ewentualnie) o lokalnym zasięgu skutków.

## Failures of nuclear power plant reactors

The effects of the disasters, especially of the Chernobyl disaster, raise great concerns in respect of obtaining energy from such facilities. The effects of a failure would affect millions and still instil fear in people.

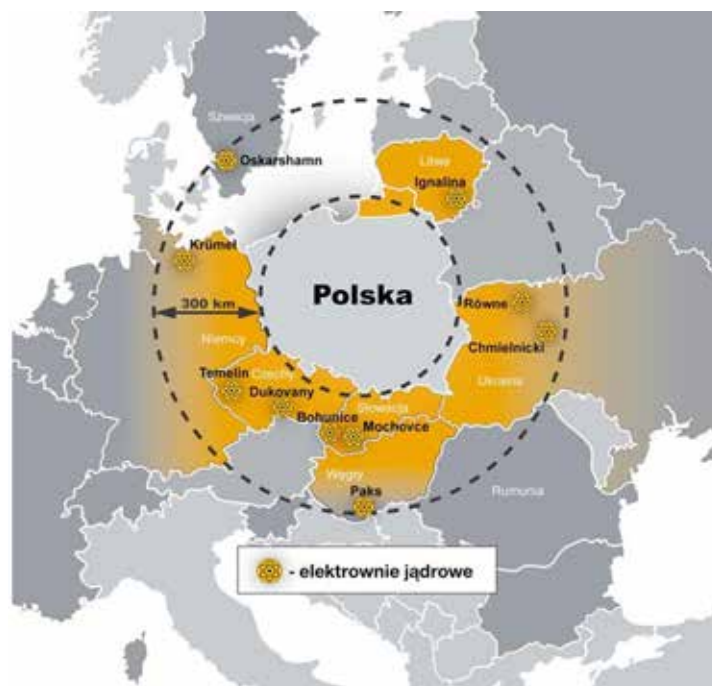
Nuclear power stations with the potential of immediately releasing radiation and contaminating the atmosphere as a result of accidents or deliberate action, can potentially pose a high risk to the general public. The effects of  $\gamma$  and neutron radiation exceeding critical values can quickly result in people being exposed to lethal doses. Radioactive contamination from a damaged reactor which had not been deactivated (two reactors at the Ignalina NPP in Lithuania) can last for a very long time, causing internal and external radiological risks to personnel and population in an extensive area. This type of radiation is characterised by biological radiotoxicity. Thus, to calculate the approximate values of effective doses one must establish the presence of radionuclides in radiation.

<sup>1</sup> **Major accident** – an event, in particular an emission, fire or explosion, arising in the course of an industrial process, storage or transport, involving one or more hazardous substances, leading to an immediate or delayed risk to human life or health or the environment (a definition from the Environmental Law). **Upper-tier establishment – UTE** – refers to establishments (plants) which meet the criterion of the upper threshold – risk of a major accident (disaster) with serious public health effects also off-site. **Lower-tier establishment – LTE** – refers to establishments (plants) which meet the criterion of the lower threshold – risk of an accident with effects on-site or (possibly) locally.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT

Na ryc. 2 przedstawiono rozmieszczenie elektrowni jądrowych w państwach sąsiadujących z Polską w promieniu 300 km od granicy.

Figure 2 presents the locations of nuclear power plants situated up to 300 km from the Polish border in countries neighbouring Poland.



**Rycina 2.** Czynne elektrownie jądrowe w odległości do 300 km od granic RP (Boiling Water Reactor (BWR) – reaktor wodny wrzący, Wodo-Wodianoj Energičeskiej Rieaktor (WWER) – wodno-wodny reaktor energetyczny) [2]

**Figure 2.** Operating nuclear power plants at distances up to 300 km from the borders of the Republic of Poland (Boiling Water Reactor (BWR) Wodo-Wodianoj Energičeskiej Rieaktor (WWER) – water-water energetic reactor) [2]

Wystąpienie eksplozji nuklearnej w elektrowni jądrowej nie jest możliwe, nawet gdyby zawiodły w niej systemy bezpieczeństwa lub opanowali ją terroryści. Jest to związane z tym, że paliwo jądrowe w reaktorach zawiera uran wzbogacony o rozszczepialny izotop  $^{235}\text{U}$  zaledwie do poziomu około 3%. Do wywołania eksplozji jądrowej konieczny jest uran znacznie bardziej wzbogacony. Nawet prędkie reaktory powielające mają za mały stopień wzbogażenia, by eksplodować jak bomba atomowa. Jego elementy paliwowe zawierają tylko 20–30% materiału rozszczepialnego, podczas gdy bomba atomowa prawie 100%. Prawdopodobna może być tylko kradzież elementów radioaktywnych lub zniszczenie obiektów elektrowni [3].

Właściwie zabezpieczone elektrownie jądrowe w okresie pokoju nie stanowią istotnego zagrożenia. Wprawdzie gdyby zbombardowano czy wysadzono elektrownię jądrową o mocy 1300 MW, która już pewien czas pracowała, to ilość uwolnionego materiału promieniotwórczego byłaby równa tej, jaka powstałaby przy eksplozji tysiąca bomb zrzuconych na Hiroszimę. Olbrzymie obszary byłyby przez stulecia niezdatne do zamieszkania. Awaria reaktora w Czarnobylu jest tego najlepszym dowodem. Była najpoważniejszym wypadkiem w dziejach pracy wszystkich elektrowni jądrowych. W wyniku tej awarii reaktor został zniszczony całkowicie, a przy tym duża ilość materiałów radioaktywnych dostała się do środowiska. Do atmosfery ulotniło się w postaci aerozoli około 28 kg  $^{137}\text{Cs}$  i 0,37 kg  $^{131}\text{I}$ . Wymienione ilości są niewielkie, ale obszar, który objęło skażenie,

It is not possible for a nuclear explosion to occur at a nuclear power plant even if its safety systems have failed or terrorists took control of it. This is due to the fact that nuclear fuel used in reactors includes uranium enriched with the fissile  $^{235}\text{U}$  isotope up to a concentration of approx. 3%. In order to trigger a nuclear explosion, a much more enriched uranium is needed. Even a fast breeder reactor is not enriched enough to explode like an atomic bomb. Its fuel elements include only 20–30% of fissile material, while an atomic bomb has nearly 100% of it. The only probable events are the theft of radioactive elements or destruction of power plant facilities [3].

Appropriately secured nuclear power plants do not pose a significant threat in peacetime. Admittedly, if a 1300 MW nuclear power plant, which had been in operation for some time, were to be bombed or blown up, the amount of radioactive material released would have been equal to that which would have been produced by the explosion of a thousand bombs dropped on Hiroshima. Enormous areas would be rendered uninhabitable for centuries. This is best illustrated by the Chernobyl reactor failure. It was the most severe accident in the history of operation of all nuclear power plants. As a result of this failure, the reactor was completely destroyed and a substantial amount of radioactive materials were released to the environment. Approximately 28 kg of  $^{137}\text{Cs}$  and 0.37 kg of  $^{131}\text{I}$  were released to the atmosphere as aerosols. While quantities are small, the contaminated area covered the whole of Europe. Around 135,000 people were

sięgał całej Europy. Na terytorium Ukrainy wysiedlono około 135 tysięcy ludzi. Awaria spowodowała narażenie pracowników elektrowni na pochłonięcie wysokich dawek promieniowania. Poza tym konieczna była ewakuacja ludności z terenów o największym skażeniu promieniotwórczym [4, 5].

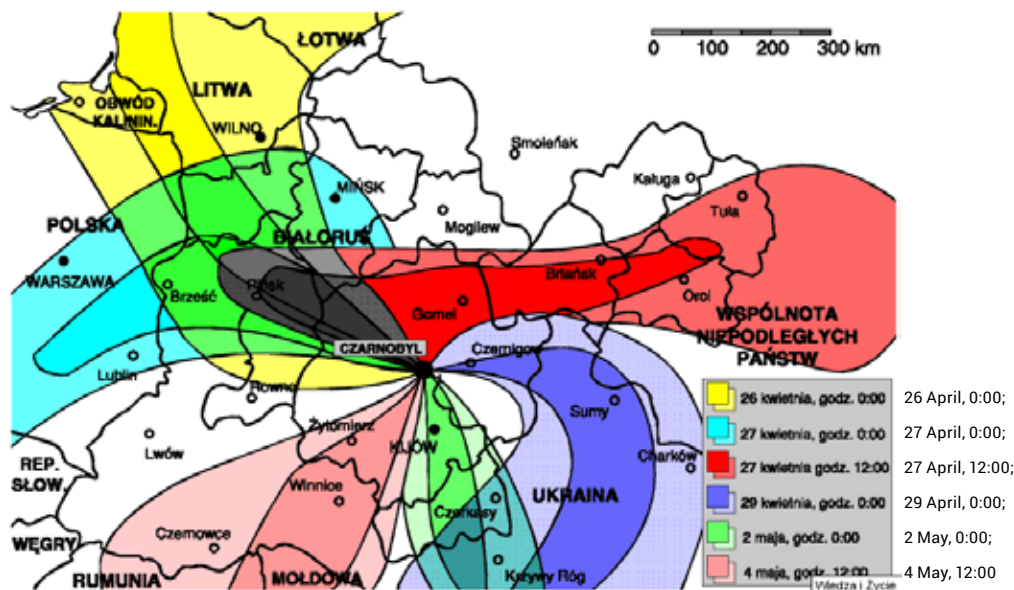
Do narażenia ludzi na promieniowanie jonizujące w Czarnobylu przyczyniły się przede wszystkim: jod  $^{131}\text{I}$ , cez  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ . Wkład do tej dawki miały także inne krótkożyłowe radionuklidy rejestrowane w pierwszym okresie po awarii. Obecnie rejestruje się jeszcze znaczne ilości  $^{137}\text{Cs}$  w glebie i ściółce leśnej.

Średnie dawki promieniowania dla osób najbardziej narażonych podczas awarii reaktora, czyli 240 osób pracujących przy reaktorze i 116 000 osób ewakuowanych wynosiły odpowiednio 100 i 30 mSv. W pierwszych dziesięciu dniach po awarii średnia dawka promieniowania dla tych, którzy przebywali jeszcze na skażonych obszarach wynosiła 10 mSv. Maksymalne wartości dawek mogły być nawet o rząd wielkości wyższe. Promieniowanie odnotowywane było także w pozostałej części Europy, poza granicami Białorusi, Rosji i Ukrainy. Tam dawki wynosiły 1 mSv w pierwszym roku po awarii i zmniejszały się sukcesywnie w latach następnych [4]. Na ryc. 3 przedstawiono zasięg stref skażeń aerozolem promieniotwórczym po awarii reaktora w Czarnobylu.

displaced in Ukraine. As a result of the failure, the plant workers were exposed to high radiation doses. Also, the population had to be evacuated from the areas affected the most by radioactive contamination [4, 5].

In Chernobyl, ionising radiation exposure was mainly due to iodine  $^{131}\text{I}$ , and caesium  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . This dose also included short-lived radionuclides recorded within the initial period following the failure. Substantial amounts of  $^{137}\text{Cs}$  are still being found in the soil and forest bed.

Average radiation doses for the most exposed individuals during the reactor failure, i.e. 240 people working at the reactor and 116 000 evacuees, equalled 100 and 30 mSv, respectively. Within the first ten days after the failure, the average radiation dose for those who remained in the contaminated areas was 10 mSv. However, the maximum doses could have been one order of magnitude larger. Radiation was also recorded in other European territories, outside Belarus, Russia and Ukraine. The doses there were 1 mSv in the first year after the failure, and were decreasing successively in subsequent years [4]. Figure 3 presents the range of contamination with the radioactive aerosol following the Chernobyl reactor failure.



Rycina 3. Strefy skażeń aerozolem promieniotwórczym po awarii reaktora w Czarnobylu [5]

Figure 3. The zone of contamination with the radioactive aerosol after the failure of the Chernobyl reactor [5]

### Transport materiałów niebezpiecznych

Transport można zdefiniować jako „proces technologiczny wszelkiego przenoszenia na odległość, czy przemieszczania osób przedmiotów lub energii” [6].

Udział towarów niebezpiecznych w ogólnej masie przewożonych ładunków transportem lądowym wynosi w Polsce ok. 10%. Główne szlaki przewozu towarów niebezpiecznych przechodzą przez tereny wysoce zurbanizowane. Znaczącym odbiorcą niebezpiecznych związków chemicznych przewożonych głównie cysternami są zakłady przemysłowe.

Najwięcej towarów niebezpiecznych (tzw. toksycznych środków przemysłowych) przewozi się w okolicach Łodzi, Trójmiasta,

### Transport of dangerous goods

Transport can be defined as a “technological process of any transfer or movement of persons, objects or energy at a distance” [6].

The percentage of dangerous goods in the total mass of goods transported by land transport in Poland is about 10%. The main routes for the transport of dangerous goods pass through highly urbanised areas. Industrial plants are a significant recipient of hazardous chemicals which are transported mainly by tankers.

Most dangerous goods (so-called toxic industrial agents) are transported around Łódź, Tri-City, Tarnów, Bydgoszcz,

## BADANIA I ROZWÓJ

Tarnowa, Bydgoszczy, Kielce i Czechowice-Dziedzic. Z ogólnej liczby 300 zakładów, w których produkuje się lub wykorzystuje w produkcji środki toksyczne, około 60 zalicza się do szczególnie groźnych. Poważnym zagrożeniem jest przewóz tych środków transportem samochodowym przez miasta. W ciągu doby przejeżdża przez nie około 40 ładunków samochodowych z niebezpiecznymi substancjami, od 5 do 20 ton każdy [7, 8]. Na ryc. 4 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie wypadków w transporcie drogowym z udziałem towarów niebezpiecznych.

Systematycznie w RP rejestruje się przypadki miejscowych zagrożeń środowiska będących wynikiem nieprzestrzegania zasad obowiązujących w drogowym transporcie towarów niebezpiecznych.

Przez terytorium RP przewożone jest świeże paliwo jądrowe dla Czech, a także do reaktora badawczego w Świerku. Odbывают się także transporty wypalonego paliwa jądrowego z reaktora badawczego MARIA z powrotem do Rosji. **PKP Cargo przewiozło ponad 350 ton paliwa jądrowego.** W ciągu ostatnich dzie-

Kielce i Czechowice-Dziedzice. Of the 300 plants in which toxic agents are produced or used in production processes, around 60 are particularly dangerous. Transporting these agents by road through cities poses substantial risks. Around 40 vehicles carrying hazardous substances, from 5 to 20 tonnes each, pass through cities daily [7, 8]. Figure 4 presents the spatial distribution of road transport accidents involving dangerous goods.

The cases of local environmental hazards resulting from non-compliance with the rules applicable to road transport of dangerous goods are regularly recorded in the Republic of Poland.

Fresh nuclear fuel is transported through the territory of the Republic of Poland to the Czech Republic as well as to the research reactor in Świerk. Also spent fuel from the MARIA research reactor is transported back to Russia. **PKP Cargo has transported more than 350 tonnes of nuclear fuel.** Over the



**Rycina 4.** Przestrzenne rozmieszczenie wypadków w transporcie drogowym z udziałem towarów niebezpiecznych [9]

**Figure 4.** Figure 4. The spatial distribution of road transport accidents involving dangerous goods [9]

Legend: Liczba zastępów biorących udział w akcji / number of units deployed; od 2 do 5 zastępów / from 2 to 5 units...;

powyżej 21 zastępów – over 21 units; autostrady – motorways; drogi ekspresowe - expressways; drogi krajowe – national roads

sięciu lat PKP Cargo S.A. zrealizowało łącznie 16 transportów kolejowych świeżego paliwa jądrowego do czeskich elektrowni atomowych. Do tej pory nie zanotowano żadnego wypadku podczas transportu tej substancji, ani na terytorium Polski, ani w Europie, ani nawet w Stanach Zjednoczonych, gdzie odbyło się ponad 3000 takich transportów. Zapewnienie bezpieczeństwa tego rodzaju przewozu możliwe jest nie tylko dzięki poufności i ścisłej ochronie realizowanej przez wiele organów państwowych, ale także dzięki zastosowaniu ciężkich pojemników stalowych, osłon biologicznych i odpowiednio zmodyfikowanych konstrukcji pojemników chroniących przez zderzeniem lub pożarem [10]. Na ryc. 5 przedstawiono kolejowe pojemniki transportowe do paliwa jądrowego.

last decade PKP Cargo S.A. has carried out 16 railway transports of fresh nuclear fuel to Czech nuclear power plants. So far, no accident has been recorded during its transport in Poland, Europe, or even in the United States, where more than 3000 such transports have taken place. Ensuring the safety of such transport is possible not only thanks to confidentiality and strict protection provided by many state authorities, but also owing to the use of heavy steel containers, biological shields and appropriately modified container designs to protect against impact or fire [10]. Figure 5 presents nuclear fuel containers used for transport by rail.



a) Pojemniki transportowe w ramach kontenerowych tworzące razem z paliwem sztuki przesyłki; b) Wagony z ładunkiem po oplandekowaniu [11]

Figure 5. a) Transport casks in container frames and fuel form the packages; b) Wagons with cargo after being covered with tarpaulin [11]

Ze względu na charakter ładunków przewozy materiałów niebezpiecznych stwarzają nieodłączne ryzyko wystąpienia zagrożenia. Awaryjne podczas transportu tego rodzaju ładunków mogą spowodować zagrożenie życia, zniszczenie środowiska naturalnego i dóbr materialnych. Nie dziwi więc, że ładunki te podlegają szczególnym rygorom

w zakresie dopuszczenia do przewozu, doboru opakowań, sposobu załadunku, oznakowania oraz wymagań odnoszących się do kwalifikacji personelu, środków transportu i procedury przewozu [12].

Due to the nature of the goods in question, the transport of dangerous goods presents an inherent hazard. Failures during the transport of such cargo can pose hazards to life, damage the environment and material goods. Therefore it should come as no surprise that those types of cargo are subject to specific restrictions in terms of being admitted to transport, packaging selection, loading method, marking and requirements relating to the qualifications of personnel, means of transport and transport procedure [12].

## Zarządzanie informacją CBRN

W zakresie planowania i prowadzenia operacji niezbędne jest, aby dowódca operacyjny lub dowódca sił połączonych dokonał oceny zagrożenia CBRN oraz dostosował zakres realizowanych przedsięwzięć Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia do poziomu zagrożenia.

Wykorzystanie środków i możliwości OPBMR wymaga elastyczności, mobilności, szybkiego rozmieszczenia jej sił i środków oraz stałego odtwarzania, a **priorytetem powinno być zarządzanie informacją CBRN** [13].

**Zarządzanie informacją CBRN** obejmuje ciągłe zbieranie, przetwarzanie, przechowywanie i rozpowszechnianie danych dotyczących systemu OPBMR. Realizowane jest w celu:

- opracowania oceny zagrożenia CBRN,
- planowania rozmieszczenia elementów Systemu Wykrywania Skażeń (SWS),
- alarmowania o skażeniach,
- meldowania o zdarzeniach CBRN,
- **prognozowania zagrożeń oraz ostrzegania przed nimi i powiadamiania o nich,**
- opracowania oceny sytuacji skażeń,
- dowodzenia i kierowania pododdziałami wojsk chemicznych,
- zarządzania ryzykiem,
- planowania wykorzystania środków ochrony przed skażeniami,

## CBRN Information Management

As regards planning and conducting operations, it is necessary for the operations commander or joint force commander to evaluate CBRN risk and adjust the scope of the implemented measures of CBRN defence to the threat level.

The utilisation of the measures and potential of CBRN defence requires flexibility, mobility and the quick deployment of its forces and measures, as well as constant restoration, with **CBRN information management becoming a priority** [13].

**CBRN information management** involves the continuous collection, processing, storage and dissemination of data related to the CBRN defence system. This is undertaken to:

- evaluate CBRN risks,
- plan the locations of the Contamination Detection System elements,
- alarm about contamination,
- inform about CBRN incidents,
- **forecast, warn and notify about risks,**
- assess contamination situations,
- command and direct subunits of chemical troops,
- manage risks,
- plan the use of contamination protection measures,
- plan medical support for troops affected by CBRN agents [13].



- planowania zabezpieczenia medycznego na korzyść wojsk porażonych czynnikami CBRN [13].

Zarządzanie informacją CBRN powinno być określone w stałych procedurach operacyjnych (SOP) stanowiska dowodzenia i ściśle dostosowane do położenia operacyjnego oraz konkretnej misji lub zadania. Zadania w zakresie zarządzania informacją CBRN realizowane są w ramach SWS funkcjonującego w SZ.

W przypadku zagrożeń CBRN, a więc zupełnie niekonwencjonalnych przypadków użycia siły, będziemy mieli do czynienia z zastosowaniem prognozy zmiennych, dla których nie są znane wartości rzeczywiste, co z natury przekreśla możliwość ich dokładnego wyznaczenia. Dlatego tak ważna jest ocena sytuacji w ośrodkach analizy skażeń.

## Prowadzenie rozpoznania skażeń

### Zasady ogólne

Zgodnie z dokumentem doktrynalnym *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)* podstawowym zadaniem systemu OPBMR są: **rozpoznanie, identyfikacja i monitoring skażeń**. – Obejmują one wykrycie zdarzeń CBRN, identyfikację jakościowo – ilościową czynnika rażącego, określenie rejonów skażeń oraz monitorowanie zmian w sytuacji skażeń [13].

Rozpoznanie skażeń to działanie mające na celu stwierdzenie faktu wystąpienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN w środowisku. Realizowane jest poprzez obserwację, wykrywanie oraz szczegółowe rozpoznanie skażeń.

1. **Obserwacja** to systematyczne śledzenie przestrzeni powietrznej, obszarów naziemnych, ludzi, zwierząt oraz materiałów. W tym celu wykorzystywane są przyrządy obserwacji wzrokowej, dźwiękowej, elektronicznej, dokumentowania fotograficznego lub inne urządzenia służące do stwierdzenia obecności lub braku zagrożenia CBRN.
2. **Wykrywanie** to działanie mające na celu potwierdzenie faktu wystąpienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN.
3. **Rozpoznanie szczegółowe** to działanie podejmowane w celu określenia rodzaju i poziomu skażeń w rejonie potwierdzonego wystąpienia skażeń lub prognozowanego rejonu skażeń. Może obejmować również pomiar warunków meteorologicznych, pobieranie próbek materiałów skażonych.

Rozpoznanie skażeń powinno być przygotowane i realizowane stosownie do poziomu zagrożenia, a sprzęt i procedury działania powinny zapewnić natychmiastowe alarmowanie o obecności czynników CBRN [13].

Sprawne działanie systemu rozpoznania skażeń jest warunkowane precyzyjnym wykonaniem następujących zadań: wykrycie skażenia, identyfikacja skażeń, oznaczenie terenu skażonego, pobranie skażonych próbek i ich analiza oraz meldowanie o wynikach rozpoznania. Wykonanie w krótkim czasie wszystkich zadań rozpoznania skażeń pozwoli na zminimalizowanie negatywnych skutków skażeń. Szczególnie ważna jest szybka detekcja, gdyż jest to pierwsze ogniwo obrony przed skażeniami.

CBRN information management should be defined in standing operational procedures (SOP) of the command post and specifically adapted to the operational situation and specific missions or tasks. Tasks involved in CBRN information management are carried out within the Contamination Detection System of the Armed Forces.

In the case of CBRN risks, i.e. completely unconventional cases of using force, it is necessary to forecast variables for which real values are not known, which, generally, makes it impossible to determine them accurately. This is why the assessment of the situation in contamination analysis centres is so important.

## Undertaking Contamination Reconnaissance

### General principles

Pursuant to the doctrine document entitled *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)* [Defence against weapons of mass destruction in joint operations], the primary tasks of the CBRN defence system are the **reconnaissance, identification and monitoring of contamination**. These include detecting CBRN incidents, identifying the destructive agent in qualitative and quantitative terms, and determining the contaminated areas as well as monitoring changes in contamination [13].

Contamination reconnaissance is aimed at determining the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent in the environment. It is carried out through observation, detection and detailed contamination reconnaissance.

1. **Observation** entails the systematic monitoring of airspace, land, people, animals and materials. For this purpose, instruments for visual, audible and electronic observation as well as for photographic documentation or other devices are used to determine the presence or absence of CBRN risks.
2. **Detection** is aimed at confirming the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent.
3. **Detailed reconnaissance** is an action undertaken to determine the type and severity of contamination in the region in which contamination has been confirmed or forecast. It can also include the measurement of meteorology and sampling of contaminated materials.

Contamination reconnaissance should be prepared and conducted according to the level of risk, and the equipment and operating procedures should ensure immediate alerting about the presence of CBRN agents [13].

The effective operation of the reconnaissance system is conditional on the following tasks being performed accurately: contamination detection, contamination identification, marking the contaminated area, collection and analysis of contaminated samples and reporting on the results of the reconnaissance. Performing all contamination reconnaissance tasks in a short period of time will minimise the negative impact of contamination. Quick detection is particularly important as it is the first link in the protection against contamination.

Według ATP-3.8.1. VOL I: detekcja (rozpoznanie), identyfikacja i monitoring skażeń (DIM) umożliwiają dowódcom podejmowanie w odpowiednim czasie właściwych działań po ataku CBRN lub uwolnieniu toksycznych środków przemysłowych TSP (toxic industrial material – TIM) z jednoczesnym ostrzeżeniem innych zagrożonych jednostek. Detekcja (rozpoznanie), identyfikacja i monitoring skażeń są niezbędne do szybkiego rozpoznania incydentów CBRN, charakteryzowania, analizy i określania zagrożeń, wyznaczania obszarów skażenia i monitorowania zmian w czasie. Zdolność detekcji jest niezbędna do rozpoznania obecności zagrażających zdrowiu lub życiu stężeń substancji chemicznych lub czynników biologicznych, lub materiałów promieniotwórczych przed ich negatywnym wpływem na osiągnięcie misji i szybkie dostarczenie informacji, które pozwolą siłom na przyjęcie odpowiedniego poziomu indywidualnej i/lub zbiorowej ochrony przed skażeniami [14].

Za realizację powyższego celu, z uwagi na toksyczny charakter większości substancji chemicznych oraz toksyczny i patogenny czynników biologicznych, odpowiedzialne jest wyposażenie techniczne umożliwiające wykrycie CBRN i toksycznych zagrożeń przemysłowych w określonym krótkim czasie, aby podjąć działania zapobiegawcze [14].

### Zadania szczegółowe rozpoznania skażeń

Według doktryny DD/3.8(A) za zadania rozpoznania skażeń uważa się sześć przedsięwzięć: detekcję, oznakowanie terenu skażonego, pobieranie próbek materiałów skażonych, identyfikację skażeń, meldowanie o skażeniach oraz monitoring skażeń [13].

Pierwszym z wymienionych przedsięwzięć jest detekcja skażeń. Jest to przedsięwzięcie najważniejsze, gdyż to właśnie od detekcji zaczyna się cały proces rozpoznania skażeń. Główne cele procesu detekcji (wykrywania) skażeń to stwierdzenie obecności zagrażających zdrowiu stężeń czynników chemicznych lub biologicznych, lub materiałów radioaktywnych, zanim wywrą one negatywny wpływ na realizację misji (alarmowanie) oraz szybkie dostarczenie informacji, które pozwolą siłom na przyjęcie odpowiedniego poziomu indywidualnej ochrony (ostrzeżenie) [14]. Wykrycie (stwierdzenie) ataku bronią masowego rażenia lub zdarzenia związanego z uwolnieniem toksycznych środków przemysłowych pozwala na podjęcie kolejnych kroków zmierzających do pozyskania pełnej informacji o tych zdarzeniach. Najczęściej istnieje możliwość wykrycia efektów zdarzeń CBRN, przejawiających się w postaci skażeń terenu, obiektów, ludzi lub wyposażenia.

Do detekcji skażeń wykorzystywane są całe systemy lub pojedyncze przyrządy o różnym stopniu zaawansowania technicznego i technologicznego. Od detektorów zasadniczo oczekuje się, aby pełnił jedynie funkcję ostrzegania. W celu ochrony personelu przed zagrażającymi zdrowiu czynnikami CBRN funkcja wykrywania musi być wystarczająco czuła, aby reagować na najbardziej toksyczne zagrożenia i umożliwić personelowi podjęcie odpowiednich środków ochronnych oraz działań zapobiegawczych.

Kolejnym zadaniem realizowanym w ramach rozpoznania skażeń jest oznakowanie terenu skażonego. Jego celem jest ostrzeżenie wojsk i ludności o naturze i zasięgu skażeń w danym

According to ATP-3.8.1. VOL I: detection (reconnaissance), identification and monitoring of contamination (DIM) make it possible for commanders to make timely decisions about relevant actions following a CBRN attack or release of toxic industrial materials (TIM) and simultaneous alerting of other units at risk. Contamination detection (reconnaissance), identification and monitoring are necessary to quickly detect CBRN incidents, characterise, analyse and determine risks, demarcate contaminated areas and monitor change over time. Detection capacity is necessary to identify the presence of concentrations of chemicals or biological agents, or radioactive materials which pose a risk to health or life, and prevent their adverse effects on mission success. Also necessary is the rapid provision of information which will allow forces to adopt an appropriate level of individual and/or collective protection against contamination [14].

Due to the toxic nature of most chemicals and the toxic and pathogenic nature of biological agents, the aforementioned objective is facilitated by the technical equipment which detects CBRN and toxic industrial risks within a specified short period of time. This allows taking preventive action [14].

### Specific tasks of contamination reconnaissance

Pursuant to Doctrine DD/3.8(A) six measures are regarded as contamination reconnaissance tasks: detection, marking of contaminated sites, sampling of contaminated materials, contamination identification, contamination reporting and contamination monitoring [13].

The first of these measures is the contamination detection. This is the most important of the aforementioned measures, as the whole process of contamination reconnaissance starts with detection. The main objectives of the contamination detection process are to identify the presence of concentrations of chemical or biological agents or radioactive materials which pose a risk to health before they can have a negative impact on the mission (alerting) and to quickly provide information so that forces can adopt an adequate level of personal protection (warning) [14]. Detecting (ascertaining) an attack with a weapon of mass destruction or an incident related to the release of toxic industrial agents makes it possible to take subsequent measures aimed at obtaining full information about such events. It is usually possible to detect the effects of CBRN incidents, manifested in the form of contamination of terrain, objects, people or equipment.

Entire systems or individual instruments, characterised by various levels of technical and technological advancement, are used to detect contamination. As regards detectors, in principle they are expected to serve only the warning role. In order to protect personnel from CBRN agents which pose health risks, the detection function must be sensitive enough to respond to the most toxic threats and allow personnel to take appropriate protective measures and preventive actions.

Another task carried out within the contamination reconnaissance is the marking of contaminated areas. Its task is to warn the army and population of the nature and extent of contamination in a given region. The detailed procedures of marking contaminated sites are described in STANAG 2002

## RESEARCH AND DEVELOPMENT

rejonie. Szczegółowe procedury oznakowywania terenu skażonego przedstawiono w Stanagu 2002 i publikacji FM 3-11.19 [15, 16]. Zgodnie z nimi charakter i natura skażeń określona jest za pomocą specjalnie przygotowanych znaków ostrzegawczych.

Kolejnym zadaniem w ramach rozpoznania skażeń jest pobieranie próbek materiałów skażonych. Zadanie to jest wykonywane w sytuacji, gdy informacje uzyskane z bezpośredniej detekcji nie są wystarczające do zidentyfikowania rodzaju środka skażającego lub w celu weryfikacji oraz wsparcia decyzji dotyczących ochrony, zapobiegania i leczenia. W takich przypadkach pobrane próbki skażonego materiału przekazywane są do analizy laboratoryjnej, gdzie poddane zostaną procesowi szczegółowej identyfikacji. Pobieraniem próbek zajmują się pododdziały rozpoznania skażeń – zespoły SIBCRA, które swoje zadania wykonują w dużo większym zakresie i na ogół w innym celu [17].

Identyfikacja skażeń to kolejne zadanie w ramach rozpoznania skażeń. Jest realizowana bezpośrednio po wykryciu skażenia. Jej celem jest szybkie, a przede wszystkim wiarygodne ustalenie rodzaju środka skażającego. Ze względu na konstrukcję i sposób działania większości przyrządów do rozpoznania skażeń możliwa jest przybliżona identyfikacja grupy środków skażających (np. G, H w przypadku BST). Jest ona zwykle bezpośrednio połączona z detekcją skażeń. Informacje o rodzaju środka i szacunkowym jego stężeniu odczytuje się z przyrządu. Aby określić je dokładnie, konieczne jest pobranie i przekazanie próbek skażonych materiałów do odpowiednich laboratoriów.

Kolejnym zadaniem w ramach rozpoznania skażeń jest meldowanie o skażeniach i zdarzeniach CBRN. Jest ono realizowane przez pododdziały rozpoznania skażeń lub inne źródła informacji działające w ramach systemu wykrywania skażeń (SWS) [18].

Przekazywanie informacji o zdarzeniach CBRN oraz skażeniach realizowane jest w formie ściśle określonych i sformalizowanych meldunków CBRN. Istnieje sześć zasadniczych meldunków, numerowanych od 1 do 6, oraz trzy meldunki meteorologiczne.

W ramach rozpoznania skażeń wykorzystywane są jednak tylko dwa: meldunek CBRN 1 o uderzeniach BMR i zdarzeniach typu ROTA oraz meldunek CBRN 4 o wykrytych skażeniach. Oba meldunki mogą zawierać różnorodne informacje zależne od rodzaju ataków BMR oraz ilości posiadanych informacji. Ze względu na znaczny stopień sformalizowania istnieje duże prawdopodobieństwo tego, iż przekazywana informacja będzie pełna. Ze względu na możliwość pomyłki pojedyncze meldunki o każdym zdarzeniu nie stanowią jeszcze informacji, która dałaby podstawę do podjęcia odpowiednich działań. Dopiero po otrzymaniu kilku kolejnych meldunków są one ostatecznie weryfikowane i stają się podstawą do opracowania prognozowanej lub rzeczywistej sytuacji skażeń [19, 20, 21, 22].

Końcowym zadaniem w zakresie rozpoznania skażeń jest monitorowanie. Jest to ciągły lub okresowy proces określania, czy zagrożenie CBRN występuje, czy nie. Monitorowanie przeprowadza się dla personelu, wyposażenia lub w terenie w celu stwierdzenia obecności zanieczyszczeń i zatwierdzenia ich odkażenia. Monitorowanie pomaga dowódcy w określeniu elementów ochrony indywidualnej i zbiorowej [23].

Reasumując wątek zadań rozpoznania skażeń, można uznać, iż wszystkie zadania znajdują się w pewnym porządku

and publication FM 3-11.19 [15, 16]. According to these procedures, the nature of contamination is determined using specially prepared warning signs.

Another task conducted within the contamination reconnaissance is the sampling of contaminated materials. This task is performed when the information obtained from direct detection is not enough to identify the type of contaminant or to verify and support decisions on protection, prevention and treatment. In such cases, the collected samples of contaminated materials are forwarded for laboratory analysis, where they are subjected to detailed identification. The samples are collected by SIBCRA teams, contamination reconnaissance sub-units, which perform their tasks in a much greater scope and generally for different purposes [17].

Contamination identification is another task carried out under contamination reconnaissance. It is conducted directly after contamination has been detected. Its objective is to quickly and, more importantly, reliably identify the type of contaminant. Owing to the design and manner of operation of most contamination reconnaissance devices, it is possible to approximately identify the group of contaminants (e.g. G, H in the case of BST). It is usually directly linked to contamination detection. Information on the type of product and its estimated concentration are taken from the instrument. In order to determine this information accurately, samples of contaminated materials must be collected and handed over to appropriate laboratories.

Another task conducted within the contamination reconnaissance is reporting about contamination and CBRN incidents. It is carried out by contamination reconnaissance sub-units or other sources of information within the contamination detection system (CDS) [18].

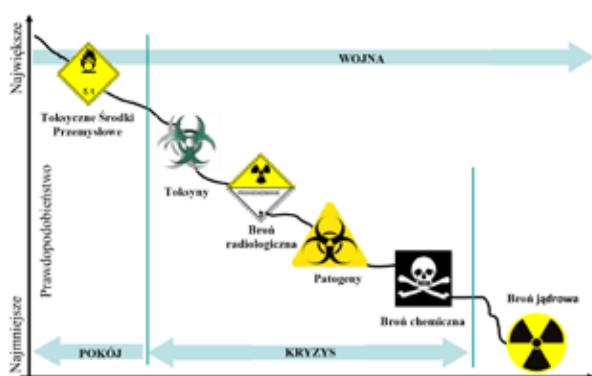
Information about CBRN incidents and contamination is transferred in the form of specifically determined and formalised CBRN reports. There are six basic reports, numbered from 1 to 6, and three meteorological reports.

However, only CBRN 1 report on WMD strikes and ROTA events and CBRN 4 report on detected contaminations are used in contamination reconnaissance. Both reports may contain various information depending on the type of WMD attack and the amount of information available. Due to the significant degree of formalisation, it is highly probable that the information provided will be complete. As the possibility of an error is still there, individual reports on an incident are not yet considered the information based on which appropriate measures can be taken. Only after receiving several consecutive reports are they ultimately verified and become the basis for the preparation of a forecast or actual contamination situation [19, 20, 21, 22].

Monitoring is the last step in respect of contamination reconnaissance. It is an ongoing or periodical process of determining the presence of CBRN risks. Monitoring is conducted for personnel, equipment or in the field to detect contaminants and authorise their decontamination. Monitoring helps the commander to determine the personal and collective protection equipment needed [23].

Summing up the issue of contamination reconnaissance, it can be stated that all activities follow a certain cause-effect

przyczynowo-skutkowym, dzięki czemu możliwe jest możliwe szybkie zebranie pełnych danych o atakach BMR i skażeniach oraz zdarzeniach z udziałem toksycznych środków przemysłowych. Mimo to zwykle okazuje się, że okoliczności i warunki prowadzenia rozpoznania skażeń narzucają pewne ograniczenia i z tego powodu jeden sposób prowadzenia rozpoznania skażeń może być mało skuteczny. Aby sprostać tym potrzebom w literaturze przedmiotu można spotkać różnorodne metody i techniki rozpoznania skażeń, ale zawsze najważniejszy będzie czas i wyposażenie techniczne, jak również przewartościowaniu musi ulec prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń – ryc. 6.



Rycina 6. Prawdopodobieństwo użycia składowych broni masowego rażenia [24]

order, which makes it possible to collect full data on WMR attacks, contamination and incidents involving toxic industrial agents as quickly as possible. Despite this, it is usually the case that the circumstances and conditions of contamination reconnaissance force certain restrictions, which is why employing a single way of conducting contamination reconnaissance may not be very effective. In order to meet these needs, the literature presents various methods and techniques of contamination reconnaissance, but the most important thing will always be the time and technical equipment, as well as evaluation of the likelihood of risks – Figure 6.

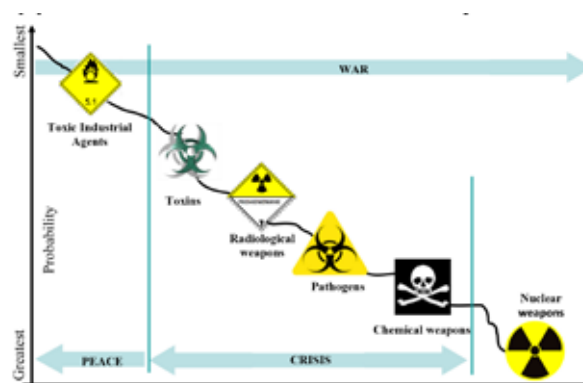


Figure 6. The probability of using the components of weapons of mass destruction [24]

## Metody i techniki rozpoznania skażeń

**Obserwacja** jest pierwszą i zarazem najprostszą metodą każdego rozpoznania. Do jej prowadzenia nie są potrzebne ani wyrafinowane środki techniczne, ani skomplikowane procedury, wystarcza bowiem zwykle dobry wzrok lub proste środki optyczno-elektroniczne. Podobnie jest w przypadku, gdy obserwacja jest traktowana jako metoda rozpoznania skażeń. W tym kontekście za obserwację uważa się „systematyczne obserwowanie przestrzeni powietrznej, powierzchni ziemi, miejsc, osób lub rzeczy w sposób wzrokowy, słuchowy, elektroniczny, fotograficzny lub przy użyciu innych środków” [25].

**Polowe rozpoznanie skażeń** to najbardziej typowa, a jednocześnie najbardziej zróżnicowana metoda rozpoznania skażeń. Zgodnie z procedurami polowe rozpoznanie skażeń może być prowadzone zarówno przed, jak i w trakcie działań, w całym obszarze operacji. Podstawowym jego celem jest zdobywanie informacji, które mogą być przydatne do niedopuszczenia do skażenia wojsk własnych i ludności cywilnej. Wśród posiłkanych informacji mogą być zarówno dane o uderzeniach BMR przeciwnika, jak i dane o wykrytych skażeniach lub dane meteorologiczne.

Ze względu na różnorodność technik i rodzajów tej metody rozpoznania skażeń zadania tego typu powinny być prowadzone przez pododdziały wszystkich rodzajów sił zbrojnych, głównie przy użyciu etatowych przyrządów rozpoznania skażeń. Natomiast zadania wymagające znacznego zaawansowa-

## Contamination reconnaissance methods and techniques

**Surveillance** is the first-choice and simplest method of any reconnaissance operation. The method does not require any sophisticated technologies or complex procedures, since usually it is enough to have good eyesight or use simple optoelectronic devices. Surveillance can be equally effective when used as a method of contamination reconnaissance. In this context, surveillance is considered „the systematic observation of aerospace, surface and subsurface areas, places, persons and things by visual, aural, electronic, photographic or other means” [25].

**Field reconnaissance** is the most typical and also the most varied method of detecting contamination. According to the procedures, field reconnaissance of contamination can be conducted both before and during the operations within the entire operation area. Its primary aim is to obtain information which might be useful in preventing contamination among the friendly troops and civilians. This information might include data on enemy WMD attacks and detected contamination, or meteorological data.

Given the variety of techniques and types of contamination reconnaissance methods involved, such tasks should be assigned to all types of armed forces and involve the use of primarily standard unit-level equipment for contamination reconnaissance. However, tasks requiring highly advanced technological measures will be performed by the chemical corps.

nia technicznego będą wykonywane przez pododdziały wojsk chemicznych.

**Rozpoznanie skażeń trasy** jest działaniem zmierzającym do uzyskania informacji o skażeniach, zbieranych wzdłuż określonych linii komunikacyjnych (drogi, szlaki kolejowe, korytarze terenowe zdadne do przerzutu wojsk).

**Rozpoznanie strefy** jest przedsięwzięciem zmierzającym do uzyskania szczegółowych informacji o skażeniach w ustalonej strefie. Jest przydatne szczególnie, gdy dotychczasowe dane są ograniczone, albo gdy istnieją przesłanki świadczące o możliwości wystąpienia skażeń lub pojawiły się meldunki o skażeniach [25, 26].

W ramach polowego rozpoznania skażeń można stosować różnorodne techniki rozpoznania. Wybór konkretnej techniki zależy będzie od terenu i przeciwnika, ale także od poziomu wymaganej szczegółowości danych. W propozycjach zawartych w podręczniku FM 3-11.19 do najbardziej użytecznych zalicza się techniki: zygzaku, liniową oraz liścia koniczyny.

**Szczegółowe rozpoznanie** skażeń to wysiłek zmierzający do określenia natury i stopnia skażeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych w obszarze potwierdzonego lub podejrzanego skażenia oraz do wyznaczenia granic terenu skażonego. Może obejmować monitoring dawek promieniowania lub obecności skażeń chemicznych, lub biologicznych, a ponadto pobieranie próbek obiektów podejrzanych o skażenie [27]. Z definicji wynika, iż jest to działalność podejmowana w sytuacji, gdy pododdziały i jednostki muszą lub będą musiały realizować swoje zadania na terenie skażonym.

Zazwyczaj będą go przekraczać, omijać lub z niego wychodzić. W odróżnieniu od polowego rozpoznania skażeń jest to wysiłek ukierunkowany na uzyskanie bardzo szczegółowej informacji o skażeniach, zwłaszcza w zakresie rozmiaru i natury terenu skażonego. Po oznaczeniu zasięgu skażenia cały obszar jest oznakowywany, a informacja o skażeniu przesyłana do wszystkich zainteresowanych.

Należy postawić pytanie: czy SWS SZ RP ma możliwości techniczne do realizacji powyższych zadań?

**Hipotetyczna analiza przypadku:** W październiku 2014 zakłady azotowe w Puławach wprowadziły do użytku stokaż amoniaku. Jego pojemność to 22 000 m<sup>3</sup>, co w przeliczeniu na masę, daje możliwość zmagazynowania 15 000 ton ciekłej substancji. Zakład położony jest we wschodniej części kraju, w województwie lubelskim, na północ od miasta Puławy.

**Założenie: zbiornik uległ uszkodzeniu i nastąpiło niekontrolowane uwolnienie amoniaku.**

W SZ RP wykorzystuje się programy, które oparte są na Metodocyce oceny sytuacji skażeń chemicznych, biologicznych i promieniotwórczych [21] oraz na komunikatach otrzymywanych z posterunków obserwacji skażeń. Metodyka ta zakłada wykorzystanie schematów i algorytmów w celu ustalenia potencjalnego zagrożenia. Wynikiem pracy pakietu grafiki operacyjnej i programu SI Promień lub programu Analysis jest obszar skażenia naniesiony na mapę. Informacja dla systemu może pochodzić np. od służb ratunkowych zakładu. Program wykonuje bardzo przybliżone zagrożenie i zobrazuje je na mapie – ryc. 7 [28].

**Route reconnaissance** involves obtaining information on contamination along specific transport routes (roads, railway, cross-country mobility corridors).

**Zone reconnaissance** is aimed at obtaining detailed information on contamination in a specific zone. It is particularly useful when existing data are limited, or when there is a reasonable threat of contamination, or when contamination has been reported [25, 26].

Field reconnaissance operations might be based on a variety of techniques. The ultimate choice will depend on the terrain and enemy, as well as on how detailed the data should be. According to the FM 3-11.19 manual, the most useful techniques include the zigzag search, lane search and cloverleaf search techniques.

**Contamination identification** is an effort to determine the nature and degree of chemical, biological and radioactive contamination in the area of a confirmed or suspected contamination, and to define the boundaries of the contaminated area. This might include monitoring radiation intensities or chemical or biological contamination, and also collecting samples of materials suspected of being contaminated [27]. By definition, sampling takes place when sub-units or units have to, or will have to operate in a contaminated area.

Usually, they will cross, bypass or leave the area. As opposed to field reconnaissance, this effort aims at obtaining highly detailed information on contamination, including in particular the size and nature of the contaminated area. Once the range of contamination is determined, the area is marked and all information on contamination is reported.

The question is: does the Contamination Detection System of the Polish Armed Forces (SWS SZ RP) have the technical capacity to perform the above-mentioned tasks?

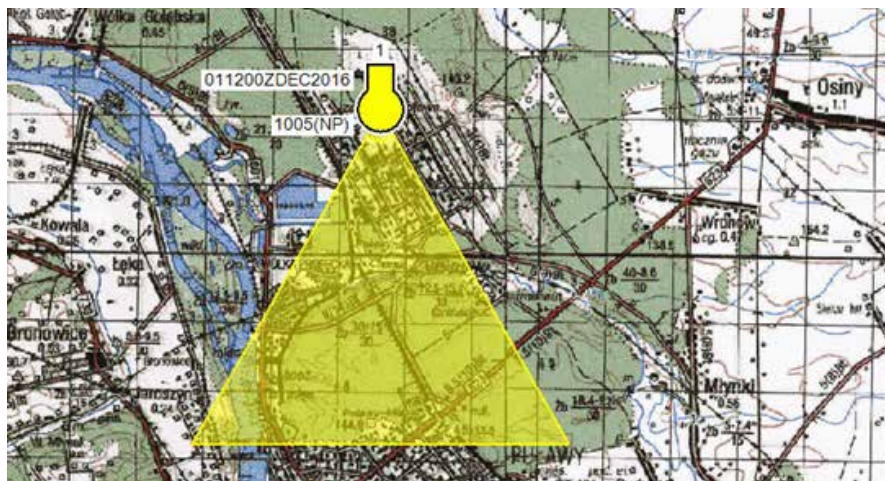
**Hypothetical case study:** In October 2014 the nitrogen plant in Puławy put into operation an ammonia storage facility. It has a capacity of 22,000 m<sup>3</sup>, which is an equivalent of 15,000 tonnes of this liquid substance. The plant is located in eastern Poland, in the Lubelskie Province, north of Puławy.

**Assumption: the storage facility has been damaged, resulting in an uncontrolled ammonia release.**

The Polish Armed Forces have software in place that are based on the Methodology for assessing chemical, biological and radioactive contamination situations [21] and reports from contamination observation points. Under this methodology, patterns and algorithms are used to identify potential hazards. The operational graphics package and SI Promień or Analysis programs map the contaminated area based on the information provided, for instance, by the plant's rescue services. The program will devise and map a very similar hazard – Fig. 7 [28].

Jak można zauważyć, rejon zagrożenia rozciąga się w promieniu 5 km od miejsca uwolnienia. Ponadto można wyodrębnić strefę uwolnienia o promieniu kilkudziesięciu metrów, bardzo słabo widoczną na rycinie. Żółty rejon symbolizuje strefę, w której należy podjąć działania ratownicze. Program nie uwzględnia dokładnej ilości uwolnionej substancji; bierze pod uwagę tylko jedną z czterech klas wielkości zbiornika (mała, średnia, duża

As we can see, the hazard area covers a radius of 5 km from the release site. Also, a release zone with a radius of several dozen kilometres, very poorly visible on the figure, can be defined. The yellow area symbolises the zone where rescue operations should be undertaken. The program does not account for the exact amount of released substance; what it takes into account is only one of the four tank-size classes (small, medium, large



**Rycina 7.** Rejon zagrożenia skażeniem przy scenariuszu wycieku amoniaku na mapie 1:100000.

Warunki: wiatr wieje z północy z prędkością 5 m/s (18km/h); zachmurzenie średnie, poniżej 50%; nie występuje inwersja powietrza; wilgotność względna 50%; brak znaczących zjawisk pogodowych; uszkodzeniu uległ duży zbiornik

**Figure 7.** Area exposed to the hazard of ammonia leak contamination on a 1/100,000 map. Conditions: the wind blows from the north at a speed of 5 m/s (18 km/h); moderate cloud cover; below 50%; there is no inversion of air; relative humidity of 50%; no significant weather phenomena; the large tank has been damaged

i bardzo duża). Zatem prognoza powinna być urealniona danymi z rozpoznania. Należy w tym miejscu odpowiedzieć na pytanie: czy to będzie możliwe?

W symulacji wykonanej za pomocą programu ALOHA<sup>2</sup> dla 5000 ton amoniaku (max. dla programu) uzyskano max. stężenie amoniaku na poziomie ok. 1,0 g/m<sup>3</sup> dla strefy powyżej 32 km<sup>2</sup>. Wynika z tego, że w rejon skażenia nie powinny być wysłane piesze i zmotoryzowane patrole rozpoznania skażeń – z uwagi na krótkie czasy (kilka – kilkanaście minut) ochronnego działania filtropochłaniaczy względem amoniaku [29]. Podobna sytuacja może wystąpić w przypadku skażeń promieniotwórczych. Zatem należałoby poszukać rozwiązań technicznych, które w krótkim czasie mogłyby dostarczyć wiarygodne dane do systemu bez narażania ludzi.

SZ RP w chwili obecnej nie ma takich możliwości.

### Rozwiązania techniczne

Chcąc zapewnić wysoką efektywność działania systemu wykrywania, analizy i monitoringu skażeń, ważne jest, żeby SZ RP posiadały detektory skażeń. Wymaga się od nich, aby zagwarantowały odpowiednio wczesne poinformowanie zagrożonych

and very large). Hence, the projection should be adjusted to consider reconnaissance data. The question is, however: will that be possible?

A simulation made using the ALOHA<sup>2</sup> program for 5,000 tonnes of ammonia (the maximum value for the program) provided the maximum concentration of ammonia at about 1.0 g/m<sup>3</sup> for a zone larger than 32 km<sup>2</sup>. This suggests that no foot patrols and motorised contamination reconnaissance patrols should be sent to the contaminated area because filters provide protection against ammonia for a short time ranging from several to a dozen minutes [29]. A similar situation can happen in the event of radioactive contamination. Hence, technological solutions should be sought that could quickly provide the system with reliable data without putting people in danger.

This is currently impossible for the Polish Armed Forces.

### Technological solutions

In order to ensure a high effectiveness of the contamination detection, analysis and monitoring system, it is important that the Polish Armed Forces have contamination detectors. These detectors are expected to provide the forces and civilians

<sup>2</sup> ALOHA program udostępniony przez National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) i U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Pozwala symulować skutki emisji substancji toksycznych, palnych i wybuchowych. Wynikiem obliczeń programu jest długość zasięgu strefy zagrożenia.

<sup>2</sup> ALOHA program made available by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Designed to simulate the effects of toxic, flammable and explosive substance emissions. The program calculates the range of the hazard zone.

wojsk i ludności o prognozowanym lub aktualnym skażeniu środkiem chemicznym, biologicznym lub promieniotwórczym. W tym celu wykorzystuje się je przed, w trakcie oraz po zdarzeniu związanym z uwolnieniem substancji niebezpiecznej. W pierwszym przypadku ciągła praca detektorów – monitoring – pozwala zapobiegać powstawaniu zdarzeń z udziałem środków CBRN, a także wcześniej powiadamiać zagrożoną ludność o powstałym skażeniu. W trakcie zdarzenia detektory skażeń powinny pozwolić na natychmiastowe ustalenie rodzaju i stężenia uwolnionego środka, a także wielkości skażonego oraz zagrożonego nim obszaru. Dzięki czemu możliwe będzie podjęcie efektywnych działań, w tym założenia indywidualnych środków ochrony. W końcowym etapie – po zdarzeniu – detektory skażeń są używane m.in. w celu potwierdzenia wyników przeprowadzonej wcześniej identyfikacji, a także sprawdzenia efektywności przeprowadzonej likwidacji skażeń.

Istnieje wiele kryteriów, wg których można sklasyfikować wykorzystywany obecnie sprzęt do rozpoznania skażeń. Ze względu na przeznaczenie dzieli się go na ostrzegający (ang. *detect-to-warn*) oraz analityczny (ang. *detect-to-treat*). Biorąc pod uwagę jego mobilność, wyróżnia się natomiast: sprzęt przenośny (transportowany w pojemniku ochronnym), sprzęt pokładowy (zamontowany na stałe, jako wyposażenie pojazdu rozpoznania skażeń) oraz sprzęt przewoźny (wykorzystujący pojazd jedynie jako platformę transportową). Jednym z bardzo często stosowanych kryteriów jest także sposób pobierania próbek, wg którego wyróżnia się detektory wykrywające skażenia znajdujące się z dala od nich oraz detektory wykrywające skażenia znajdujące się w bezpośrednim kontakcie z nimi (ryc. 8). Detektory zdalne ze względu na sposób oddziaływania z badanym środkiem dzielą się na:

- pasywne – opierające się na analizie widma w podczerwieni emitowanego przez badane zjawisko, na podstawie której określa się charakterystyczne jego cechy wskazujące na obecność lub brak skażenia;
- aktywne – wysyłające sygnał, który po oddziaływaniu z badaną materią jest następnie przez nie analizowany w celu określenia charakterystycznych zmian w jego widmie [30].

W przypadku detektorów pobierających i analizujących próbki w miejscu wystąpienia skażenia wyróżnia się detektory wyośne (ang. *remote detectors*) oraz detektory punktowe (ang. *point detectors*). W pierwszym przypadku podczas pomiaru skażeń operator obsługuje ręcznie detektor, natomiast w drugim detektor posiada dodatkowy moduł, przez który operator komunikuje się i steruje nim przewodowo lub bezprzewodowo, znajdując się z dala od niego. Należy zauważyć, że detektory pasywne i aktywne, podobnie jak punktowe, mogą być także wyposażone w moduły do zdalnej komunikacji z operatorem.

Stosowane do rozpoznania (wykrywania) detektory, a także sensory opierają się na szeregu różnych metod detekcji bodźca – skażenia w otoczeniu. Zastosowana metoda wykrywania środków chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych ma fundamentalny wpływ na wiarygodność i terminowość uzyskanych dzięki niemu wyników pomiarów. Oceniając dany przyrząd pod tym względem, bierze się pod uwagę jego parametry użytkowe m.in. takie jak:

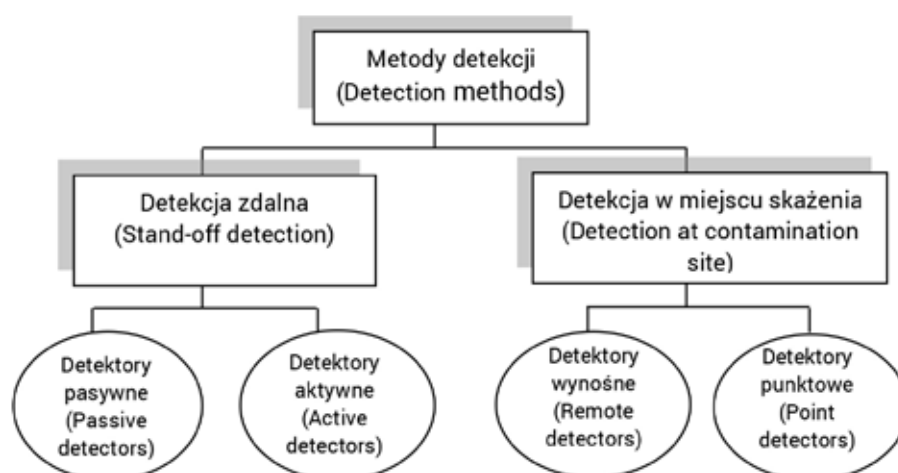
in danger with early warnings about the predicted or existing chemical, biological or radioactive contamination. Thus, these devices should be used before, during and after the hazardous release incident. In the first instance, the continuous monitoring by the detectors can be used to prevent CBRN incidents and to provide civilians in danger with early warning about the contamination. During the incident, the contamination detectors should facilitate instantaneous identification of the type and concentration of the released substance, as well as the size of the area that is contaminated or at risk of contamination. This helps the emergency services to take effective measures, including to put on personal protective equipment. In the last phase, after the incident, contamination detectors are used to corroborate the findings of the preceding identification, and also to check whether the contamination containment measures have been effective.

Multiple criteria exist to classify the hazard detection equipment that is currently in use. Depending on its purpose, a distinction is drawn between detect-to-warn and detect-to-treat equipment. In terms of mobility, this equipment can be portable (transported in a protective container), on-board (permanently installed as standard contamination-reconnaissance vehicle equipment) and mobile (using the vehicle as a transport platform only). One of the very popular criteria is also the sample collection method, distinguishing between contactless (stand-off) detectors and direct-contact detectors (Fig. 8). Depending on their interaction with the examined substance, remote detectors are divided into:

- passive detectors – relying on the spectral analysis of infrared radiation emitted by the examined phenomenon, performed to determine that phenomenon's characteristics indicating whether or not there is any contamination;
- active – sending signals that interact with the examined matter and are subsequently analysed by the detectors to determine any specific spectral changes in the signal [30].

Detectors designed to collect and analyse samples at contamination sites are divided into remote and point detectors. The former is operated manually when measuring contamination, while the latter has an additional module for communication and cable-based or cableless, stand-off control. It should be noted that passive and active detectors, like point detectors, can also be equipped with remote-communication modules.

Reconnaissance detectors and sensors are based on a number of methods to detect the stimulus – contamination in the area. The applied method of chemical, biological and radioactive contamination detection has fundamental implications for the reliability and timeliness of the related measurements. When assessing a device in this respect, its performance parameters are considered, including:



Rycina 8. Podział metod detekcji skażeń ze względu na sposób pobierania próbek [31]

Figure 8. The classification of contamination detection methods according to the method of sampling [31]

- **wykrywalność** – najmniejsze stężenie substancji, które może zostać wykryte daną metodą z założoną pewnością;
- **czułość** – najmniejsza różnica stężenia substancji, którą można wykryć daną metodą;
- **czas odpowiedzi** – czas niezbędny do wykonania pomiaru i analizy próbki;
- **selektywność** – zdolność przyrządu w danych warunkach do wykrycia tylko pewnej grupy analizowanych związków chemicznych lub jonów w obecności innych substancji chemicznych (jonów);
- **swoistość** – stosunek ilości wyników pomiaru fałszywie dodatnich do sumy wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich. Ilość fałszywych wyników określa się natomiast stosunkiem fałszywych pomiarów (wskazań) do całkowitej liczby przeprowadzonych pomiarów.

W literaturze przedmiotu brak jest informacji nt. dokładnych wymagań taktyczno-technicznych na detektory do wykrywania skażeń. Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano wymagania dla automatycznych sygnalizatorów skażeń chemicznych zawarte w NO-42-A221:2016 [32], a dla przyrządów dozymetrycznych z NO-42-A204:2014 [33].

W normie określono wymagania dotyczące granicy wykrywalności dla automatycznych sygnalizatorów skażeń chemicznych i stwierdzono między innymi, że:

- 1) Konstrukcja pokładowego lub stacjonarnego automatycznego sygnalizatora skażeń powinna umożliwić wykrycie chloru ( $\text{Cl}_2$ ) i amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) jako grupy toksycznych środków chemicznych lub wskazać nazwę danego środka lub jego symbol;
- 2) Konstrukcja automatycznego sygnalizatora skażeń chemicznych powinna umożliwić wykrycie toksycznych środków chemicznych przy stężeniach równych wartości NDS lub niższych<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Amoniak NDS –  $14 \text{ mg/m}^3$  – najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie

- **detectability** – the lowest substance concentration that a device can detect with a specified certainty;
- **sensitivity** – the smallest difference in the substance concentration that a device can detect;
- **response time** – the time required for the device to measure and analyse the sample;
- **selectivity** – the ability of the device in certain conditions to detect only a specific group of analysed chemical compounds or ions in the presence of other chemical substances (ions);
- **specificity** – the relationship between false-positive measurement results and the sum of true negatives and false positives. The number of false results is determined by the relationship between false measurements (indications) and the total number of measurements.

The literature on the subject offers no information on the tactical and technical requirements for contamination detectors. This paper relies on the requirements for automated chemical contamination detection and warning devices, as set out in the military standard NO-42-A221:2016 [32], and for dosimetric devices, as set out in the NO-42-A204:2014 [33] standard.

The standard sets out detectability-threshold requirements for automated chemical contamination detection and warning devices, stipulating that:

- 1) On-board or stationary automated chemical contamination detection and warning devices should be designed to detect chlorine ( $\text{Cl}_2$ ) and ammonia ( $\text{NH}_3$ ) as a group of toxicants, or to name the substance concerned or its symbol.
- 2) Automated chemical contamination detection and warning devices should be designed to detect toxicants at concentrations equal to TLV or lower<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Ammonia TLV –  $14 \text{ mg/m}^3$  – the threshold limit value (TLV) – the weighted average concentration of a toxicant the exposure to which on an 8h/day and average weekly work time basis – as defined in the Labour Code Act of 26 June 1974 – over a working lifetime should not cause negative health impacts for workers and future generations.



## RESEARCH AND DEVELOPMENT

Czy to jest wystarczające kryterium? NDS –  $7 \text{ mg/m}^3$  w ciągu 8 godzin, czyli ok.  $6,7 \text{ g/m}^3$  w ciągu 1 minuty, a więc prawdopodobnie nastąpi natychmiastowe przebicie filtropochłaniaczy<sup>4</sup>.

Zatem, aby nie dopuścić do kontaktu ludzi ze skażonym środowiskiem, należałoby wykorzystać np. lotnicze (pilotowe i bezpilotowe) lub zdalne wykrywanie skażeń.

Problemy lotniczego wykrywania skażeń autorzy wstępnie zasygnalizowali w publikacjach [34, 35].

W armiach NATO wykorzystuje się powietrzne rozpoznanie skażeń w głównej mierze w celu określania sytuacji skażeń promieniotwórczych (granic skażonych terenów oraz mocy dawek promieniowania w ustalonych punktach, wysokości, szerokości i kierunku przemieszczania się obłoku promieniotwórczego) w rejonach działań militarnych (obecnych lub planowanych). Głównym powodem jest znaczące ograniczenie ekspozycji na promieniowanie załóg podczas prowadzenia rozpoznania powietrznego niż naziemnego tego samego obszaru oraz dotarcie do miejsc niedostępnych dla naziemnych pododdziałów rozpoznawczych, a także możliwość rozpoznania znacznie większego obszaru przy zachowaniu dystansu od źródła skażenia.

### Zdalne wykrywanie skażeń

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. Opiera się ono na pomiarach parametrów zjawisk powstałych w wyniku oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z badaną atmosferą. Pomiar parametrów są prowadzone przy wykorzystaniu metod optycznych, m.in. takich jak metody rozproszeniowe, absorpcyjne, fluorescencyjne oraz metody optyki nieliniowej. Wśród zdalnych metod wykrywania skażeń wyróżnia się metody aktywne oraz pasywne. Aktywne opierają się na pomiarze zjawisk, które powstają w wyniku oddziaływania emitowanego promieniowania przez laser z badanym ośrodkiem (powietrzem). Bardzo często wykorzystuje się pomiar rozproszenia, któremu uległa podająca wiązka lasera. W wykrywaniu skażeń stosuje się także pomiary absorpcji, dyfrakcji, fluorescencji, luminescencji, a także depolaryzacji. W celach pomiarowych emituje się także promieniowanie monochromatyczne o różnych długościach fal. Szeroką grupę urządzeń opartych o metody aktywne stanowią LIDAR-y (Light Detection And Ranging). Większość z nich posiada zdolność wykrywania skażeń chemicznych i biologicznych do 5 km. Dąży się jednak do tego, aby posiadały zasięgi równe docelowo 15–18 km [36]. W zależności od rodzaju zastosowanej metody pomiarowej wyróżnia się m.in. lidary: rozproszeniowe, ramanowskie, absorpcji różnicowej, fluorescencyjne oraz dopplerowskie.

Działanie lidarów rozproszeniowych polega na analizie stopnia rozproszenia promieniowania padającego w badanym powietrzu. W tym celu urządzenie wykorzystuje nadajnik wysyłający impulsy o wysokiej mocy, które po odbiciu od badanego

Is this criterion sufficient? TLV –  $7 \text{ mg/m}^3$  over 8 hours, or  $6.7 \text{ g/m}^3$  over 1 minute, thus probably causing instant filter penetration<sup>4</sup>.

Thus, in order to prevent people from exposure to the contaminated environment, aerial (manned or unmanned) or remote contamination detection would have to be used.

A brief discussion of aerial contamination detection measures is provided in [34, 35].

NATO armies employ aerial contamination reconnaissance primarily to identify radioactive contamination situations (boundaries of contaminated areas and radiation intensities at specific points, altitudes, latitudes and directions of radioactive clouds) in and around military operation areas (ongoing or planned operations). The main reason for this is that aerial reconnaissance considerably limits crew exposure to radiation when compared to ground reconnaissance. Furthermore, it facilitates access to areas that would otherwise be inaccessible for ground reconnaissance troops, and also provides the opportunity to reconnoitre much larger areas while remaining at a safe distance from the source of contamination.

### Remote contamination detection

Remote contamination detection is used primarily in networks monitoring chemical and biological air contamination, designed to effectively protect essential national infrastructure and troops at risk of contamination. This form of detection is designed to measure the effects of interaction between electromagnetic radiation and atmosphere. The parameters of these effects are measured using optical methods based on diffusion, absorption, fluorescence and non-linear optics. Remote methods to detect contamination include active and passive methods. Active methods involve measuring the effects of interactions between the radiation emitted by the laser and the studied area (air). A very popular approach is to measure the diffusion of the laser beam. Contamination detection also employs absorption, diffraction, fluorescence, luminescence and depolarisation measurements. For measurement purposes, monochromatic radiation of varying wavelengths is emitted as well. LIDAR (Light Detection and Ranging) devices form a broad group of active detection solutions. Most of them can detect chemical and biological contamination within a distance of up to 5 km. However, efforts are made to provide ranges of 15–18 km [36]. Depending on the measurement method, there are diffusion, Raman spectroscopy, differential absorption, fluorescence and Doppler lidars.

Diffusion lidars work by analysing the degree to which the radiation in the examined air is diffused. To do this analysis, the device uses a transmitter sending high-power impulses to be reflected by the examined radioactive cloud and return to the high-sensitivity receiver. Among the institutions involved in the development of this device was the Institute of Optoelectronics at the Military University of Technology. The diffusion lidar facilitates the detection, analysis and

powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

<sup>4</sup> Według NO-42-A211 do badań minimalnego czasu przebicia, testowe stężenie amoniaku wynosi  $0,7 \text{ g/m}^3$ , a wymagany czas to 6–12 minut.

<sup>4</sup> According to the NO-42-A211 standard, the minimum penetration time tests assume ammonia concentration at  $0.7 \text{ g/m}^3$ , and the required time is 6–12 minutes.

obłoku skażenia wracają i trafiają do wysokoczułego odbiornika. Urządzenie tego rodzaju zostało opracowane m.in. w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Pozwala ono prowadzić detekcję, analizę oraz monitoring wszystkich rodzajów aerozoli powietrznych znajdujących się w odległości do 10 km [36].

Amerykański 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 i 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) to 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 przeciągu 20 minut. FLAPS (Fluorescence Aerodynamic Particle Sizer) oprócz szybkiej detekcji wysyła informację do centrów dowodzenia [37].

Opracowany i wdrożony Biological Integrated Detection System (BIDS) w wersji BIDS P31 (ryc. 9) oferuje rozszerzoną, półautomatyczną zdolność wykrywania i identyfikacji substancji biologicznych. Wykorzystuje urządzenia umożliwiające pomiar wielkości aerozolu liczby cząstek oraz fluorescencji biologicznej. W systemie P31 wykorzystywany jest detektor bioluminescencyjny w postaci tandemowego instrumentu pirolizy MS oraz automatyczny przyrząd do analiz immunochromatycznych [38].

monitoring of all types of atmospheric aerosols within a distance of 10 km [36].

Developed in the US, the LRBSDS (Long Range Biological Standoff Detection System) facilitates the detection of aerosol clouds in a radius of 30 km. The JBSDS (Joint Biological Standoff Detection System), an upgraded and fully automated version of the LRBSDS, distinguishes between biological and non-biological aerosols, and facilitates the monitoring of cloud movement. The IBADS (Interim Biological Agent Detection System) allows a preliminary identification of pathogens based on immunochromatographic assays. The JPS (The Joint Portal Shields) is a highly automated detection system that also uses immunochromatographic assays. Controlled by a central computer, the JBPDS (The Joint Biological Point Detection System) detects biological particles within 60 seconds and allows the identification of ten pathogens within 20 minutes. In addition to fast detection, the FLAPS (Fluorescence Aerodynamic Particle Sizer) sends information to command centres [37].

Developed and implemented in the BIDS 31 version (Fig. 9), the Biological Integrated Detection System (BIDS) offers an extended, semi-automatic biological substance detection and identification capability. The system uses devices designed to measure aerosol size, particle count and biological fluorescence. The P31 system uses a bioluminescence detector in the form of a tandem pyrolysis MS instrument and an automated immunochromatographic assay system [38]



**Rycina 9.** Amerykański system BIDS; widok pojazdu i wnętrza [38]

**Figure 9.** The US-made BIDS system – the vehicle on the outside and inside [38]

Jednym z często wykorzystywanych przyrządów 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 posiada długość dopasowaną do pasma absorpcji badanego gazu. Po odbiciu od badanego obłoku trafiają one następnie do odbiornika w postaci dwóch różnych sygnałów.

Differential absorption lidar is another popular remote contamination detection device. Measurements using this lidar involve emitting two laser light beams with slightly different wavelengths, with one of them having a wavelength that is adjusted to the absorption band of the examined gas. Reflected by the cloud, these beams reach the receiver in the form of two different signals. The difference in their amplitudes is then used

## BADANIA I ROZWÓJ

Na podstawie pomiarów różnicy ich amplitud określa się stężenie badanej substancji w powietrzu. Przyrządem wykrywającym skażenia chemiczne opartym na tej metodzie jest słowacki przyrząd DD-CWA DIAL (ryc. 10). Wyniki jego pomiarów określają średnie stężenie badanego gazu znajdującego się na drodze wiązki laserowej (nie ma możliwości pomiaru stężenia lokalnego w danym miejscu). Posiada on 3 tryby pracy: normalny, zgrubny oraz wysokiej dokładności. W przypadku pracy w trybie wysokiej dokładności czułość przyrządu na całej ścieżce pomiarowej wynosi odpowiednio dla tabunu (GA) – 50 mg/m<sup>3</sup>, arinu (GB) – 150 mg/m<sup>3</sup>, somanu (GD) – 120 mg/m<sup>3</sup>, Vx – 80 mg/m<sup>3</sup> oraz iperytu siarkowego (HD) – 500 mg/m<sup>3</sup>. Posiada on wbudowany mikrokomputer, który steruje działaniem wchodzących w jego skład podzespołów. Jego maksymalny zasięg pomiarowy wynosi 3 km. Dane mogą być wysłane do zewnętrznego komputera przez port USB. Masa przyrządu wynosi 37 kg [39].

as the basis for determining the atmospheric concentration of the substance concerned. One device for chemical contamination detection based on this method is the Slovak-made DD-CWA DIAL (Fig. 10). DD-CWA DIAL measurements determine the average concentration of the gas along the laser beam path (site-specific concentrations cannot be measured). The device can work in three modes: standard, approximate, and high-precision mode. In the high-precision mode, the device's sensitivity across the measurement path is 50 mg/m<sup>3</sup> for tabun (GA), 150 mg/m<sup>3</sup> for sarin (GB), 120 mg/m<sup>3</sup> for soman (GD) 80 mg/m<sup>3</sup> for VX and 500 mg/m<sup>3</sup> for sulfur mustards (HD). It has an integrated microcomputer that controls the device's components. Its maximum measurement range is 3 km. Measurement data can be sent to external computers via a USB port. The device weighs 37 kg [39].



Rycina 10. Lidar absorpcji różnicowej DD-CWA [40]

Figure 10. DD-CWA differential absorption lidar [40]

Oprócz detektorów aktywnych w wykrywaniu skażeń stosuje się także detektory pasywne. Nie wykorzystuje się w nich światła lasera ani innego źródła promieniowania, tylko pomiary emisji promieniowania badanego skażenia występującego w powietrzu. Pomiar metodami pasywnymi w głównej mierze polega na termalnym odróżnieniu skażonej chmury powietrza od otaczającego jej tła (powietrza nieskażonego) przy wykorzystaniu wysokorozdzielczych kamer termowizyjnych wyposażonych w specjalne filtry. Zastosowanie 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 stosowany przyrząd rozpoznania skażeń chemicznych opierający wyniki swoich pomiarów na metodzie pasywnej z wykorzystaniem transformaty Fouriera przedstawiono na ryc. 11. Pozwala on 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 –10°– +50° w pionie przy pomocy kamery, która jest sprzężona z detektorem.

In addition to active detectors, passive detectors are applied to identify contamination. They do not use laser beams or other radiation sources, but radiation emission measurements of the analysed air contamination. The measurement with the use of passive methods consists mainly of the thermal separation of the contaminated air cloud from its background (uncontaminated air) with the use of high-resolution thermal vision cameras with special filters. The role of filters is to pass only low radiation ranges corresponding to the absorption bands of the examined gases, thanks to which it is possible to observe changes in the transmission of the absorbed radiation along the laser beam path. The advantage of passive detectors in comparison to active detectors is that they are much more difficult to detect as they do not emit radiation. A widely applied reconnaissance device for identifying chemical contamination whose measurements are based on the passive method with the use of the Fourier Transform is presented in Fig. 11. The instrument makes it possible to identify (on the basis of comparing the received spectra with those in the database) TWA (toxic warfare agents) and TIC (toxic industrial chemicals) in the form of aerosol from a distance of 5 km. The device enables horizontal observations in the range of 0–360° and vertical observations in the range of –10° – +50° with the use of the camera which is connected with the detector. It is characterised by

Charakteryzuje się on krótkim czasem pomiaru (10–60 sekund), włączania (40 sekund), a także wycelowania przyrządu w dowolny punkt w polu obserwacji (3 sekundy). 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 przy pomocy specjalnych programów przyrząd jest nieobciążony błędem. Konstrukcja przyrządu umożliwia także wykonywanie pomiarów w trudnych warunkach środowiskowych. Czułość przyrządu dla poszczególnych BST oraz TSP wynosi odpowiednio: GA – 0,13 ppm, GB – 0,009 ppm, GD – 0,012 ppm, HD – 0,02 ppm, luizyt (L) – 0,03 ppm, fosgen (CG) – 0,01 ppm, SF<sub>6</sub> – 003 ppm, amoniak – 2,5 ppm [41, 42].

short measurement time (10–60 seconds), turn on time (40 seconds) and time of targeting the devices at any selected point in the field of observation (3 seconds). It may be used as a stationary device or installed i.a. in contamination reconnaissance vehicles and helicopters. It should be noted that even in motion the measurement results are obtained in near-real time. The producer claims that due to processing measurement results with special software, the device is error-free. The structure of the device also enables measurements in difficult environmental conditions. The sensitivity of the device for the respective BST and TSP is as follows: GA – 0.013 ppm, GB – 0.009 ppm, GD – 0.012 ppm, HD – 0.02 ppm, lewisite (L) – 0.03 ppm, phosgene (CG) – 0.01 ppm, SF<sub>6</sub> - 003 ppm, ammonia – 2.5 ppm [41, 42].



**Rycina 11.** Przykład detektora pasywnego s [43]

**Figure 11.** An example of a passive detector [43]

Lidar przedstawiony na rycinie 12 przeznaczony jest do zdalnej detekcji substancji toksycznych w powietrzu. Urządzenie to może być montowane na statywie lub pojeździe (jako urządzenie przenośne) oraz wykorzystywane stacjonarnie. Daje możliwość pomiaru okrężnego (360°).

The LIDAR presented in Fig. 12 is designed for remote detection of toxic substances in the air. The equipment can be mounted on a stand or a vehicle (as a mobile instrument) or used as a stationary device. It enables 360° measurement.



**Rycina 12.** Przykład lidaru DD – CWA – A [44]

**Figure 12.** An example of a DD – CWA – A LIDAR [44]

W przypadku niedużych odległości możliwe jest również wykorzystanie platform bezzałogowych. Takie platformy (samobieżne roboty) mogą stanowić wyposażenie transporterów do rozpoznania skażeń. Przykład takiego rozwiązania stanowi czeski kołowy transporter do rozpoznania skażeń „Aligator” wyposażony w samobieżny robot – (ryc. 13) [45].

For small distances it is possible to use unmanned platforms. Such platforms (self-propelled robots) can be part of the equipment of armoured vehicles for contamination reconnaissance. An example of such a solution is the Czech “Aligator” wheeled armoured vehicle for contamination reconnaissance with a self-propelled robot – (Fig. 13) [45].



**Rycina 13.** Samochód do rozpoznania skażeń S-LOV-CBRN z samobieżnym robotem [46]  
**Figure 13.** The S-LOV-CBRN contamination reconnaissance car with a self-propelled robot [46]

Robot umożliwia prowadzenie rozpoznania skażeń chemicznych, pobieranie próbek oraz przekazywanie obrazu z kamer. Czas użytkowania od 1,5 do 4 h, sterowanie zdalne do 1 km, prędkość rozpoznania do 3,5 km/h [46].

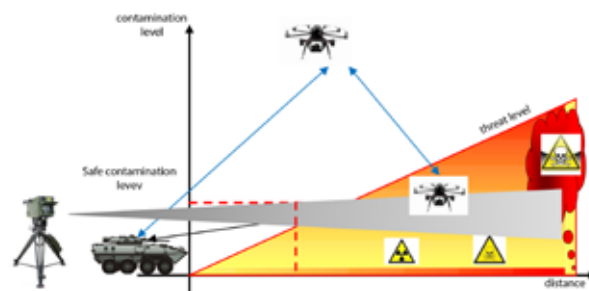
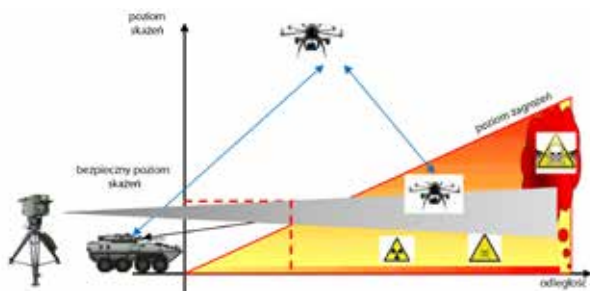
Zdalne rozpoznanie skażeń to kolejne wyzwanie, które można rozwiązać przy wykorzystaniu określonych technologii optoelektronicznych, ale i obecnie coraz częściej bezzałogowych aparatów latających. Przyszłość pokaże, czy zastosowanie dronów poszerzy zdolność oceny skażeń i pozwoli na uzyskanie efektu synergii.

Obecnie jednak korzyści z zastosowania inteligentnych automatów widać na przykładzie BSP (Bezpilotowe Statki Powietrzne), gdzie ekonomia opracowania i eksploatacji wyraźnie jest korzystniejsza w wypadku takiego robota. Najnowsza technika autonomicznych rojów zmierza do zwiększenia ich możliwości bojowych poprzez tworzenie różnorodnych zespołów BSP. Możliwości każdego BSP składać się będą na wartość całego zespołu zadaniowego, co daje większą elastyczność w wykorzystaniu i eliminację przynajmniej części wad dotychczas stosowanych systemów. Współpracujące ze sobą BSP wymieniają pozyskane indywidualnie dane, wzajemnie się nadzorują, przesyłają bardziej szczegółowe dane i są zdolne na raz współpracować z wieloma systemami walki przy niższych kosztach eksploatacji. Na ryc. 14 przedstawiono wizualizację możliwości systemu z wykorzystaniem środków bezzałogowych.

The robot makes it possible to recognise chemical contamination, collect samples and transmit camera feed. Its operation time is from 1.5 to 4 h, remote control range is up to 1 km, and reconnaissance speed up to 3.5 km/h [46].

Stand-off contamination reconnaissance is another challenge which can be met with the application of specific optoelectronic technologies, and currently much more often of unmanned aircraft systems. The future will show whether the use of drones will expand the capabilities of assessing contaminations and reaching synergy.

However, currently the benefits of using smart automated systems can be observed on the example of UAV (Unmanned Aerial Vehicles), where design and operation of such robots is clearly more economical. The most recent autonomous robot swarms technology is aimed at increasing their combat capabilities by creating heterogeneous UAV systems. The capabilities of each UAV will contribute to the value of each task force, which ensures greater flexibility in use and makes it possible to eliminate at least some of the weak points of the systems applied so far. Cooperating UAVs exchange their individual data, supervise each other, transmit more detailed data and are able to simultaneously collaborate with two combat systems with lower operation costs. Fig. 14 presents a visualisation of the capabilities of the system using unmanned vehicles.



**Rycina 14.** Wizualizacja możliwości systemu rozpoznania skażeń [35]

**Figure 14.** Visualisation of the capabilities of the pollution identification system [35]

Oczywiście automatyzacja i robotyzacja nie ogranicza się do zapewniania tym systemom możliwości samodzielnego myślenia wyłącznie przy wykorzystaniu zaawansowanej techniki komputerowej. Są i inne badane obecnie możliwości, takie jak wykorzystanie żywej tkanki nerwowej czy materiałów syntetycznych.

Automation and robotisation is obviously not limited to providing these systems with the possibility of autonomous thinking solely with the use of advanced computing technology. Other options are being investigated, such as the use of live nervous tissue or synthetic materials. The first robots controlled

Powstały już pierwsze roboty sterowane kilkuset tysiącami żywych neuronów pobranych z mózgu różnych zwierząt. Mamy również odwrotne sytuacje, gdy sztuczny mózg kieruje działaniem żywego organizmu. Powstały pierwsze biboty, czyli rodzaje robotów w części zbudowanych z materiału biologicznego.

Same komputery (nawet te najbardziej zaawansowane) wymagają też wielu systemów wsparcia pozwalających im na zdobywanie informacji o otoczeniu pracy czy warunkach związanych z realizacją konkretnych zadań stawianych przed wyposażone w nie systemy walki. Inteligentne automaty, roboty pola walki czy złożone systemy uzbrojenia mogą w znaczący sposób zmienić oblicze przyszłych wojen. Przede wszystkim mogą znacznie ograniczyć, dzisiaj społecznie nieakceptowalne, duże straty w ludziach oraz wydatnie zmniejszyć nakłady przeznaczane na utrzymywanie i klasyczne wyposażenie armii. Zbudowanie nowoczesnego czołgu, z zaawansowanymi systemami ochrony dla ludzi go wykorzystujących, może już wkrótce okazać się dużo bardziej skomplikowane i na pewno droższe, niż zbudowanie roju inteligentnych robotów przeznaczonych do monitorowania zagrożeń pochodzących od działalności człowieka, a zwłaszcza zagrożeń CBRN.

Przegląd projektów środków bezpilotowych wskazuje, że istnieje niekwestionowana tendencja przenoszenia rozpoznania na coraz niższe szczeble, w tym nawet dla pojedynczego żołnierza (Mikro-BSP czy robot plecakowy), który własny środek rozpoznawczy nosi ze sobą, a używa go do rozpoznania celów za przeszkodami terenowymi. W ten sposób, mając rozpoznanie w głąb przedpola, żołnierz minimalizuje własne ryzyko i maksymalizuje efekt oddziaływania przez posiadanie przewagi informacyjnej.

Ponadto możliwa jest zdalna detekcja skażeń oraz pełna automatyzacja pomiarów poprzez zintegrowanie 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 oraz 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.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem są platformy z zestawem czujników do detekcji np. poziomu skażeń promieniotwórczych. Platforma desantowana jest ze śmigłowca lub samolotu w terenie skażonym lub podejrzanym o skażenie. Czas eksploatacji (zależny od zastosowanych akumulatorów) wynosi ok. 24 h – ryc. 15.

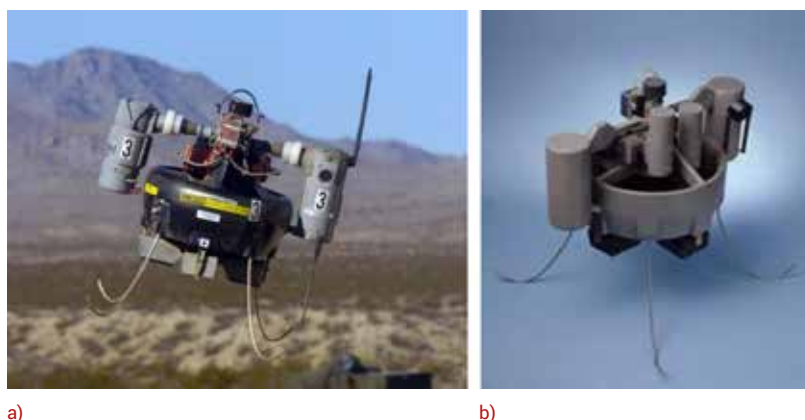
with several hundred thousand live neurons acquired from the brains of various animals have already been developed. There are also opposite cases, where an artificial brain controls a live organism. The first bio-bots were created, which are robots partly composed of biological materials.

Computers themselves (even the most advanced) also require numerous support systems enabling them to gather information on their work environment and the circumstances related to the implementation of specific tasks generated by combat systems equipped in such computers. Smart automated systems, battlefield robots and comprehensive armament systems can transform future combat operations. First of all, they can considerably limit high human losses, which nowadays are socially unacceptable, and substantially reduce expenditures on the maintenance and standard equipment of the army. Building a state-of-the-art tank with advanced protection systems for its operators may soon turn out much more complicated and expensive than creating a swarm of smart robots designed for monitoring threats related to human activity, especially CBRN.

The review of unmanned systems shows that there is an unquestionable tendency to move reconnaissance to lower levels, even to individual soldiers (micro-UAVs or backpack robots), who carry their reconnaissance systems with them and use them for the recognition of targets behind terrain obstacles. In this way, being able to detect hazards far in the foreground, soldiers minimise their risk and maximise the impact of their action through information advantage.

Furthermore, the stand-off detection of contamination and full automation of measurements is possible through integrating various electro-optical systems in data acquisition, processing and transmission. A combination of various measurement techniques and sensors (e.g. ion-mobility spectrometers, semiconductor and electro-chemical detectors, acoustic-optical and optical fibre systems, etc.) substantially expands the measurement capabilities of optoelectronic systems of contamination monitoring, ensuring high accuracy and equivalence of results. Computational, analytical and experimental research carried out for several years at the Military University of Technology has enabled to specify the basic fluorescence and absorption spectra of chemical and biological warfare agents, the absorption spectra of TNA and TIC in the infrared range, and the impact of typical atmospheric constituents, in particular vapour, carbon oxide and carbon dioxide, on the measurements and detection of chemical and biological contamination. The current key factor for the design, performance and testing of the stand-off gas and aerosol detection systems, in addition to information on their absorption, fluorescence and emission spectra, is the selection of appropriate substances simulating toxic substances (simulants), which are harmless enough to be used in open spaces for testing the developed systems.

Platforms with sets of sensors for detecting e.g. the level of radioactive contamination, are a very interesting solution. The platform is thrown down from a helicopter or aircraft in a contaminated area or space suspected of being contaminated. Operation time (depending on batteries used) is approx. 24 h – Fig. 15.



Rycina 15. Platformy do wykrywania skażeń promieniotwórczych: a) Micro Air Vehicle [47], b) Organic Air Vehicle [48]  
 Figure 15. Platforms for detecting radioactive contamination: a) Micro Air Vehicle [47], b) Organic Air Vehicle [48]

## Podsumowanie

W latach osiemdziesiątych XX wieku ukształtował się zasób wiedzy dotyczącej zagrożeń pochodzących od broni masowego rażenia i niebezpiecznych substancji chemicznych i promieniotwórczych pochodzenia przemysłowego. Nieustanny rozwój tych środków spowodował, że przedmiot badań uległ rozszerzeniu. Szczególne zagrożenie od patogenów i aerozoli promieniotwórczych powstałych po awarii reaktorów jądrowych ujawniły różne problemy natury obronnej i ochronnej.

W celu efektywnej ochrony ludności przed skażeniami potrzebna jest odpowiednia ilość sił i środków, które pozwolą m.in. szybko wykryć, zidentyfikować i monitorować skażenia oraz szybko o nich zaalarmować. W RP powołano Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania. Jego utworzenie powinno zapewnić współpracę oraz interoperacyjność działania organów oraz jednostek układu militarnego i pozamilitarnego w ramach tzw. reagowania kryzysowego – ochrony infrastruktury krytycznej. Bardzo pożądane byłoby ujednoczenie metodyk i procedur działania, np. dzięki zastosowaniu identycznych formatów meldunków i informacji o skażeniach oraz procedur ich przekazywania, a także jednolitego obiegu i jednolitej wymiany informacji o skażeniach – planów współdziałania.

**Zadanie zarządzanie informacją CBRN** obejmujące ciągłe zbieranie, przetwarzanie, przechowywanie i rozpowszechnianie danych dotyczących skażeń dla KSWSiA. W szczególności SWS nie powinno być zadaniem instrukcyjnym, ale elementem wprowadzonym do systemu. Podstawowymi zadaniami powinny być: opracowanie hipotetycznej oceny zagrożenia i prognozowanie zagrożeń na terytorium kraju na podstawie danych dotyczących przechowywanych (magazynowanych) TSP w zakładach dużego ryzyka i zwiększonego ryzyka. Na podstawie hipotetycznych zagrożeń będzie możliwe np. rozmieszczenie dodatkowych (uzupełniających lub wykorzystanie istniejących, ale włączonych do systemu) elementów SWS, zarządzanie ryzykiem, a w konsekwencji ułatwienie podejmowania odpowiednich decyzji. To oznacza, że powinny powstać jednolite dla KSWSiA procedury oraz zawsze newralgiczny algorytm przekazywania danych.

Istniejący w RP system wykrywania skażeń jest anachroniczny w porównaniu z rozwiązaniami istniejącymi w NATO. Powi-

## Summary

The knowledge resources on threats generated by weapons of mass destruction and hazardous chemical and radioactive substances of industrial origin were established in the 1980s. However, the constant development of these substances has led to an extension of the subject of research. Specific threats caused by pathogens and radioactive aerosols created after nuclear reactor failures have disclosed various defence- and protection-related problems.

For the effective protection of the population from contamination, an appropriate means and resources are necessary to i.a. rapidly detect, identify and monitor contamination and to establish an effective warning system. The National System for Contamination Detection and Alarm was created in Poland (KSWSiA), which should ensure cooperation and interoperability between military and non-military bodies under the so-called crisis response for the protection of critical infrastructure. It would be desirable to standardise the methodologies and procedures of operation, e.g. through the application of identical formats of reporting and information about contamination and the procedures of communicating them, and a consolidated circulation and exchange of information on contamination – cooperation plans.

**The CBRN information management task**, which encompasses the constant collection, processing, storage and dissemination of data on contamination for KSWSiA. The SWS contamination detection system in particular should not be limited to an instructional task but an element introduced in the system. The primary tasks should include the development of hypothetical threat assessment and forecasting on the country's territory on the basis of TIC data stored in upper-tier establishments and lower-tier establishments. On the basis of hypothetical threats, it will be possible e.g. to deploy additional (supplementary, or use the existing ones included in the system) contamination detection systems, and to manage risk, consequently leading to improved decision-making. This means that uniform procedures for KSWSiA should be created, together with the data transfer algorithm, which is always problematic.

The contamination detection system in place in Poland is outdated as compared to solutions existing in the NATO. It should be

nien zostać przebudowany z uwzględnieniem środków automatycznych. Wzorem PSP do systemu rozpoznania powinny zostać wprowadzone środki bezpilotowe (BSP) oraz urządzenia lidarowe. BSP mogłyby być wykorzystane w rejonach, gdzie występuje skażenie, lidary na środkach ruchomych do oceny skażeń chemicznych i biologicznych z odległości, a stacjonarne – np. do zabezpieczenia infrastruktury krytycznej państwa oraz imprez masowych. W sytuacjach, gdy będzie konieczność pobrania próbek, zadanie to wraz z elementem rozpoznania powinny wykonywać sterowane z odległości roboty. Należy zaznaczyć, że wszystkie elementy techniczne są dostępne w kraju, a obserwuje się brak spójności w działaniach Państwowego Monitoringu Środowiska, Państwowej Straży Pożarnej– Służby Ochrony Państwa oraz SZRP.

## Wnioski

1. Na terytorium RP istnieje realne zagrożenie skażeniami powstałymi po niekontrolowanym uwolnieniu wysoko toksycznych substancji chemicznych z ponad 400 zakładów przemysłowych, mogących być potencjalnymi źródłami poważnych awarii. Uwolnienie do środowiska może zostać spowodowane czynnikami naturalnymi (takimi jak huragany, powódzie, trzęsienia ziemi) lub przez człowieka w sposób nieświadomy (np. przez błąd ludzki) lub świadomy (np. jako akt terroryzmu). W analizie nie można pominąć zagrożeń od reaktorów jądrowych znajdujących się przy granicach RP oraz od patogenów.
2. System Wykrywania Skażeń SZ RP jest niespójny proceduralnie z analogicznymi rozwiązaniami istniejącymi w NATO. W NATO preferowane są systemy zautomatyzowane oparte o najnowsze osiągnięcia techniki, a w SZ RP „ręczne” z wyposażeniem technicznym z minionej epoki.
3. Zarządzanie informacją CBRN nie powinno być tylko zapisem instrukcyjnym, ale rzeczywistym elementem systemu OPBMR, a zadanie opracowanie oceny i prognozowanie zagrożeń powinno być zadaniem wyprzedzającym wykonanym na podstawie aktualnych stanów magazynowych w zakładach i być przyczynkiem do planowania rozmieszczenia elementów Systemu Wykrywania Skażeń.
4. System rozpoznania skażeń, wzorem rozwiązań istniejących w armiach NATO, powinien opierać się o środki automatyczne np. typu lidar, dron, robot lub ich połączeń – dron z lidarem, robot z lidarem lub desantowana mikropaleta (z zestawem czujników, systemem analizy i przekazywania sygnału) o określonym czasie eksploatacji (np. 24 h) typu amerykańskiego Organic Air Vehicle.

## Wykaz skrótów / List of abbreviations

ATP	allied tactical publication
BMR	broń masowego rażenia
WMD	weapon of mass destruction
CBRN	chemiczna, biologiczna, radiologiczna i nuklearna / chemical, biological, radiological and nuclear weapon

restructured to include automated solutions. Following the example of the State Fire Service, the reconnaissance system should include unmanned aerial systems (UASs) and lidars. UASs could be used in contaminated areas, and lidars on mobile equipment to assess chemical and biological contamination from a distance, and stationary devices – for instance to secure the critical infrastructure of the State and for mass events. In cases when samples are needed, the task, including reconnaissance elements, should be performed by remote-controlled robots. It should be emphasised that all technical elements are available in Poland, but a lack of consistency is observed in the operations of the State Environment Monitoring System, the State Fire Service – the State Protection Service and the Polish Armed Forces.

## Conclusions

1. In the Republic of Poland there is a real threat of contamination caused by uncontrolled release of highly toxic chemical substances from over 400 industrial plants, which can be potential sources of serious failures. Such release can be caused by natural factors (such as hurricanes, floods, earthquakes) or by people in an unintentional (e.g. human error) or deliberate way (e.g. acts of terrorism). The analysis must take into consideration the threats associated with nuclear reactors located near Polish borders and with pathogens.
2. The Contamination Detection System of the Polish Armed Forces does not comply in terms of procedures with the corresponding solutions used in the NATO. The NATO automated systems are preferred based on cutting-edge technological achievements, and the Polish Armed Forces rely on outdated manual technical equipment.
3. CBRN information management should not be limited to an instructional task, but constitute an actual element of the CBRN defence, and the task of developing threat assessment and forecasting should be done in advance on the basis of the current stocks in plants, and contribute to planning the deployment of Contamination Detection System elements.
4. The Contamination Detection System, following the example of the solutions existing in the NATO, should be based on automatic equipment, e.g. lidars, drones, robots, and the combinations of drones with lidars, robots with lidars, or thrown-down micropallets (with sets of sensors, analysis and signal transmission systems) with a specific operation time (e.g. 24 h), such as the US Organic Air Vehicle.



## BADANIA I ROZWÓJ

EJ	elektrownia jądrowa	ROTA	Release Other Than Attack
NPP	nuclear power plant	RP	Rzeczpospolita Polska / Republic of Poland
<sup>131</sup> I	izotop jodu / isotope of iodine	SIBCRA	Sampling and Identification of Biological, Chemical and Radiological Agents
KWSWiA	Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania / The National System for Contamination Detection and Alarm	SOP	stałe procedury operacyjne / standing operational procedures
LIDAR	Light Detection and Ranging	SWSSZRP	Systemu Wykrywania Skażeń w SZ RP / Contamination Detection System of the Polish Armed Forces
mSv	milisiwert / millisievert	TIM	toxic industrial materials
MW	megawat / megawatt	TSC	toksyczne substancje chemiczne / toxic chemicals
NATO	Organizacja Traktatu Północnoatlantyckiego / North Atlantic Treaty Organization	SZ RP	Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej / Polish Armed Forces
NBC	nuclear, biological, chemical / nuklearna, biologiczna, chemiczna	TSP	toksyczne środki przemysłowe
NDS	najwyższe dopuszczalne stężenie	TIC	toxic industrial chemicals
TLV	the threshold limit value	<sup>235</sup> U	izotop uranu / isotope of uranium
PKP	Polskie Koleje Państwowe / Polish State Railways	ZDR	zakład dużego ryzyka
OPBMR	Obrona Przed Bronią Masowego Rażenia / Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence	UTE	upper-tier establishment
PSP	Państwowa Straż Pożarna / State Fire Service	ZZR	zakład zwiększonego ryzyka
		LTE	lower-tier establishment

## Literatura / Literature

- [1] Raport o stanie bezpieczeństwa w Polsce w 2016 roku, MSWiA, s. 300, <https://bip.mswia.gov.pl/bip/> [dostęp: 06.2018].
- [2] Elektrownie jądrowe wokół Polski, <https://www.darlowo.pl/pl/?-page=wiadomosci&wiadomosc=2897https://www.google.com/search?q=elektrownie+%C4%85drowe+u+s%C4%85siad%C3%B3w+polski>, [dostęp: 12.2018].
- [3] Palijczuk D., *System rozpoznania skażeń promieniotwórczych wojsk lądowych w aspekcie wymogów NATO*, rozprawa doktorska, AON 2001.
- [4] Harmata W. i in., *Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie wymagania długoterminowego – EG 4405 „Udoskonalone środki ochrony przed bronią masowego rażenia (NBC)”*, sygn. WICHiR-O-NIW-837/2002.
- [5] Jaworowski Z., *Jak to z Czarnobylem było*, „Wiedza i Życie” 1996, 5.
- [6] Tarski I., *Ekonomia i organizacja transportu międzynarodowego*, PWE, Warszawa 1993.
- [7] Kopczewski R., Nowacki G., Zakrzewski B., *Zagrożenia chemiczne i ekologiczne podczas przewozu drogowego towarów niebezpiecznych*, „Bezpieczeństwo i ekologia”, 2017, 9.
- [8] *Wykonywanie zadań przez administrację publiczną w zakresie bezpieczeństwa przewozu towarów niebezpiecznych*, <https://www.nik.gov.pl/> [dostęp: 06.2018].
- [9] Pająk M., Madej M., Ozimina D., Milewski K., *Wypadki w transporcie drogowym towarów niebezpiecznych – analiza zdarzeń z lat 2010–2015*, „Bezpieczeństwo i ekologia”, 2016, 10.
- [10] [https://www.plk-sa.pl/files/public/user\\_upload/pdf/Akty\\_prawne\\_i\\_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Instrukcja\\_o\\_postepowaniu\\_przy\\_przewozie\\_koleja\\_towarow\\_niebezpiecznych\\_lf-16\\_21\\_12\\_17.pdf](https://www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Instrukcja_o_postepowaniu_przy_przewozie_koleja_towarow_niebezpiecznych_lf-16_21_12_17.pdf) [dostęp: 01.2019].
- [11] Murawiec J., *Transport kolejowy paliwa jądrowego przez terytorium Polski – tranzyt*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2011.
- [12] Durski W., *Identyfikacja przyczyn pierwotnych powstawania zagrożeń w transporcie materiałów niebezpiecznych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej”, 2008, Nr 63.
- [13] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych Szkol. 869/2013.
- [14] ATP-3.8.1. VOL I – CBRN Defence on operations, January 2010, The agreement of NATO nations to use this publication is recorded in STANAG 2521, chapter 7 detection, identification and monitoring.
- [15] Stanag 2002 Warning sign for the marking of nuclear, biological and chemical contaminations, Brussels 2006.
- [16] Multiservice tactics, techniques, and procedures for nuclear, biological, and chemical reconnaissance, FM 3-11.19, 2004.
- [17] AEP-66 NATO Handbook for sampling and Identification of biological, chemical, and radiological agents (SIBCRA), North Atlantic Treaty Organization, 2009.
- [18] Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń w Siłach Zbrojnych RP, sygn. OPChem. 391/2004.
- [19] ATP-45(C) Reporting Nuclear Detonations, Biological and Chemical Attacks, and Predicting and Warning of Associated Hazards and Hazards Areas (Operators Manual), December 2005 (STANAG 2103).
- [20] *Metodyki oceny sytuacji skażeń promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych*, MON, Warszawa, 2013., sygn. OPChem. 392/2002.
- [21] ATP-45(D) *Metodyki oceny sytuacji skażeń promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych*, sygn. Chem. 408/2013.
- [22] Multiservice Tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Contamination Avoidance, FM 3-11.3/MCWP 3-37.2A/NTTP 3-11.25/AFTTP(I) 3-2.56, C1, Headquarters Department of the Army United States Marine Corps United States Navy United States Air Force Washington, DC, 30 April 2009.
- [23] AJP-3.8 Edition A Version 1 – Allied Joint Doctrine for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Defence, NATO Standardization Agency (NSA), 2012.
- [24] Solarz J., *Ryzyko Zagrożeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych*, „Zeszyty Naukowe AON”, 2010, 1(78), 134–144.
- [25] Multiservice tactics, techniques, and procedures for nuclear, biological, and chemical reconnaissance, FM 3–11.19, 2004.
- [26] Solarz J. i in., *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach. Cz. I. Potrzeby i możliwości rozpoznania skażeń w czasie pokoju, kryzysu i wojny*, CS OPBMR SZ RP, AON, Warszawa 2011.

- [27] Harmata W., *Ochrona przed skażeniami, cz. V, Wybrane zagadnienia organizacyjne i techniczne rozpoznania skażeń*, WAT, Warszawa 2018 (materiały niepublikowane).
- [28] Dziadak M., *Koncepcja naziemnego rozpoznania skażeń z wykorzystaniem transporterów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2017.
- [29] Harmata W. i in., *Typoszerzeg filtropochłaniaczy do ochrony zbiorowej z uwzględnieniem zagrożeń chemicznych i biologicznych OBOL*, Sprawozdanie z badań partii prototypowej typoszeregu filtropochłaniaczy FPT-100 I FPT-200, sygn. WICHiR ONIW nr 1214/2006.
- [30] Mierczyk Z., *Optoelektroniczne systemy monitorowania zagrożeń*, wystąpienie na V Konferencji Naukowo-Technicznej Zastosowania technik obserwacji Ziemi, Zielonka 2010.
- [31] Pietrzak G., *Koncepcja systemu powietrznego wykrywania skażeń z wykorzystaniem środków bezpilotowych*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2016.
- [32] NO-42-A221:2016 Sprzęt do wykrywania skażeń chemicznych. Automatyczne sygnalizatory skażeń chemicznych. Wymagania techniczne.
- [33] NO-42-A204:2014 Wojskowe przyrządy dozymetryczne. Ogólne wymagania techniczne.
- [34] Harmata W., Witczak M., Pietrzak G., *Koncepcja rozwiązań technicznych systemu powietrznego wykrywania skażeń wykorzystującego statki bezzałogowe*, BiTP Vol. 48 Issue 4, 2017, pp. 14–32.
- [35] 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" 2018, 50, 1(187), 5–24.
- [36] Mierczyk Z., Zygmunt M., Gawlikowski A., Gietka A., Knysak P., Młodzianko A., Muzal M., Piotrowski W., Szopa M., Wojtanowski J., *Dwubarwny LIDAR rozproszeniowy do zdalnego wykrywania aerozoli*, Biuletyn WAT, vol. LVIII, Nr 1, 2009, s. 33–45
- [37] Suchorab A., *Broni biologiczna*, Prezentacja multimedialna, <http://slideplayer.pl/slide/435207/> [dostęp: 12.2017].
- [38] <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/bids.htm> [dostęp: 01.2019].
- [39] Materiały reklamowe Stand - off Detector of Chemical warfare agents model DD-CWA-S (tripod verzion) / model DD-CWA-A (vehicle verzion) Military Research Institute SK-03101 Liptovský Mikuláš.
- [40] <https://www.cbrneportal.com/active-cwa-stand-off-detection/> [dostęp: 01.2019].
- [41] <https://www.bruker.com/products/cbrne-detection/ft-ir/rapid-plus-rapidplus-control-20-vom/overview.html> [dostęp: 01.2016].
- [42] 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, Virginia 2001.
- [43] *RAPIDplus and RAPIDplus Control 2.0 VOM (Video Overlay Mode)*, www.bruker.com/products/cbrne-detection/ft-ir/rapidplus-rapidplus-control-20-vom/overview.html [dostęp: 04.2016].
- [44] *Acronyms Abbreviations & Terms A Capability Assurance Job Aid*, www.fema.gov/pdf/plan/prepare/faatlist07\_09.pdf [dostęp: 04.2018].
- [45] Res B., Tomek M., *Souprava lehkého obrněného vozidla S-Lov-CBRN*, „Biuletyn WICHiR” 2014, 43(1).
- [46] *Radiacní, biologické a chemické vozidlo LOV-CBRN*, <http://www.armadinoviny.cz/radiacni-biologicke-a-chemicke-vozidlo-lov-cbrn.html> [dostęp: 06.2018].
- [47] *Micro air vehicle*, Wikipedia, CC-SA 3.0, [https://en.wikipedia.org/wiki/Micro\\_air\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Micro_air_vehicle) [dostęp: 05.2018].
- [48] *Organic Air Vehicle (OAV)*, [http://defense-update.com/20050921\\_mav-oav.html](http://defense-update.com/20050921_mav-oav.html) [dostęp: 05.2018].

**DR HAB. INŻ. WŁADYSŁAW HARMATA** – w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – ekologia, likwidacja skażeń, ochrona przed skażeniami. Współautor 9 patentów krajowych oraz 20 wdrożeń do SZ RP. Jest autorem (współautorem) ok. 400 oryginalnych pracach naukowych, 6 monografii i podręczników akademickich.

**GENERAL BRYGADY /R/ MGR. INŻ. MAREK WITCZAK** – w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem wizytującym na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – ochrona przed skażeniami. Współautor wielu opracowań z Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia. Specjalizuje się w zakresie wojskowych metod rozpoznania skażeń chemicznych i radiologicznych ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień wykorzystania bezpilotowych aparatów rozpoznania i wykrywania skażeń. Zajmuje się też oceną sytuacji skażeń w oparciu o systemy informatyczne dla potrzeb SZRP.

**WŁADYSŁAW HARMATA, D.SC., ENG.** – graduated in 1978 from the Faculty of Chemistry and Technical Physics, Military University of Technology in Warsaw. A professor at the Faculty of Chemistry and New Technologies, the MUT; specialism: ecology, decontamination and protection against contamination. He has co-authored 9 national patents and 20 implementations for the Polish Armed Forces. He is the author (or co-author) of approx. 400 original scientific studies, 6 monographs and academic coursebooks.

**BRIGADIER GENERAL /R/ MAREK WITCZAK, M.SC., ENG.** – graduated in 1978 from the Faculty of Chemistry and Technical Physics, Military University of Technology in Warsaw. A visiting professor at the Faculty of Chemistry and New Technologies, the MUT; specialism: protection against contamination. He has co-authored numerous studies on Chemical, Biological Radiological and Nuclear Defence. He specialises in military methods of chemical and radiological contamination recognition, with particular consideration of the use of unmanned reconnaissance systems and contamination detection. His interests also include contamination assessment on the basis of IT systems for the purposes of the Polish Armed Forces.