



SKAŻENIA CHEMICZNE – TYPOLOGIA ZAGROŻEŃ

dr inż. Jarosław SOLARZ
Wydział Bezpieczeństwa Narodowego AON

Abstract

Risk of contamination is a problem well known for many years. Its apogee coincided with the Cold War, in which weapons of mass destruction, which is the main source of potential contamination, remained constantly in the spotlight. Today, despite the threat of use of chemical weapons, nuclear or biological weapons is negligible, the problem of contamination still exists.

This is particularly evident in the case of chemical agents, which in some cases can lead to major emergencies. In addition, due to the quite different characteristics of individual agents, the type of emerging risks, generated by the contamination may be very different.

This means that for a correct assessment of possible contamination risks we have to get to know the type and nature of all agents, being a potential factor in the formation of contamination.

This article is an attempt to present the essence and nature of the risks generated by chemical agents, both those warfare, as well as other commonly used in the national economy. For a better problem understanding, the most possible threats have been discussed, pointing to the real danger that pose. Additionally presented the essence of the contamination, identification of respective risks and their basic typologies.

Key words – Contamination, chemical warfare agents, toxic industrial chemicals, chemical hazardous substances

Dynamiczny i coraz bardziej powszechny postęp cywilizacyjny współczesnego świata jest niewątpliwym źródłem dobrobytu i rozwoju każdego człowieka. Z dnia na dzień przekraczamy kolejne bariery, które umożliwiają nam osiągnięcie tego, czego jeszcze nie tak dawno nie potrafiliśmy sobie nawet wyobrazić. Wszystko to powoduje, że w codziennym wyścigu do lepszego życia, powoli zapominamy o ciemniejszych stronach naszej rzeczywistości, w której, niezależnie od naszej woli, wciąż pojawia się cały szereg różnorodnych zagrożeń i problemów. Wśród nich poczesne miejsce zajmują sprawy skażenia środowiska, które ze względu na ich ilość, różnorodność oraz charakter mają coraz większy wpływ na bezpieczeństwo i komfort naszego życia.

W piśmiennictwie nietrudno znaleźć definicję skażenia, niestety nie wszystkie z nich są jednakowo wiarygodne i jednoznaczne. Co więcej sam termin „skażenie” niewiele się przyda, gdyż konkretnego znaczenia nabiera dopiero po połączeniu z określeniem jego rodzaju. W ten sposób możemy mieć do czynienia ze skażeniem środowiska, gleby, wód, powietrza, czy człowieka albo ze skażeniem biologicznym, promieniotwórczym lub chemicznym.

Te ostatnie traktowane jest zwykle jako zanieczyszczenie powietrza, wody, gleby, ciała ludzkiego, przedmiotów itp. substancjami toksycznymi. Jego źródłem może być zarówno celowe działanie, np. poprzez zastosowanie broni chemicznej, jak i całkowity przypadek, wynikający z awarii obiektów przemysłowych lub wypadków podczas transportu substancji niebezpiecznych.

Problem zagrożeń powodowanych przez środki chemiczne, zarówno te bojowe, jak i przemysłowe, doczekał się licznych opracowań, raportów i publikacji, które w mniejszym lub większym stopniu oddają jego istotę oraz charakter. Wielość wypowiedzi, ich niedoskonałość oraz waga poruszanego problemu powoduje jednak, iż istnieje konieczność stworzenia w miarę spójnej typologii zagrożeń generowanych przez skażenia chemiczne.

Celem artykułu jest identyfikacja możliwości powstawania skażeń chemicznych oraz diagnoza poziomu ryzyka generowanego przez bojowe środki trujące i toksyczne środki przemysłowe. Z tego powodu przedstawiono w nim podstawową charakterystykę tych środków z jednoczesną analizą możliwości wystąpienia potencjalnych zagrożeń z tym związanych. Aby to ocenić nakreślono następujące pytania: Jaka jest istota skażeń chemicznych? Które ze środków stwarzają poważne zagrożenie i z czego ono wynika? Czy potencjał rażenia poszczególnych środków jest porównywalny? I wreszcie – czy istnieje jednoznaczna, powszechnie akceptowana typologia tych zagrożeń?

Istota skażenia

Powstawanie skażeń chemicznych zazwyczaj wynika z przypadkowego uwolnienia lub celowego użycia środków trujących, które następnie, ze względu na swoją naturę i specyficzne właściwości mogą być przyczyną istotnych zagrożeń dla ludzi, zwierząt czy środowiska. Ze względu na dość zróżnicowane właściwości poszczególnych środków, rodzaj generowanych zagrożeń może być bardzo różny. Oznacza to, że do prawidłowej ich oceny konieczne jest dogłębne poznanie rodzaju i charakteru wszystkich środków chemicznych, które w pewnych sytuacjach mogą być potencjalnym źródłem skażeń.

Problematyka zagrożeń implikowanych przez skażenia nie jest nowa. Od wielu lat w ośrodkach naukowych prowadzono badania zmierzające do opracowania lub doskonalenia coraz to lepszych rodzajów broni, wśród których poczesne miejsce zajmowała broń chemiczna. Już wtedy uznano, pomijając nawet inne czynniki

rażenia, iż rozległość oraz niebezpieczny charakter powstających skażeń w sposób absolutnie wystarczający kwalifikuje broń chemiczną do jej militarnego wykorzystania. Na ogół jednak takie zastosowanie dotyczy prawie wyłącznie konfliktu zbrojnego, w którym użycie broni chemicznej teoretycznie jest uzasadnione. Patrząc na to z tego punktu widzenia łatwo dostrzec, że skażenia powstające w czasie pokoju, będące wynikiem ataków bronią masowego rażenia są bardzo mało prawdopodobne. Czy to więc oznacza, że zagrożenie ze strony skażeń nie występuje? Na pewno nie, bowiem oprócz bojowych środków trujących istnieje cały szereg niebezpiecznych substancji chemicznych, które w pewnych sytuacjach mogą być przyczyną skażeń. Powstaje więc pytanie na czym polega istota skażenia i jakie cechy je wyróżniają?

Wbrew pozorom odpowiedź na to pytanie nie jest jednoznaczna, gdyż w zależności od interpretacji skażenie może oznaczać różne stany. Przede wszystkim może być traktowane jako *zanieczyszczenie, które z powodu szczególnie dużego stężenia lub natężenia albo wyjątkowej aktywności może wywołać w krótkim czasie chorobę lub śmierć ludzi (także innych organizmów)*¹. W innym ujęciu skażenie może oznaczać *przedostanie się do środowiska naturalnego ... substancji toksycznych lub promieniotwórczych stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia roślin, zwierząt i człowieka...*². Oprócz tego spotyka się zdania, że skażenie jest równoznaczne z zanieczyszczeniem i to niezależnie od typu środka skażającego (zanieczyszczającego). W tym znaczeniu mówi się więc o skażeniu wód ropą, skażeniu gleby metalami ciężkimi, czy powietrza gazami przemysłowymi. Takie zanieczyszczenia, chociaż uciążliwe nie zawsze są odpowiednio niebezpieczne i jako takie nie powinny być pojmowane w kategoriach skażenia.

W rezultacie można uznać, że istotą skażenia jest – niepożądana obecność substancji chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych, które ze względu na swoje szkodliwe właściwości mogą stać się przyczyną utraty zdrowia lub życia ludzi (innych organizmów). W tym miejscu należy też podkreślić, że musi to być niepożądana obecność wspomnianych substancji, czyli taka, która nie jest czymś normalnym, powszechnie występującym w danym miejscu czy obszarze. Aby mówić o skażeniu obecność ta musi zaistnieć w sposób niezamierzony i niespodziewany, co w rezultacie stworzy lub zwiększy zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzi, roślin lub zwierząt.

Rozpatrując problem skażeń chemicznych, na pierwszym miejscu należy ustalić klasyfikację środków trujących zarówno tych bojowych, jak i przemysłowych. Okazuje się jednak, że nie jest to takie proste, gdyż w literaturze istnieje cały szereg różnorodnych klasyfikacji, w zależności od rodzaju przyjętego kryterium. Rozpatrywanie ich wszystkich znacznie wykracza poza ramy artykułu, dlatego ograniczymy się tylko do tych najważniejszych. W pierwszej kolejności, ze względu na

¹ Słownik pojęć przyrodniczych – <http://przyroda.polska.pl/sloownik>.

² Skażenie środowiska – *Encyklopedia biologiczna* tom X, Agencja Publicystyczno-Wydawnicza Opres, Kraków 2000, s. 18.

poważne skutki oddziaływania, omówiona zostanie klasyfikacja bojowych środków trujących, natomiast w dalszych rozważaniach pojawią się kwestie typologii toksycznych środków przemysłowych.

Typologia zagrożeń chemicznych – BST

Bojowe środki trujące to, jak nazwa wskazuje, grupa środków toksycznych, które znalazły zastosowanie na polu walki, głównie do rażenia siły żywej przeciwnika. Wśród nich znajdziemy zarówno te, które mają zdecydowanie śmiertelny charakter, jak i inne o mniej zabójczych cechach. Podstawowy podział środków trujących, z którym mamy do czynienia najczęściej przedstawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że oddziaływanie poszczególnych środków na organizm ludzki może być duszące, parzące, ogólnotrujące, drażniące lub paralityczno-drgawkowe.

Tabela 1

Podział środków trujących ze względu na sposób oddziaływania

Klasa środków trujących	Nazwa środka trującego	Symbol
DUSZĄCE (Choking Agents)	Fosgen	CG
	Dwufosgen	DP
	Chloropikryna	PS
PARALITYCZNO DRGAWKOWE (Nerve Agents)	Tabun	GA
	Sarin	GB
	Soman	GD
	Cyklosarin	GF
	Vx, VX	Vx, VX
OGÓLNOTRUJĄCE (Blood Agents)	Cyjanowodór	AC
	Chlorocyjan	CK
	Arsyna	SA
PARZĄCE (Blister Agents – Vesicants)	Iperyt siarkowy	H/HD
	Iperyt azotowy	HN-1, HN-2, HN-3
	Mieszanka iperytowa T	HT
	Luizyt	L
	Mieszanka iperytowo-luizytowa	HL
	Fenylochloroarsyna	PD
	Etylochloroarsyna	ED
	Metylochloroarsyna	MD
	Fosgenooksym	CX
OBEZWŁADNIAJĄCE (Incapacitating Agents)	Kwas benzenoocowy	BZ
ŁZAWIĄCE (Riot Control Agents)	Dinitryl kwasu o-chlorobenzilideno-malonowego	CS
	Dibenz(b,f)-1,4-oxazepine	CR
	Kapsaicyna (Spray pieprzowy)	OC
DRAŻNIĄCE (Irritants- Vomiting Agents)	Difenylochloroarsyna	DA
	Difenylocyjanoarsyna	DC
	Adamsyt	DM

Źródło: *Potential military chemical/biological agents and compounds*, Fort Monroe, Quantico, Newport, Maxwell, 2005, s. F-1.

Inna, bardziej przydatna klasyfikacja powstanie, gdy za kryterium podziału przyjmiemy ich stan fizyczny, a konkretnie stan skupienia i prężność par. Kwestia stanu skupienia jest na tyle oczywista, że nie potrzebuje komentarza, jednak prężność par i związana nią lotność wymaga krótkiego wyjaśnienia.

Prężność (ciśnienie) pary nasyconej *to ciśnienie jakie wywiera para nasycona danej cieczy nad jej powierzchnią. W stałej temperaturze jest wielkością stałą i nie zależy od stosunku ilości cieczy i pary. Zależy natomiast od rodzaju substancji i jest dla niej wielkością charakterystyczną*³. Z kolei lotność to *stosunek prężności cząstkowej składnika w parze do jego ułamka molowego w cieczy. Lotność charakteryzuje łatwość parowania danej substancji i zależy w znacznym stopniu od temperatury*⁴.

Patrząc na to z punktu widzenia bojowych środków trujących lotność ma bardzo zasadnicze znaczenie, gdyż decyduje o sposobie i zakresie ich wykorzystania. Środki bardzo lotne z powodzeniem można wykorzystać tam, gdzie zamierzamy doprowadzić do skażenia powietrza, natomiast te o małej lotności doskonale się nadają do skażenia terenu. Ale to nie wszystkie cechy, które nas interesują, gdyż jak się okazuje, lotność ma bezpośredni wpływ na trwałość środków trujących, a przez to na ich zdolność do długotrwałego oddziaływania na ludzi i środowisko. Co ciekawe w piśmiennictwie zdania na temat trwałości poszczególnych środków różnią się dość znacznie, dlatego bardzo często możemy mieć do czynienia z sytuacją, w której w jednej publikacji dany środek trujący jest środkiem nietrwałym, a w drugiej jego trwałość jest określana jako duża. Takim sztandarowym przykładem opisanych niezgodności są dwa środki paralityczno-drgawkowe – sarin i soman, które w publikacjach traktowane są zamiennie, w zależności od źródła⁵. Aby uniknąć takich wątpliwości zaproponowano, aby trwałość bojowych środków trujących rozpatrywać w sposób następujący:

- Trwałe środki trujące to takie środki, które po zastosowaniu pozostają zdolne do wywoływania porażeń od 24 godzin do kilku dni, a nawet tygodni.
- Nietrwałe środki trujące to takie środki, które po użyciu rozpadają się lub tracą zdolność wywoływania porażeń już po 10–15 minutach⁶.

Powyższy podział wydaje się dość jednoznaczny, jednak brakuje w nim informacji jak traktować środki o trwałości w przedziale 15 minut–24 godziny. Prawdopodobnie uznano, iż zakres ten i tak nie ma większego znaczenia, gdyż trwałość tego samego środka, w zależności od warunków meteorologicznych, a nawet terenowych może być bardzo różna. To powoduje, że dokładna, a przede wszystkim stała klasyfikacja trwałości środków trujących nie jest możliwa.

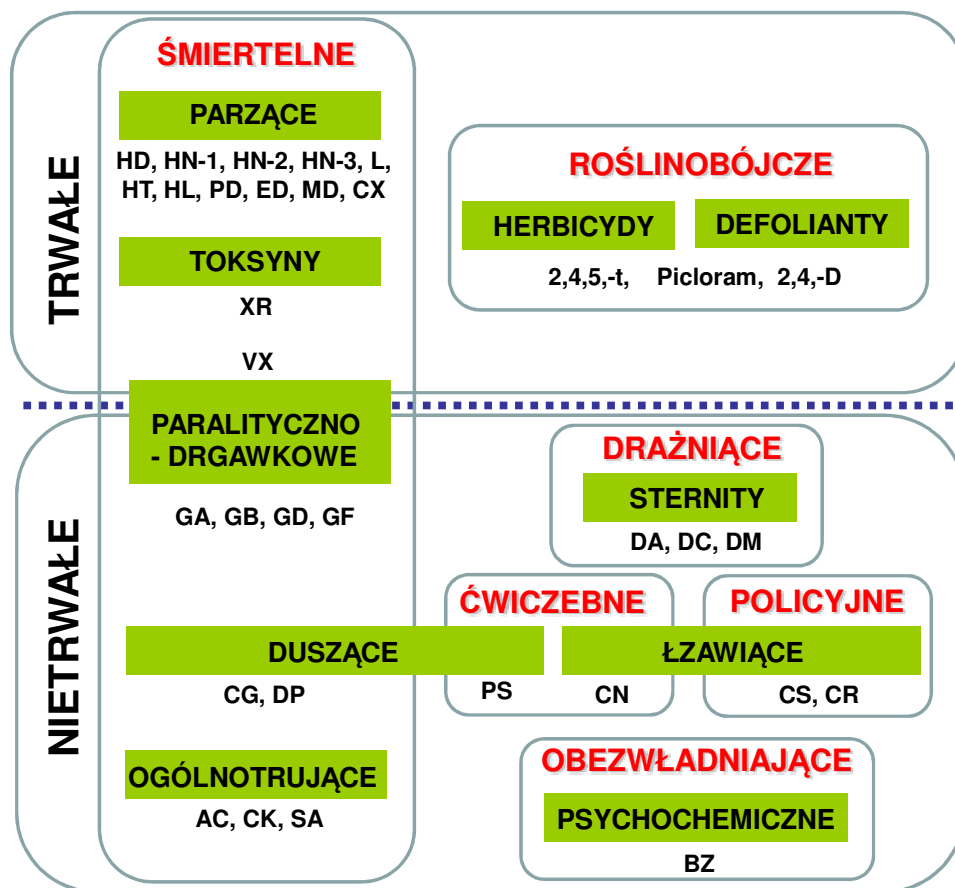
³ *Leksykon naukowo-techniczny z suplementem*, tom II, Wydawnictwa naukowo-techniczne, Warszawa 1989, s. 734.

⁴ Tamże, s. 448.

⁵ Rozbieżności te są szczególnie widoczne, gdy porównamy publikacje rosyjskie z amerykańskimi.

⁶ *Dictionary of Military and Associated Terms*, JP 1-02, Department of Defense, Washington 2005, s. 369, 404.

Zaprezentowane wyżej klasyfikacje uwzględniają podział bojowych środków trujących tylko ze względu na jedno kryterium. Do planowania działań bojowych nie jest to ani wygodne, ani przydatne, dlatego stworzono podział wojskowy, w którym uwzględnione są różne cechy, np. trwałość, przeznaczenie taktyczne⁷ oraz sposób oddziaływania środka trującego. Graficzny obraz takiej klasyfikacji przedstawiono na rysunku 1.



Źródło: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń chemicznych*, AON, Warszawa 2007, s. 22.

Rys. 1. Wojskowy podział bojowych środków trujących

⁷ Por. M. Krauze, I. Nowak, *Broń chemiczna*, MON, Warszawa 1984, s. 63.

Z informacji przedstawionych na rysunku można wysnuć wniosek, że przydatność bojowych środków trujących jest bardzo różna. Analiza raportów dotyczących posiadania broni chemicznej wskazuje jednak, że podstawę użycia bojowych stanowią środki trujące o działaniu śmiertelnym, a w tym środki fosforoorganiczne, parzące i toksyczne. Pozostałe środki mają już zdecydowanie mniejsze zastosowanie⁸.

Typologia zagrożeń chemicznych – TSP

Toksyczne środki przemysłowe (TSP) to termin, który nie ma jednoznacznej, powszechnie akceptowanej definicji. Dodatkowo, bardzo często pojęcie toksyczne środki przemysłowe stawia się na równi takimi pojęciami jak: *skażenia przemysłowe* lub *substancje niebezpieczne*. Konsekwencją tego stanu rzeczy jest bałagan terminologiczny, który w warunkach zagrożenia nie pozwala na jednoznaczną identyfikację problemu.

Aby pokonać tę niedogodność warto omówić poszczególne terminy. Pierwszy z nich – *skażenia przemysłowe* – to termin, który w piśmiennictwie jest rzadko definiowany. Być może wynika to z tego, że jest dość jednoznaczny, a ponadto obejmują pełną gamę skażeń generowanych przez przemysł, sektor komunalno-bytowy i transport. Ze względu na to iż pojęcie to zawiera bardzo szeroką grupę substancji chemicznych, o dowolnym stanie skupienia, zróżnicowanych zdolnościach przechodzenia do atmosfery oraz różnej toksyczności znajdziemy tu substancje niebezpieczne takie jak: chlor, amoniak czy fosgen, ale także wiele substancji prawie zupełnie nieszkodliwych.

Kolejnym terminem, który powinniśmy rozpatrzyć są – *substancje niebezpieczne*. Standardowo możemy przyjąć że są to *substancje lub mieszaniny które ze względu na jedną lub kilka właściwości chemicznych, fizycznych lub toksycznych stanowią potencjalne zagrożenie*⁹. Ogólność powyższej definicji powoduje, że prawie każda substancja może, w pewnych warunkach stworzyć zagrożenie. Aby uściślić rodzaj i poziom zagrożenia wprowadzono dodatkowy podział, który skategoryzowano według rodzaju stwarzanego zagrożenia.

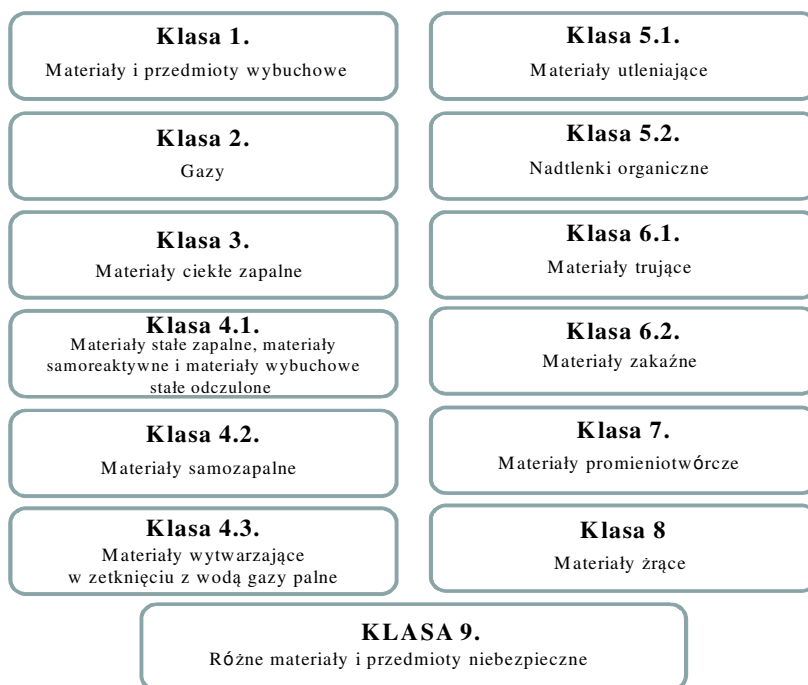
W tym miejscu należy przytoczyć postanowienia dwóch ustaw, tj. o substancjach chemicznych i mieszaninach oraz o przewozie towarów niebezpiecznych¹⁰. W pierwszej, znajdziemy definicje i ogólną klasyfikację substancji niebezpiecznych i mieszanin. Zgodnie z nią substancjami i mieszaninami niebezpiecznymi są materiały zaklasyfikowane jako substancje i mieszaniny: o właściwościach wybu-

⁸ W wielu krajach środków tych nie uważa się za bojowe środki trujące, dlatego mogą być stosowane do innych celów np. w rolnictwie,

⁹ S. Wajda, J. Żurek, *Zapobieganie nadzwyczajnym zagrożeniom środowiska, konwencje międzynarodowe i uchwały organizacji międzynarodowych*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1995, s. 31.

¹⁰ *Ustawa z dnia 25 lutego 2011 r. o substancjach chemicznych i ich mieszaninach* (Dz. U. 2011, nr 227, poz. 1367), *ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych* (Dz. U. 2011, nr 63, poz. 322)

chowych; utleniających; skrajnie łatwopalne; wysoce łatwopalne; łatwopalne; bardzo toksyczne; toksyczne; szkodliwe; żrące; drażniące; uczulające; rakotwórcze; mutagenne; działające szkodliwie na rozrodczość; niebezpieczne dla środowiska. Druga ustawa – o przewozie towarów niebezpiecznych – bazuje na postanowieniach stosownych regulaminów i umów międzynarodowych. Znajdziemy w niej definicję towaru niebezpiecznego, za który uznano – *materiał lub przedmiot, który zgodnie z ADR, RID lub ADN¹¹ nie jest dopuszczony, odpowiednio, do przewozu drogowego, przewozu koleją lub przewozu żeglugą śródlądową albo jest dopuszczony do takiego przewozu na warunkach określonych w tych przepisach¹²*. Stosowną klasyfikację materiałów niebezpiecznych przedstawiono na rysunku 2.



Źródło: Ustawa z dnia 25 lutego 2011 r. o substancjach chemicznych i ich mieszaninach (Dz. U. 2011, nr 227, poz. 1367).

Rys. 2. Podział substancji niebezpiecznych

¹¹ ADR – *Umowę europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzoną w Genewie dnia 30 września 1957 r.* (Dz. U. z 2011 r. Nr 110, poz. 641), RID – *Regulamin dla międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiący załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF), sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r.* (Dz. U. z 2007 r. Nr 100, poz. 674 i 675, z 2009 r. Nr 167, poz. 1318 oraz z 2011 r. Nr 137, poz. 804 i 805), ADN – *Umowę europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu śródlądowymi drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN), zawartą w Genewie w dniu 26 maja 2000 r.* (Dz. U. z 2010 r. Nr 235, poz. 1537),

¹² *Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych*, wyd. cyt., art. 2, pkt 1, ust. 4.

Już pobieżna analiza danych, przedstawionych na rysunku pozwala uznać, iż wiele środków, mimo że niebezpiecznych nie będzie powodować skażeń. Zagrożenie które stwarzają ma bowiem zupełnie inny charakter. Powstaje więc pytanie – które z nich będą stwarzać realne niebezpieczeństwo powstania skażeń? Aby to zrozumieć trzeba jednoznacznie ustalić co tak naprawdę decyduje o skażeniu. Do rozwiązania tego problemu przydatna będzie opracowana w Akademii Obrony Narodowej definicja toksycznych środków przemysłowych. Zgodnie z nią za toksyczne środki przemysłowe (TSP) przyjmuje się: *substancje chemiczne o właściwościach trujących, produkowane i wykorzystywane w gospodarce narodowej w dużych ilościach oraz transportowane w celu użycia lub przetworzenia w innych zakładach, posiadające zdolność łatwego przechodzenia do atmosfery w przypadkach uwolnienia ze zbiorników i instalacji i wywoływania porażeń żołnierzy*¹³.

Łatwo zauważyć, że kwalifikacja danego środka do kategorii TSP wymusza na nim konieczność posiadania konkretnych właściwości, tj.: silną toksyczność, masowe wykorzystanie w gospodarce, zdolność do wywoływania porażeń oraz, co najważniejsze łatwość przechodzenia do atmosfery. Ta ostatnia właściwość mocno ogranicza liczbę materiałów niebezpiecznych, zawężając je tylko do substancji gazowych. Bo to właśnie one, przy założeniu, że są silnie toksyczne, będą stanowić realne zagrożenie po ich uwolnieniu i to na znacznym obszarze.

Toksyczne środki przemysłowe charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi własnościami toksykodynamicznymi, co powoduje, że trudno je klasyfikować według tradycyjnych kryteriów stosowanych wobec bojowych środków trujących. W literaturze można jednak znaleźć taki podział, przy czym stosowanym kryterium jest dominujący syndrom występujący podczas ostrego zatrucia. Przedstawiono go na rysunku 3.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi*, MON, Warszawa 1993, s. 7–8.

Rys. 3. Podział toksycznych środków przemysłowych ze względu na sposób oddziaływania

¹³ I. Nowak, J. Solarz, *Toksyczne środki przemysłowe jako źródło zagrożeń dla wojsk prowadzących działania bojowe na obszarze kraju*, AON, Warszawa 1998, s. 8.

Charakterystyka BST

Zastosowanie bojowych środków trujących, podobnie jak ich typologia, może być bardzo różne. O tym, jak je wykorzystać, decydować będą ich właściwości chemiczne, fizyczne i toksyczne. Charakterystykę podstawowych środków trujących przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Charakterystyka podstawowych środków trujących

Typ środka	Symbol	Trwałość		Szybkość działania	Sposób przeniknięcia	
		Lato	Zima		Pa-ry/aerozol	Ciecz
Nerwogazy	GA, GB, GD	10 min – 24h	2h – 3 dni	b. szybko	oczy, płuca	oczy, usta, skóra
	VX	2 dni – 1 tydz	2 dni-tygodnie	szybko	oczy, płuca	oczy, usta, skóra
Duszące	CG, DP	1 do 10 min	10 min – 1h	natychmiast	płuca	oczy
Parzące	HD, HN	3 dni – 1 tydz	tygodnie	powoli	oczy, skóra, płuca	oczy, skóra
	L, HL	1 – 3 dni	tygodnie	szybko	oczy, skóra, płuca	oczy, skóra, usta
Ogólnotrujące	AC, CK	1 – 10 min	10 min – 1h	b. szybko	oczy, płuca	oczy, usta, skaleczona skóra

UWAGA: Skróty oznaczają – GA – tabun, GB – sarin, GD – soman, CG – fosgen, DP – dwufosgen, HD – iperyt siarkowy, HN – iperyt azotowy, L – luizyt, HL – mieszanka iperytowo-luizytowa, AC – cyjanowodór, CK – chlorocyjan

Źródło: *Health service support in a nuclear, biological, and chemical environment*, Department of the Army, Washington 1993, s. 2–13.

Środki paralityczno-drgawkowe, zwane nerwogazami, to fosforoorganiczne środki trujące, pochodne kwasów alkilofosfonowego i fosforowego. Standardowo przyjęto umowny podział na dwie grupy – G oraz V. Pierwsza z nich obejmuje środki, które w swej podstawowej postaci są stosunkowo lotne, natomiast w drugiej spotkamy środki o znacznie większej trwałości. W zastosowaniach wojskowych trwałość środków trujących ma zasadnicze znaczenie, dlatego w celu zwiększenia trwałości środków grupy G stosuje się różnego rodzaju zagęszczacze.

Do najważniejszych przedstawicieli środków paralityczno drgawkowych należą: pochodne kwasu fosforowego – DFP, tabun; pochodne kwasu fosfonowego – sarin, soman i związki V. Ponadto zalicza się do tej grupy także wiele środków owadobójczych i roślinobójczych, które są powszechnie stosowane w gospodarce cywilnej. Są to np.: amiton, armina, dimefoks, paraoksan, paratin, systoksy. Wszystkie wymienione substancje są toksyczne, chociaż w znacznie mniejszym stopniu niż te, które znalazły zastosowanie militarne. Wśród tych ostatnich istotne

znaczenie mają dzisiaj jedynie sarin, soman, Vx oraz ich odmiany takie jak cyklo-sarin (GF) czy zagęszczony soman (TGD).

Parzące środki trujące (nekrozujące) należą do najbardziej znanych, a jednocześnie najdłużej stosowanych bojowych środków trujących. Ich „sztandarowy” przedstawiciel – iperyt siarkowy (HD) pojawił się na polu walki 12 lipca 1917 roku pod Ypres. W dalszej kolejności powstawały: luizyt (L) oraz iperyty azotowe (HN-1, HN-2, HN-3). Oprócz nich stosowano również inne środki o działaniu parzącym takie jak choćby fenylochloroarsyna (PD) czy metylodichloroarsyna (MD).

Oprócz niewątpliwie dobrych właściwości toksycznych iperyt (zarówno siarkowy jak i HN-3) ma zasadniczą wadę, a mianowicie wysoką temperaturę krzepnięcia. Poniżej tej temperatury jest on ciałem stałym, tracąc przez to wiele ze swoich przydatnych cech. Z tego też względu zachodzi konieczność stosowania iperytu w postaci produktu technicznego, który zawierając różnorodne domieszki ma znacznie obniżoną temperaturę krzepnięcia. Stosuje się także specjalnie przygotowane mieszanki np.: iperytu z luizytem, w których temperatura krzepnięcia może wynosić nawet minus 42°C.

Luizyt z kolei jest podstawowym środkiem trującym z grupy związków zawierających arsen. Aktualnie jego militarne znaczenie jest niewielkie, głównie dlatego, iż przy dużej wilgotności hydrolyzuje tak szybko, że trudno jest uzyskać odpowiednie stężenie, niezbędne do wywołania poparzeń.

Duszące środki trujące to środki, które obok iperytu i chloru były najczęściej stosowane podczas pierwszej wojny światowej. Podobnie jak środki parzące i paralityczno-drgawkowe należą do grupy środków śmiertelnych. Główni przedstawiciele tej kategorii to: fosgen (CG), difosgen (DP) oraz chloropikryna (PS)¹⁴. Ze względu na stan skupienia – gaz (fosgen) oraz lotne ciecze (difosgen, chloropikryna) są środkami nietrwałymi i działają poprzez układ oddechowy – nos, gardło i płuca.

Stosunkowo niewielka toksyczność fosgenu, difosgenu i chloropikryny, w porównaniu z toksycznością środków paralityczno-drgawkowych, powoduje, że ich użyteczność na współczesnym polu walki jest bardzo mała. Dodatkowo dyskwalifikuje je zbyt wielka lotność, która uniemożliwia wytworzenie stężeń na tyle niebezpiecznych, że mogłyby doprowadzić do masowych porażeń. Obecnie panuje pogląd, że środki tego typu należy rozważać tylko w kategoriach toksycznych środków przemysłowych, które mogą stwarzać lokalne zagrożenia dla wojsk i ludności cywilnej.

Środki ogólnotrujące znane też jako związki cyjanowe (cyanides) środki krwi (blood agents) były powszechnie i na masową skalę stosowane podczas I wojny światowej¹⁵. Ich zaletą była duża dostępność oraz szybkie działanie, zaś wadą –

¹⁴ Chloropikryna nie żadnego znaczenia bojowego ale z powodzeniem stosowana jest do sprawdzania szczelności masek przeciwgazowych.

¹⁵ W czasie II wojny światowej Niemcy masowo stosowali cyjanowodor (w postaci cyklonu B – siarczan wapniowy nasączony 40% HCN) do eksterminacji ludzi w komorach gazowych.

zbyt duża lotność, która skutecznie je deprecjonowała¹⁶. Podane nazwy nie odzwierciedlają dokładnie ich właściwości, gdyż niektóre z nich nie mają grupy cyjanowej, a inne nie są truciznami krwi. Z tego powodu w Polsce nadano im nazwę – środki ogólnotrujące. Wśród nich wymienić należy przede wszystkim chlorocyjan (CK) i cyjanowódór (AC), a ponadto bromocyjan, trójwodorek arsenu (SA) oraz tlenek węgla. Z wymienionych środków właściwie tylko chlorocyjan i cyjanowódór mają znaczenie wojskowe, choć już w znacznie ograniczonym zakresie.

Cyjanowódór (kwas pruski) jest bezbarwną, ruchliwą cieczą o zapachu gorzkich migdałów. Niska temperatura wrzenia gwarantuje dużą szybkość parowania, a tym samym niewielką trwałość w terenie. Zazwyczaj w otwartym terenie wynosi ona 5 minut, a w zalesionym 10; zimą zaś nie przekracza godziny. Z tego względu ciekły cyjanowódór nie jest przewidziany do szerokiego użycia na polu walki. Mimo to, łatwość uzyskania wysokich stężeń bojowych stanowi poważne zagrożenie dla człowieka. Potwierdza to wykorzystywanie tego środka do wykonywania kary śmierci. Pary kwasu absorbują się dobrze na włóknach i materiałach porowatych, co stwarza groźbę zatrucia w pomieszczeniach zamkniętych na skutek desorpcji. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych.

Chlorocyjan jest bezbarwną, ruchliwą i bardzo lotną cieczą o ostrym zapachu. Czasami zapach może być niewyczuwalny ze względu na silne działanie drażniące na oczy, nos i układ oddechowy. Jego lotność jest kilkakrotnie większa od cyjanowodoru, co obniża jego trwałość, pozwalając jednak na łatwe uzyskiwanie bardzo wysokich stężeń. W odróżnieniu od cyjanowodoru, chlorocyjan ma bardzo silne właściwości drażniące i duszące. Dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych, iperycie oraz chloropikrynie.

Obecnie środki te nie są postrzegane jako potencjalna broń chemiczna. Jednak ze względu na masowe ich występowanie w sektorze przemysłowym wielu państw mogą stanowić poważne zagrożenie jako istotna część toksycznych środków przemysłowych.

Charakterystyka TSP

Indywidualna charakterystyka wszystkich substancji niebezpiecznych znacznie wykracza poza ramy artykułu dlatego wystarczy nadmienić, że Centralny Instytut Ochrony Pracy (CIOP) od wielu lat zajmuje się indeksowaniem tych substancji i opracowaniem tzw. kart charakterystyk substancji niebezpiecznych, wykonanych zgodnie z *rozporządzeniem (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Ra-*

¹⁶ Dlatego próbowano stosować różne mieszanki, które były przez to bardziej efektywne. Przykładem może być francuski środek *Vincennite*, składający się z: 50% HCN, 30% AsCl₃, 15% SnCl₄ oraz 5% CCl₃H (chloroformu).

dy¹⁷. Karty te zawierają dane o właściwościach substancji (chemicznych, fizycznych i toksycznych) oraz zasadach postępowania z nimi w czasie produkcji, transportu i neutralizacji. Aktualnie w bazie CIOP znajduje się 645 kart charakterystyki.

Charakterystykę substancjach niebezpiecznych znajdziemy także w opracowaniu Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska pt. *Zasady postępowania ratowniczego*¹⁸, które jest implementacją amerykańskiego opracowania *Emergency Response Guidebook* (ERG).

Jak już wspomniano, wszystkie toksyczne środki przemysłowe w warunkach normalnych są gazami i z tego powodu stwarzają bezpośrednie zagrożenie dla wojsk i ludności (z wyjątkiem cyjanowodoru). Po uwolnieniu mogą rozprzestrzenić się wraz z powietrzem na dużą odległość, przy zachowaniu stężeń śmiertelnych dla ludzi i zwierząt. Pozostałe substancje niebezpieczne stwarzające pośrednie zagrożenie dla wojsk są zazwyczaj cieczami lub ciałami stałymi. Mimo to, po wydostaniu się z pojemników, mogą skażić teren oraz zbiorniki wodne i rzeki, powodując trudno odwracalne skutki biologiczne, zarówno dla środowiska, jak i ludności.

Ciekawy może być fakt, że toksyczne środki przemysłowe mają na ogół charakterystyczny zapach i konkretną barwę, co można wykorzystać do wzrokowej i węchowej ich identyfikacji. Zróżnicowane są temperatury wrzenia i krzepnięcia, co z kolei ma wpływ na trwałość danych środków w środowisku. Podobnie zróżnicowane są gęstości par poszczególnych TSP w stosunku do powietrza. Jeżeli gęstość jest mniejsza od gęstości powietrza oznacza to, że TSP będzie unosił się w górne warstwy powietrza; jeżeli jest większa TSP będzie utrzymywać się przy powierzchni ziemi, przenikając do piwnic i wszelkiego rodzaju zagłębień. Znając rodzaj środka trującego i gęstość jego par w stosunku do powietrza, można przewidzieć, jak zachowa się w środowisku i wykorzystać tę właściwość do ochrony ludności.

Rozpatrując problem skażeń chemicznych, trzeba pamiętać, że nie każda obecność substancji szkodliwych jest od razu skażeniem. Aby tak było ilość toksycznej substancji musi być na tyle duża, aby mogła stanowić zagrożenie. Bowiem o tym, czy takie zagrożenie jest, czy też nie, decyduje, stężenie danego środka. Podstawą do ustalenia czy dana substancja chemiczna będzie stanowić zagrożenie jest *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*¹⁹. W rozporządzeniu ustalono wielkość stężeń dopuszczalnych dla wszystkich substancji niebezpiecznych. Zgodnie z tym określono

¹⁷ *Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów*, artykuł 31.

¹⁸ *Zasady postępowania ratowniczego 2008*, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2008.

¹⁹ *Zob. Dz. U. 2002 nr 217, poz. 1833.*

najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS), najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) oraz najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDSP)²⁰. Ich wartości określone dla najczęściej spotykanych TSP przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Dopuszczalne stężenia toksycznych środków przemysłowych (mg/m³)

Nazwa TSP	Próg wyczuwalności	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie (NDS)	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie Chwilowe (NDSCh)	Stężenie śmiertelne
Amoniak	0,5	14	28	1700
Chlor	0,06	1,5	9	200
Cyjanowodór	0,2	0,3	–	300
Disiarczek węgla	–	18	30	11000
Ditlenek siarki	0,8	2	5	1000–1700
Fluorowodór	–	0,5	2	450
Fosgen	2	0,08	0,16	100
Siarkowodór	0,0007	10	20	750
Tlenek etylenu	1,5	1	3	111000
Tlenki azotu	0,38	5	10	760 – 2660

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002, wyd. cyt.

Z przedstawionych danych wynika, że skala oddziaływania toksycznego poszczególnych środków nie jest jednakowa. Co więcej, jak się okazuje, jej wartość nie zależy tylko od toksyczności środka ale także od odporności danego organizmu, traktowanego jako suma takich cech jak: płeć i wiek człowieka, jego wrażliwość gatunkowa, rasowa i osobnicza, fizjologiczny stan organizmu, oraz aktualne i przebyte choroby.

Analizując problem zagrożeń stwarzanych przez toksyczne środki przemysłowe, warto zwrócić uwagę na jeszcze inny aspekt, a mianowicie na ich powszechność występowania na obszarze kraju. Jest przy tym oczywiste, że im jest ich więcej, tym większe stwarzają zagrożenie. Gdybyśmy jednak zawierzyli tylko liczbom, to okazałoby się, że cały kraj jest wręcz naszpikowany obiektami, w których toksyczne środki przemysłowe są produkowane, przechowywane lub przetwarzane. W rzeczywistości rzeczywiste zagrożenie stwarzają tylko zakłady, które

²⁰ NDS – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego, dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w Kodeksie Pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

NDSCh – to wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina.

NDSP – to wartość stężenia, które ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie.

zaliczono do zakładów o zwiększonym ryzyku lub dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej²¹. Według danych Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej jest ich około 200/160²². Ponadto podstawowe zagrożenie stanowią tylko dwa toksyczne środki przemysłowe, a konkretnie amoniak i chlor. Dane statystyczne także potwierdzają tę zależność, zgodnie z którą ponad 75% wszystkich zakładów przemysłowych stanowią zakłady z amoniakiem (choć większość z nich zawiera niewielkie ilości środka), a około 16% z chlorem. Pozostałe zakłady z TSP występują już znacznie rzadziej przez co zagrożenie, które stwarzają jest znikome.

Konkluzje

Współczesne zagrożenie skażeniami, traktowane jako źródło poważnych sytuacji kryzysowych, może mieć różnoraki charakter, który w dużej mierze wynika z samej istoty skażeń. Istota ta, jak ustalono, przejawiać się będzie w niepożądanym obecności substancji chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych, które ze względu na swoje szkodliwe właściwości mogą stać się przyczyną utraty zdrowia lub życia ludzi (innych organizmów).

W przypadku skażeń chemicznych stwierdzono znaczną różnorodność możliwych źródeł skażenia (środków trujących), które w zależności od przeznaczenia mogą być śmiertelnie niebezpieczne lub tylko szkodliwe. Pierwsze z nich to oczywiście bojowe środki trujące, które niejako „z urzędu” przeznaczone są do wywołania masowych porażeń na polu walki. W tym miejscu można jednak zaprotestować, zwracając uwagę na fakt, że produkcja i użycie broni chemicznej jest prawnie zabronione przez konwencję z dnia 13 stycznia 1993 r. o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użyciu broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów²³. Okazuje się jednak, że wciąż zdarzają się przypadki użycia broni chemicznej, a samo jej przechowywanie dodatkowo stwarza realne niebezpieczeństwo powstania skażeń (zamierzonych lub przypadkowych).

Drugim rodzajem zagrożenia są skażenia generowane przez toksyczne środki przemysłowe. W porównaniu do bojowych środków trujących, zagrożenie to ma zupełnie inny charakter, przejawiający się znacznie mniejszą szkodliwością poszczególnych substancji, oraz ogromną ich ilością, powszechnością występowania

²¹ Za poważną awarię w rozumieniu art. 3 pkt 23 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo Ochrony Środowiska* (tj. Dz. U. z 2008 r., Nr 25, poz. 150 ze zm.) uważamy zdarzenie, w szczególności emisja, pożar lub eksplozja, powstałe w trakcie procesu przemysłowego, magazynowania lub transportu, w których występuje jedna lub więcej niebezpiecznych substancji, prowadzące do natychmiastowego powstania zagrożenia życia lub zdrowia ludzi lub środowiska lub powstanie takiego zagrożenia z opóźnieniem. Przez poważną awarię przemysłową rozumie się zgodnie z art. 3 pkt 24 ww. poważną awarię w zakładzie.

²² Według stanu na 5.04.2014 r.

²³ Zob. Dz. U. z 1999 r., nr 63, poz. 703.

oraz różnorodnością. Tym samym, w zdecydowanej większości przypadków, skażenia powstałe od toksycznych środków przemysłowych rzadko będą przyczyną sytuacji kryzysowych, gdyż są nietrwałe i mają ograniczony zasięg.

W rezultacie można uznać, że zagrożenie skażeniami powodowane przez toksyczne środki przemysłowe nie będzie duże, głównie ze względu na ograniczenia wynikające z niewielkiej toksyczności lub całkowitego jej braku większości z nich. Trzeba także dodać, że skażenia powstające po uwolnieniu toksycznych środków przemysłowych są nietrwałe i jako takie nie będą powodować zagrożenia przez długi czas. Nie oznacza to jednak, że można je lekceważyć, gdyż w pewnych warunkach mogą być przyczyną prawdziwej tragedii²⁴.

Bibliografia

- Marrs T.C., Maynard R.L., Sidell F.R., *Chemical warfare agents, toxicology and treatment*, John Wiley & Sons, Chichester, New York, 1996.
- Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi*, MON, Warszawa 1993.
- Nowak I., Solarz J., *Wpływ skażeń toksycznymi środkami przemysłowymi na działania bojowe wojsk na obszarze RP*, AON, Warszawa 1997.
- Solarz J. *Prognozowanie skażeń chemicznych*, AON, Warszawa 2007.
- Zieliński S., *Skażenia chemiczne środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.

²⁴ W 1984 roku w Bhopalu (Indie) doszło do uwolnienia izocyjanianu metylu, co spowodowało śmierć kilku tysięcy ludzi, a kilkanaście tysięcy straciło wzrok.