



Broń chemiczna w XX i XXI wieku Część 1. Bojowe środki trujące do czasów odkrycia środków fosforoorganicznych

MARCIN KLOSKE¹, ZYGFRYD WITKIEWICZ

¹ Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych,
ul. Żwirki i Wigury 103/105, 00-912 Warszawa, mkloske@gmail.com
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Instytut Chemii,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, zygfryd.witkiewicz@wat.edu.pl

Streszczenie. Publikacja zawiera syntezę wiedzy o broni chemicznej i jej stosowaniu podczas I wojny światowej oraz w okresie po tej wojnie, do czasu odkrycia substancji o działaniu paralityczno-drgawkowym. Opisane są bojowe środki chemiczne (BST), które w tym okresie były odkryte, produkowane i użyte na polu walki. Są one określane jako BST pierwszej i drugiej generacji.

Słowa kluczowe: broń chemiczna, bojowe środki trujące, I wojna światowa, okres międzywojenny
DOI: 10.5604/01.3001.0013.5557

Wstęp

Broń chemiczna (BCh), wraz z bronią biologiczną i atomową stanowią broń masowego rażenia, za pomocą której można zniszczyć życie na Ziemi. Spośród tych rodzajów broni w największym stopniu była używana broń chemiczna. Jej stosowanie jest od 1997 r. zakazane przez Konwencję o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów. Na ten zakaz zgodziły się 193 państwa, które są stronami Konwencji sporządzonej w Paryżu 13 stycznia 1993 r. Są jednak państwa i organizacje terrorystyczne, które postanowień tej Konwencji nie przestrzegają. Niestety, można to powiedzieć także o co najmniej jednym państwie, które jest stroną Konwencji. Konwencja, teoretycznie znacznie lepsza od wcześniejszych umów międzynarodowych zakazujących użycia

BCh, jest także niedoskonała. Uświadomiły to społeczności międzynarodowej wydarzenia w Salisbury, gdzie do otrucia Sergieja Skripala i jego córki użyto bardzo toksycznego środka fosforoorganicznego, który z niejasnych przyczyn nie został wymieniony w żadnym z porozumień rozbrojeniowych.

Uwzględniając to, co dotychczas napisaliśmy, należy wciąż brać pod uwagę możliwość ponownego użycia BCh. Dlatego trzeba się przygotować na ewentualną konieczność obrony przed nią i trzeba ją znać. Realizując tę potrzebę, postanowiliśmy zebrać wiadomości dotyczące właściwości bojowych środków trujących (BST) oraz sposobów obrony przed nimi. W tej części opisujemy rodzaje BST i ich użycie podczas I wojny światowej i w okresie międzywojennym. Znane i stosowane w tym czasie BST zalicza się do ich pierwszej i drugiej generacji.

1. Historia i ogólne właściwości broni chemicznej

Ludzkość w niczym nie wykazała większej inwencji niż w badaniu i doskonaleniu form wojny [1-4] i narzędzi do zabijania [5, 6]. Szczytowym osiągnięciem w tej dziedzinie stała się broń masowego rażenia [7, 8]. Prawdopodobnie nikt nie potrafi w miarę dokładnie określić, kiedy nasi przaprzodkowie zaczęli się orientować w korzyściach płynących z użycia broni, którą stworzyła natura. Obserwując przyrodę, zauważali, że mała ranka spowodowana ukąszeniem węża czy ukłuciem skorpiona jest równie skuteczna jak roztrzaskanie czaszki maczugą czy przebicie klatki piersiowej włócznią. Natura sama podsuwała ludziom rozmaite sposoby unicestwiania wrogów [9]. Wydobywające się ze szczelin skalnych wulkaniczne opary siarki i innych gazów powodowały odurzenie, duszności, poparzenia dróg oddechowych i w rezultacie śmierć. Tak więc początki broni chemicznej są najprawdopodobniej rezultatem uważnej obserwacji natury.

W 400 r. p.n.e. podczas wojny peloponeskiej wojska spartańskie użyły gryzących oparów siarki i ditlenku siarki przeciw wojownikom ateńskim. W 256 r. żołnierze perskiego króla Szapura, który oblegał rzymską twierdzę Dura Europos nad Eufratem, wpuścili do wykopanych tuneli toksyczne dymy powstałe ze spalania bitumenu (asfaltu) i siarki. Przerażeni Rzymianie poddali zamek [10].

We wczesnym średniowieczu podczas wojen stosowany był ogień bizantyjski, zwany też greckim, rzymskim lub morskim. Jego skład do dzisiaj stanowi zagadkę dla historyków wojskowości [11]. Istniały plany użycia mieszanek zapalających w czasie amerykańskiej wojny o niepodległość [12].

Pod koniec XIX wieku narodziła się nowoczesna chemia [13, 14]. Starożytne i średniowieczne pracownie alchemików zastąpiły laboratoria, w których na zlecenia armii powstawały nowe związki chemiczne, mające okryć się ponurą sławą na polach bitewnych I wojny światowej. Po nich nastąpiły kolejne odkrycia

w dziedzinie chemii bojowych środków trujących, z których najważniejsze zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Etapy rozwoju bojowych środków trujących

Rok	Grupy BST		Przykłady	Względna	
				toksyczność	dawka
1914	Duszące, ogólnotrujące i drażniące		Chlor, fosgen, cyjanowódor, chloroacetofenon	niska ↓ wysoka	wysoka ↓ niska
1917	Parzące — nekrozujaące		Iperyty, luizyty, iperyt azotowy		
1936	Paralityczno-drgawkowe	G grupa	Tabun, soman, sarin		
~1950		V grupa	VX, Vx, CVx, VR		
~1970		A grupa	Noviczoki		

2. Pierwsza wojna światowa

W latach 1914-1918 w wyniku zastosowania gazów bojowych po obu stronach frontu śmierć poniosło 85 tys. żołnierzy, a przeszło 1,2 mln zostało trwale oślepionych, poparzonych i okaleczonych psychicznie [4, 15, 16].

W czasie I wojny światowej jako pierwsi substancji chemicznych użyli Francuzi. W sierpniu 1914 roku obrzucili wroga pojemnikami z gazem łzawiącym. Efekty tego były mizerne i alianccy generałowie uznali tę próbę za śmieszna. Nieskuteczne było też użycie przez Niemców substancji wywołujących łzawienie — głównie bromku ksyliku [17]. Tak jak 31 stycznia 1915 r., gdy Niemcy wystrzelili na pozycje rosyjskie 18 tys. pocisków artyleryjskich zawierających 72 ton łzawiącego środka chemicznego — bromku ksyliku. Temperatura w tym dniu spadła do -20°C i stężenie par tej substancji było tak niskie, że Rosjanie nie zauważyli jej obecności w powietrzu.

Prawdziwa wojna chemiczna zaczęła się w małym belgijskim miasteczku Ypres. W pierwszych miesiącach wojny miejscowość ta dwa razy patrzyła śmierci w oczy, gdy Niemcy i alianci toczyli o jej zdobycie ciężkie boje. Strategiczne położenie okolic Ypres, jako bramy do portów nad kanałem La Manche, sprawiało, że było bezustannie atakowane. W czwartek 22 kwietnia 1915 r. Niemcy podjęli kolejny atak. Ogień ciężkich moździerzy skierowali na Ypres i okalające miasto wioski. W jego trakcie żołnierze francuskich wojsk terytorialnych i kolonialnych, rozmieszczonych na wysuniętym skrzydle północnym, usłyszeli dochodzący od strony linii niemieckiej dźwięk, który określili jako głośny syk. Jednocześnie pojawiła się tajemnicza chmura, która gęstniała w oczach i wkrótce rozprzestrzeniła się na szerokość co najmniej

kilku kilometrów i na wysokość kilkuset metrów. Chmura ta, przemieszczająca się w kierunku pozycji wojsk alianckich, zawierała opary chloru.

W celu pierwszego na świecie udanego wojennego zastosowania gazów trujących Niemcy rozmieścili wzdłuż czteromilowego odcinka frontu 5730 cylindrycznych pojemników, zawierających 160 ton chloru [4]. Chlor jest toksycznym pierwiastkiem chemicznym. Atakuje on układ oddechowy, powodując gromadzenie się płynu w oskrzelach, wystąpienie piany na ustach i zablokowanie pracy płuc. Można to określić jako utopienie się we własnej wydzielinie.

Gdy chmura chloru przeszła przez pozycje alianckie, piechota niemiecka w wilgotnych maskach z chroniącej nos i usta gazy ruszyła do ataku, strzelając na oślep. Żołnierze niemieccy byli zaszokowani przerażającymi scenami, jakie przyszło im oglądać. Pole bitwy zasłane było ciałami zmarłych lub umierających w okrutnej agonii, walczących o oddech. Ci, którzy jeszcze żyli, broczyli żółtą wydzieliną z płuc. Ich karabiny, metalowe guziki mundurów i zegarki przybrały barwę zieloną.

Minęło wiele godzin, zanim alianccy dowódcy byli w stanie oszacować rozmiary klęski, która ich spotkała. Osiągniętego efektu nie przewidywali dowódcy niemieccy, autorzy eksperymentalnego bojowego zastosowania gazu. Był to atak próbny i nikt nie zadbał o szybko dostępne rezerwy, które poszłyby za ciosem. Ale i bez realnej oceny sukcesu jedno było pewne — gaz umożliwił Niemcom wniknięcie w głąb linii alianckich na ok. 7 km. Oficjalnie straty żołnierzy alianckich określono na ok. 15 tysięcy, w tym ok. 5000 zabitych. W rzeczywistości liczby zatrutych były dużo wyższe. Ośmieleni sukcesem Niemcy natychmiast przystąpili do planowania kolejnego ataku. W ciągu 36 godzin byli gotowi do uderzenia na pozycje alianckie, które trzymały dywizje kanadyjskie.

Ataki chlorem Niemcy przeprowadzali także na froncie wschodnim, np. 31 maja 1915 r. i w czerwcu tego samego roku. W pierwszym z tych ataków zatruciu uległo ok. 9 tys. żołnierzy, z czego co najmniej tysiąc śmiertelnie, a w drugim, na skutek zmiany kierunku wiatru, oprócz Rosjan straty ponieśli także Niemcy [17].

Na teren ataku chlorem pod Ypres 27 kwietnia 1915 r. przybyła grupa alianckich naukowców. W jej składzie znajdował się szkocki fizjolog, profesor John Scott Haldane, który miał odegrać główną rolę w przeprowadzeniu alianckiej odpowiedzi na niemiecki atak gazowy. W tym czasie chemicy, podobnie jak kadra wojskowa, nie mieli pomysłu na rozwiązanie obrony przed trującym gazem. W razie pojawienia się gazu żołnierze mogli jedynie zasłaniać twarze mokrymi szmatami. Dodatkowo pouczono ich, że w okopach powinni zwilżyć własnym moczem skarpety, chusteczki do nosa, czy jakiś inny kawałek materiału, np. wyrwany strzęp z munduru, i obwiązać nim twarz [4, 18].

Wszystko zaczęło się dwa lata wcześniej, kiedy „ojcowie” nowoczesnej wojny chemicznej — profesor Fritz Haber z Instytutu Cesarza Wilhelma i profesor Walther Nernst z Uniwersytetu Berlińskiego — przeprowadzili badania nad użyciem gazu na polu walki. Z początku najwyższe dowództwo niemieckie nie wykazywało

w tej sprawie szczególnego entuzjazmu. Jednak Haber, czterdziestoletni wówczas chemik, późniejszy laureat nagrody Nobla, i inni niemieccy naukowcy twardo trwali w zamiarze stworzenia broni chemicznej. Nawet spowodowana wybuchem w laboratorium śmierć ich współpracownika — profesora Sachura — nie odebrała im zapału. Haber sprawił, że pomysł użycia chemikaliów na polach bitew został zrealizowany [18].

Niemcy poważyli się na coś niesłychanego i wywołali tym panikę oraz głosy oburzenia wśród narodów sprzymierzonych. Nawet żona profesora Habera błagała go o zaniechanie badań. Haber odmówił i przystąpił do doświadczeń z nowym środkiem trującym — fosgenem. Gaz ten zastosowano na froncie wschodnim latem 1915 roku. W nocy po wyjeździe męża na frontową inspekcję skutków użycia fosgenu pani Haber popełniła samobójstwo [19, 20].

Alianci starali się dogonić Niemców w dziedzinie nowej broni i jednocześnie wprowadzić w życie jakieś środki ochronne. Zajęło im to blisko rok, a rezultatem było wyprodukowanie czegoś w rodzaju bardzo jeszcze niedoskonałych hełmów ochronnych i aparatów do oddychania — większość z tych wynalazków była mało skuteczna. Niemcy także szukali sposobów ochrony przed substancjami chemicznymi, ponieważ ich żołnierze ginęli od własnych ataków gazowych. Jednym ze środków ochrony były kaptury respiracyjne.

Wśród aliantów najbardziej zaawansowani w pościgu za sukcesami Niemców w stosowaniu gazów bojowych byli Brytyjczycy. Biuro Wojny wezwało do współpracy ekspertów z przemysłów zbrojeniowego i chemicznego. Utworzono naukowy komitet doradczy, który otrzymał zadanie opracowania produkcji odpowiedniego gazu. Szło to opornie, głównie z uwagi na brak mocy produkcyjnych i odpowiedniego miejsca do testowania, nie wspominając o niedostatkach wiedzy. W tej sytuacji Biuro Wojny rozpoczęło budowę „stacji eksperymentalnej” do spraw najwyższej wagi państwowej. Stacja była ośrodkiem badawczym w Porton Down, na obrzeżu równiny Salisbury. Ośrodek ten istnieje do dzisiaj [4, 18, 21].

Pierwszym brytyjskim atakiem chemicznym kierowało naczelne dowództwo. Do wykonania ataku zgromadzono siły liczące 1400 żołnierzy w kompaniach specjalnych. W połowie sierpnia 1915 r. umieszczono wzdłuż frontu 5500 butli zawierających 130 ton chloru. Po opóźnieniach z różnych przyczyn, przede wszystkim z powodu nieufnie przyjmowanych prognoz pogody, w końcu, o godzinie piątej 25 września 1915 roku, padł rozkaz ataku chemicznego. Ale nie wszystko poszło zgodnie z planem. Na jednym z odcinków stwierdzono, że dostarczone klucze do zaworów są niewymiarowe, w związku z czym obsługa butli nie była w stanie uwolnić gazu. W innym miejscu dowodzący oficer odmówił wydania rozkazu otwarcia butli z powodu zmiany kierunku wiatru. Pospiesznie zmuszono go do posłuszeństwa, rozkaz został wydany i po chwili chlor uderzył w twarze brytyjskich żołnierzy.

Niemcy zorientowali się, że alianci zaczynają atak gazowy, otworzyli ogień wycelowany w stanowiska pojemników z gazem, podziurawili je i toksyczne opary

rozpłynęły się po okopach brytyjskich. Kilku ludzi z kompanii specjalnych zmarło na miejscu na skutek kontaktu z chemikaliami. Niezależnie od tych niepowodzeń, cała masa brytyjskich zapasów chloru została uwolniona i ludzie mieli okazję przyglądać się, jak sycząca, gnana wiatrem chmura toczy się nieubłaganie w kierunku linii niemieckich.

Niemcy jednak ciągle wyprzedzali Brytyjczyków w wojnie chemicznej. Profesor Haber udoskonalił nowy i skuteczniejszy w zadawaniu śmierci fosgen i prowadził doświadczenia z pociskami, które miały wkrótce zastąpić butle, dzięki czemu gaz mógł być wystrzelony bezpośrednio na linię nieprzyjaciela. Fosgen był gazem o wiele trudniejszym do wykrycia. Żołnierze nie padali od razu, a skutki zatrucia mogły wystąpić po upływie doby, a nawet po dłuższym czasie. Dla innych mogło to oznaczać długie i okrutne konanie, wiele godzin wymiotowania żółtej cieczy. Kiedy fosgen użyto po raz pierwszy, jego skutki odczuło ponad tysiąc ludzi, z których 116 zmarło w ciągu 48 godzin. Ci, którzy przeżyli, cierpieli na dolegliwości i choroby przez resztę życia.

Brytyjczycy przeprowadzili pierwszy atak fosgenem w bitwie nad Sommą [4, 18]. Niemcy badali celność pocisków gazowych, gdy w Porton Down ciągle nie uporano się z gazem uwalnianym z cylindrów. Zajęło to dużo czasu, chociaż jeden z dowódców kompanii specjalnej, kapitan Livens, wynalazł urządzenie miotające pociskami z gazem. Przetestowano je w Porton Down w pierwszych miesiącach 1917 roku. W meldunku na temat skuteczności swojego miotacza pojemników z gazem Livens dowiódł prostoty tego urządzenia i łatwości wprowadzenia go do seryjnej produkcji, a wtedy „koszt zabicia jednego Niemca spadłby do szesnastu szylingów” [18]. Miotacz Livensa i małe pojemniczki, które miał wystrzeliwać, błyskawicznie weszły do produkcji [22-24]. Niemcom dały się we znaki już w kwietniu 1917 roku w bitwie o Arran. Oprócz strachu, jaki eksplodujące pojemniki wywołały w okopach niemieckich, jednym z nieprzewidzianych skutków ubocznych było to, że chmura gazowa zabiła i pozbawiła sił setki koni i mułów ciągnących tabory. Toteż Niemcom wkrótce zabrakło amunicji. Trzeba powiedzieć, że chociaż obie strony rozdzielone pasem ziemi niczyjej ze straszliwymi skutkami obrzucały się gazem, to jednak konwencjonalne pociski nadal były używane [18].

Niemcy, podobnie jak Wielka Brytania, oprócz chloru i fosgeny stosowali także dym arsenowy oraz różne środki drażniące, do czasu, gdy w lecie 1917 r., znowu w okolicy Ypres, użyli nowego środka trującego. Była to substancja znana wśród alianckich żołnierzy jako HS (*Hun Stuff*) lub Żółty Krzyż (*Yellow Cross*), od znaku na pokrywie puszek. Był to di-(2-chloroetylo)tioeter, nazywany też gazem musztardowym, ponieważ jego zapach był podobny do zapachu musztardy. Od miejsca jego pierwszego użycia związek ten jest nazywany iperytem siarkowym.

BST, wykorzystywane zanim został użyty iperyt, są zaliczane do środków trujących pierwszej generacji. Iperyty siarkowy i związki chemiczne o właściwościach podobnych do jego właściwości zalicza się do BST drugiej generacji. Niemiec

uczeni uznali iperyt siarkowy za środek „wysoco wydajny”, jednak nie z uwagi na osiągnięty przy jego użyciu wskaźnik umieralności — tylko 2 procent skażonych ginęło natychmiast — lecz ze względu na jego inne właściwości. Przede wszystkim zauważono, że aparaty do oddychania nie chronią przed zatruciem iperytem. Najważniejsze jednak było to, że działanie tej substancji było na początku nieodczuwalne. Niedoświadczeni żołnierze uważali go za nieszkodliwy, a później umierali [18, 22, 24].

W ciągu jednej do dwóch godzin z oczu żołnierzy skażonych iperytem zaczynały niepowstrzymanie płynąć łzy i ofiary ślepy w wyniku bolesnego zapalenia spojówek. Gardło było obolałe jak przy ostrym zapaleniu krtani, następnie u zatrutego pojawiały się wymioty i zaczynał się dusić. Po pierwszym ataku z użyciem gazu musztardowego widziane były grupy żołnierzy prowadzone do stacji sanitarnych — każdy trzymał rękę na ramieniu poprzednika. Ofiary pokrywały się jątrzącą i piekącą wysypką, a pękające pęcherzyki wydzielały ciecz plamiącą mundury. W najcięższych przypadkach występowały poważne kłopoty z oddychaniem, przechodzące w ostre odoskrzelowe zapalenie płuc.

Niemcy uważali gaz musztardowy za najskuteczniejszy ze swoich środków chemicznych. Alianci nie mieli zamiaru pozostać w tyle. Amerykanie, którzy przystąpili do I wojny światowej w czerwcu 1917 r., w końcu tego roku uruchomili chemiczny ośrodek badawczy w Edgewood w stanie Maryland. Produkowali tam duże ilości środków trujących oraz poszukiwali nowych technologii w zakresie zbrojeń chemicznych.

Kiedy Amerykanie podejmowali badania we współpracy z Brytyjczykami, Niemcy zdążyli już ulepszyć technikę rażenia pociskami z gazem musztardowym, osiągając niewiarygodną dokładność strzału. Decydujący atak gazem musztardowym wstrzymali do roku 1917, kiedy dysponowali ponad milionem pocisków. W nocy z 12 na 13 lipca 1917, w czasie bitwy pod Ypres, Niemcy zastosowali iperyt na masową skalę. Po tym ataku ofiar było tak dużo, że szpitale połowe nie nadążały z niesieniem pomocy. W ostatnich miesiącach wojny jedna czwarta pocisków artyleryjskich zawierała iperyt [18, 24, 25].

Brytyjska produkcja iperytu była gotowa dopiero latem 1918 r. W tym czasie Amerykanie produkowali w Edgewood 100 tysięcy bomb dziennie [18].

Ostatnie miesiące I wojny światowej przebiegały przy masowym użyciu broni chemicznej. Stosowano gaz musztardowy, fosgen, chlor i wiele innych substancji. W sumie obie strony konfliktu na polach bitew wypróbowały 54 substancje i wypuściły w powietrze blisko 130 tysięcy ton substancji chemicznych. Zadanie to wykonało około 20 tysięcy specjalnie wyszkolonych żołnierzy [18, 22, 24, 26].

Ostateczny rachunek strat mówi, że ofiarami ataków gazowych padło ok. 1 250 000 ludzi; jedna dziesiąta z nich została zabita, a nieznanym, lecz z pewnością ogromnym odsetkiem pozostałych spędził resztę życia, cierpiąc na wyniszczające organizm choroby. Sam iperyt, uznany za pięciokrotnie skuteczniejszy od zwykłych bomb czy szrapneli, był odpowiedzialny za ok. 400 000 ofiar.

Broń chemiczna została użyta w wyniku decyzji Niemców o nierespektowaniu zasad określanych jako międzynarodowe prawa humanitarne konfliktów zbrojnych [27-29]. Należy podkreślić fakt, że istniały już wówczas normy prawne, które dotyczyły użycia wojskowego substancji toksycznych. Powszechnie uznana w międzynarodowym porządku prawnym funkcjonowała ogłoszona wraz z konwencją haską 29 lipca 1899 r. Deklaracja o zakazie używania pocisków gazowych, w której: „(...) Niżej podpisani Pełnomocnicy państw reprezentowanych na Międzynarodowej Konferencji Pokojowej w Hadze, należycie do tego upoważnieni przez swoje Rządy, kierując się uczuciami, które znalazły wyraz w Deklaracji Petersburskiej z 29 listopada / 11 grudnia 1868 roku, Oświadczają: Umawiające się Państwa ustanawiają zakaz używania pocisków, których jedynym celem jest rozprzestrzenianie gazów duszących i zabijających (...)” [30-32]. Deklaracji tej jednak nie przestrzegano, a skuteczność broni chemicznej była na tyle duża, że znalazła ona powszechne uznanie wśród dowódców obu walczących stron.

Z nieznanymi do dzisiaj przyczyn w kolejnej wojnie broni chemicznej nie użyto.

3. Okres międzywojenny

Wydawało się, że straszne skutki wojny chemicznej będą wystarczającym ostrzeżeniem dla narodów świata, by opamiętały się i zobowiązały, że nigdy więcej broń chemiczna nie zostanie użyta. Panowało przekonanie, że była to wojna kończąca wszelkie wojny. Niemcy przegrali i świat upominał się o przywrócenie konwencji haskiej należnej jej rangi, zwłaszcza w części dotyczącej zakazu wojen chemicznych.

Rzeczywistość była inna i chociaż kraje alianckie potępiły Niemców za rozpętanie wojny chemicznej, to kontynuowano produkcję trucicielskiej broni. Niektórzy głosili przy tym pogląd, że broń chemiczna jest bardziej humanitarna od konwencjonalnej. Pewne źródła podają nawet, że — nie licząc zmarłych w czasie pierwszych ataków gazowych i wtedy, gdy ludzie nie mieli osłony — współczynnik umieralności spowodowanej bronią chemiczną był niższy od strat powodowanych przez broń konwencjonalną [18, 24, 26, 36, 37].

W roku 1920, w oczekiwaniu na decyzje Ligi Narodów w sprawie rozbrojenia, gabinet brytyjski zaakceptował plany rozszerzenia zakresu prac badawczych w Porton Down. To samo zrobili Amerykanie w Edgewood. Francuzi zbudowali centrum chemiczne mieszczące się w Atelier de Pyrotechnic de Bouchet pod Paryżem. Włosi zbudowali *Servizio Chémico Militare* na północ od Mediolanu. Japończycy powierzyli badania nad bronią chemiczną grupie wojskowych naukowców, przyporządkowanych marynarce wojennej. Rosjanie, mocno spóźnieni wskutek rewolucji 1917 roku, założyli Wojskowy Oddział Chemiczny Armii Czerwonej na początku roku 1924.

Na eskalację produkcji chemicznej w celach wojennych wpływały dwa czynniki: silne lobby wojskowego przemysłu chemicznego oraz argumenty wynikające

z doświadczeń ostatniej wojny. Na podstawie tych doświadczeń projektowano, produkowano i testowano różne substancje chemiczne, aby przygotować niezbędną obronę. Konieczność obrony wynikała z konsekwencji jej braku podczas wojny. Pod koniec lat dwudziestych zaczęły się ujawniać ukryte następstwa wojny chemicznej. Dziesięć lat po jej zakończeniu dokonano badań wielu tysięcy weteranów, w większości pobierających renty inwalidzkie w konsekwencji chorób wywołanych kontaktem ze środkami chemicznymi w czasie wojny.

W 1925 r. został przyjęty protokół genewski „O zakazie użycia na wojnie gazów duszących i bakteriologicznych metod prowadzenia działań wojennych”. Protokół zakazywał użycia broni chemicznej, ale nie zakazywał jej produkcji. Pewnym wyjaśnieniem tego była poprawka dodana do Protokołu w 1929 r., która zakładała możliwość odwetu w razie zastosowania broni chemicznej przez agresora.

Pomimo obowiązywania protokołu genewskiego w 1935 r. broń chemiczna znowu została użyta. 3 października 1935 roku Włochy rozpoczęły inwazję na Abisynię. Inwazja lądowa i lotnicza nie przebiegała tak, jak zakładano. Wtedy Mussolini dał rozkaz przetransportowania drogą morską do włoskich baz w Afryce wielu tysięcy ton iperytu.

W styczniu 1936 roku Włosi zaczęli używać bomb rozpryskowych zawierających po ok. 200 kg iperytu. Bomba rozrywała się na wysokości od 70 do 100 m nad ziemią, sprawiając, że ciekły iperyt skażał duży obszar. Cesarz Hajle Sylassje poszukał schronienia na Zachodzie. Na sesji Ligi Narodów mężowie stanu z posępnymi minami słuchali informacji o ataku chemicznym. Ciecz z bomb zamieniała się w kłęby mgły oblepiającej wszystko po drodze — mężczyzn, kobiety, dzieci, zwierzęta — zanieczyszczając także rzeki i jeziora. Wojna chemiczna powróciła.

Międzynarodowe media zareagowały oburzeniem. Amerykanie natychmiast potroili produkcję w Edgewood. Francuzi uruchomili nową fabrykę fosgenu w Clamercy i wznowili produkcję w dwóch nieczynnych. Stalin, choć dysponował już wielkim chemicznym przemysłem zbrojeniowym, zlecił budowę trzech nowych fabryk w Kujbyszewie, Karagandzie i Brandiuszkach. Rząd brytyjski, który oficjalnie zrezygnował z zamiaru gromadzenia zapasów środków chemicznych, nakazał postawienie nowej fabryki w Sutton Oak, w hrabstwie Lancashire, i miał plany budowy dwóch następnych [10, 18, 20, 21].

Wywiad dostarczał dowodów na to, że niedawna Wielka Wojna niczego narodów świata nie nauczyła. Uczni i eksperci wojskowi intensywnie opracowywali plany wojen chemicznych i obrony w ich trakcie. Zbadano między innymi, jak długo utrzymuje się skażenie piasku i poszyc dachowych. Z wyników tych badań w pierwszych miesiącach II wojny światowej o mało nie skorzystał Winston Churchill. Był on bliski wydania rozkazu skażenia angielskich plaż iperytem na wypadek inwazji wojsk niemieckich [38].

W 1936 r. największe obawy związane ze zbrojeniami chemicznymi budziły Niemcy. Potencjał chemiczny Niemiec uważano za znacznie przewyższający

możliwości innych krajów europejskich, w tym względnie był on porównywalny z potencjałem sowieckim. Niemcy miały co najmniej sześć ośrodków badań nad bronią chemiczną i jej produkcji. Były doniesienia, że przeprowadzają próby z użyciem nisko latających samolotów rozpraszających środki trujące.

Wyrazem coraz większych obaw przed Niemcami było np. to, że w brytyjskich czasopiśmie naukowych przestano publikować wyniki badań dotyczących broni chemicznej. Wtedy nie wiadano jeszcze o odkryciu przez Niemców nowego rodzaju środków trujących — paralityczno-drgawkowych, które zostaną opisane w drugiej części tego opracowania.

Wywiad brytyjski nie wiedział o odkryciu przez Niemców środków paralityczno-drgawkowych. Brytyjczycy przyjmowali, że Niemcy nadal zajmują się związkami arsenu, szczególnie arsenowodorem, który jest silną trucizną krwi. Potwierdzeniem tego założenia była informacja wywiadu, że „Niemcy skupują wszelki dostępny na rynkach światowych arsen” [18, 38]. Opracowany w 1936 r. brytyjski respirator był przeznaczony do ochrony przed związkami arsenu i przed cyjanowodorem, który mieli Rosjanie.

W ocenie specjalistów brytyjskich „gdyby Niemcy rozpoczęli wojnę chemiczną, szybka reakcja Zjednoczonego Królestwa w tym samym stylu byłaby niemożliwa” [38]. Zapasy iperytu Wielkiej Brytanii w tym czasie nie przekraczały 500 ton, a gazu łązwiącego ok. 5 ton. Było to bardzo mało w porównaniu z ilościami BST, jakimi dysponowali Niemcy. Wywiad brytyjski wiedział o niezdolności Wielkiej Brytanii do „odpłacenia Niemcom tym samym” [21, 38]. W raporcie wywiadu z maja 1939 r. napisano, że chemiczna gotowość Niemców jest ogromna i „jeśli Hitler uzna za stosowne sięgnąć po gaz, to zrobi to we właściwy mu, genialny i bezlitosny sposób” [4, 18].

W tej sytuacji Brytyjczycy i Francuzi zaczęli myśleć o wspólnym finansowaniu badań i o planowaniu wspólnego wysiłku w wojnie chemicznej. Dwa dni po wypowiedzeniu wojny Niemcom zespół oficerów i jednostkę wywiadu z Departamentu Obrony Chemicznej przeniesiono z Londynu do Porton Down. Utworzono Komitet Obrony Chemicznej, do którego dołączono naukowców [18].

Dopiero w tej sytuacji Brytyjczycy i Francuzi zaczęli myśleć o wspólnym froncie — wspólnym finansowaniu badań i planowaniu wysiłku w wojnie chemicznej. Efekty tego zrywu były jeszcze w powijakach, kiedy premier Neville Chamberlain wypowiedział Niemcom wojnę. Dwa dni później zespół brytyjskich dowódców i jednostka wywiadu z Departamentu Obrony Chemicznej zostały przeniesione w całości z kwatery głównej przy Grosvenor Gardens w Londynie do kompleksu Porton Down [18].

W czerwcu 1940 roku dzięki Enigmie rozszyfrowano przekaz, z którego jasno wynikało, że Hitler szykuje się do inwazji na Wielką Brytanię. Winston Churchill w trybie pilnym zażądał oceny stanu obronności wszystkich sektorów

brytyjskiego wybrzeża, zagrożonego lądowaniem wojsk niemieckich [38]. Siedem tygodni wcześniej Churchill dostał swój pierwszy list adresowany do niego jako do świeżo mianowanego premiera. Nadawcą był profesor Fryderyk Lindemann, fizyk niemieckiego pochodzenia, były dyrektor Stacji Fizyki Doświadczalnej przy Królewskim Korpusie Powietrznym w Farnborough, a także jeden z najstarszych doradców w kwestiach wojny chemicznej lat 1914-1918 [39]. List zawierał między innymi refleksję na temat możliwości użycia broni niekonwencjonalnej przez Niemców [38].

Wielka Brytania osiągnęła gotowość użycia broni chemicznej latem 1940 roku. Brytyjskie Siły Ekspedycyjne we Francji obowiązywał stały alarm gazowy, zwłaszcza że wywiad doniósł o posiadanej w państwach osi „substancji N” (niem. *N-Stoff*, ang. *substance N*), którą początkowo błędnie uznano za nową najbardziej śmiertelnością formułę azotu z gazem musztardowym [18]. Pomimo błędnego przyjęcia założeń co do budowy chemicznej substancji N (informacja dotyczyła możliwości zastosowania trifluorku chloru jako środka zapalającego i trującego), sama informacja była istotna. Testy prowadzono w ściśle tajnych obiektach wojskowych i na makietach Linii Maginota [20, 40]. Pozwoliły one na potwierdzenie, że pochłaniacze masek przeciwgazowych nie stanowią skutecznej ochrony przed ClF_3 . Działa on na drogi oddechowe, wywołując ataki silnego kaszlu i obrzęk płuc. Silnie drażni błony śluzowe nosa, oczu i dróg oddechowych. Ma również działanie parzące. Pary powodują powstawanie pęcherzy i ran w miejscu zetknięcia ze skórą [41].

W tym czasie alianci ciągle jeszcze nic nie wiedzieli o niemieckich środkach paralityczno-drgawkowych.

W latach 1939-1945 w Wielkiej Brytanii wyprodukowano 3 394 093 pociski z ładunkiem chemicznym. Siły powietrzne (RAF) zaopatrzone w 1 862 643 bomby o wadze od ok. 15 do 250 kg, wypełnione iperytem bądź fosgenem. Amunicja była testowana przez specjalistów z Porton Down. Ogółem w postaci amunicji i w pojemnikach zgromadzono 40 719 ton iperytu oraz 14 042 tony fosgeny i gazu łzawiącego za ok. 24 miliony funtów szterlingów. Zapasy pocisków wypełnionych fosgenem były składowane w nadbrzeżnych składach „na potrzeby marynarki wojennej do bombardowania celów lądowych przed lądowaniem lub w trakcie” [18, 20]. Nigdy jednak nie zostały użyte.

Podane dane liczbowe dotyczą Wielkiej Brytanii. Inne państwa biorące udział w wojnie też miały duże zapasy BST. Oprócz Niemiec i USA dużą produkcję i zapasy tych środków miały ZSRR i Japonia. Mało wiadomo o tym, że w niektórych krajach środki trujące testowano na więźniach obozów koncentracyjnych i jeńcach wojennych. Prof. Andrzej Waksmundzki, który był więźniem pracującym w Dyhrenfurth, autorowi niniejszej pracy opowiedział, jak sprawdzano jakość amunicji z tabunem. Więźniów zamykano z wyprodukowanymi pociskami na noc i rano sprawdzano, czy przeżyli. Jeżeli nie żyli, amunicja była zła, bo nieszczelna.

4. Broń chemiczna w II Rzeczypospolitej

W II RP poważnie potraktowano doświadczenia I wojny światowej, w której użyta broń chemiczna była skuteczna militarnie i miała skutki psychologiczne. Polacy zamierzali skorzystać z tych doświadczeń. Po zakończeniu wojny polsko-sowieckiej stworzono podstawy produkcyjne, badawcze, techniczne oraz organizacyjne dla nowoczesnych wojsk chemicznych.

Wynikało to z ówczesnych poglądów na wojnę w ogóle, wojnę chemiczną i sposoby ochrony przed nią [42-44]. S. Marzecki pisał: „Nie ulega najmniejszej wątpliwości, że przyszła wojna będzie obfitą w rozmaite niespodzianki w dziedzinie broni chemicznej, która odegra nieomal decydującą rolę” [45].

W wyniku badań prowadzonych w Instytucie Przeciwigazowym i w Politechnice Warszawskiej otrzymano ponad 300 substancji chemicznych o charakterze militarnym. Okna Instytutu Przeciwigazowego, w którym badano między innymi związek arsenu o nazwie luizyt, były obsadzone pelargoniami, których zapach przypomina zapach luizytu. Wśród badanych związków były pochodne kwasu fluorooctowego. Badania tych pochodnych były kontynuowane przez Polaków podczas wojny w Wielkiej Brytanii. Część spośród badanych środków trujących jest nieznanych. Jest to spowodowane tym, że wielu wojskowych chemików zamordowali Sowieci, m.in. w Katyniu.

Poziom wyposażenia, wykszolenia, stany magazynowe oraz zaplecze produkcyjne BST we wrześniu 1939 i porównanie tego z potencjałem Armii Czerwonej i Wehrmachtu prowadzi do wniosków niewzbudzających dumy. Wiadomo jednak, że iperyt i amunicja nim wypełniona były na małą skalę w Polsce produkowane.

O incydencie z użyciem polskiego iperytu znajdziemy informację w sprawozdaniu sporządzonym dla aliantów przez dowódcę niemieckich wojsk chemicznych generała Hermanna Ochsnera. Jego zdaniem 8 września 1939 r. w czasie bitwy o Jasło Wojsko Polskie miało zastosować iperyt siarkowy [17]. Istnieje kilka wersji tego wydarzenia. Część źródeł opisuje ostrzał artyleryjski, a inne zaporę iperytowo-ogniową [46]. Miał się nawet pojawić komunikat Wehrmachtu określany w raportach mianem „wypadku mostowego”. Nie wiadomo, ile w tym przekazie jest prawdy, ale czterech strzelców górskich rzekomo zatrało się śmiertelnie, zaś kilkunastu uległo poważnemu oparzeniu w wyniku ostrzelania mostu pociskami chemicznymi. Atak ten miał również spowodować czasowe skażenie okolicy. Nie można wykluczyć w tym przypadku niemieckiej prowokacji. Profesor Włodarkiewicz w książce *Lwów 1939* stwierdził, opierając się na I tomie zbioru [47], że monografia niemieckiej 2. Dywizji Górskiej zawiera niezgodną z prawdą informację, jakoby w Jasle przy rozbrajaniu mostu przez Wisłokę Niemcy saperzy wykryli miny zawierające gaz, które eksplodowały [4].

Opierając się na sprawozdaniu dowódcy 1. Pułku Korpusu Ochrony Pogranicza „Karpaty” płk. Władysława Ziętkiewicza z grudnia 1939 r., jednostka ta nie

była przygotowana do stosowania broni chemicznej. Podobna sytuacja miała mieć miejsce również na linii Łomża—Wizna, lecz brakuje szczegółów tej sprawy [4, 48].

Nie ma wiarygodnych informacji na temat polskich bojowych środków trujących przejętych przez armię niemiecką i radziecką. W latach 90. ubiegłego stulecia na jednym z międzynarodowych seminariów pracownik instytutu chemicznego Bundeswehry oświadczył, że Niemcy we wrześniu 1939 r. znaleźli w Polsce ponad 3000 min wypełnionych iperytem siarkowym [17]. Z kolei po wojnie odnaleziono w kraju 80 polskich min chemicznych również wypełnionych iperytem siarkowym, wykonanych z blachy stalowej oraz oznaczonych symbolem „WP MP 1938”. Wydaje się, że nie było to jedyne znalezisko chemiczne, na jakie trafili Niemcy w Polsce.

5. Charakterystyka bojowych środków trujących stosowanych do II wojny światowej

BST stosowane na początku I wojny światowej miały postać gazów lub lotnych cieczy przekształczanych w aerozole [49-51]. Były to środki działające na układ oddechowy — duszące i ogólnotrujące. Do środków duszących zalicza się np. chlor i fosgen, a do ogólnotrujących cyjanowodór, który stanowił główny składnik środka o nazwie cyklon B. Miał on służyć pierwotnie do dezynsekcji i deratyzacji. Opracował go w latach 20. XX wieku Fritz Haber, niemiecki chemik żydowskiego pochodzenia [52, 53]. Ten laureat Nagrody Nobla odegrał także rolę w wykorzystaniu chloru i iperytu podczas I wojny światowej przez wojska niemieckie [20, 26, 54, 55]. Za pomocą cyklonu B zamordowano miliony ludzi w komorach gazowych hitlerowskich obozów zagłady [56, 57]. Sam Fritz Haber zdołał jednak uciec z III Rzeszy do Szwajcarii [55].

Skutki użycia środków trujących podczas I wojny światowej były tak straszne, że nawet Adolf Hitler pomimo posiadania ogromnych zapasów broni chemicznej, w tym nowej ich klasy [58, 59], nie zdecydował się na jej użycie w czasie II wojny światowej. Jego decyzja o niestosowaniu tego typu broni nie wynikała jednak z pobudek humanitarnych, ale prawdopodobnie z własnych i groźby odwetu ze strony aliantów [25, 33, 35].

5.1. Lakrymatory i sternity

Pierwszymi substancjami chemicznymi zastosowanymi na polach bitew I wojny światowej były drażniące bojowe środki trujące. Są to substancje chemiczne, których zasadnicze działanie trujące polega na silnym porażeniu zakończeń nerwów czuciowych oczu (lakrymatory) oraz błon śluzowych nosa, gardła, oskrzeli (sternity). Należą do szybko działających nękających BST. Objawy toksycznego działania ustępują w krótkim czasie po wyjściu z atmosfery skażonej i nie pozostawiają trwałych

skutków. Drażniące BST są przeznaczone głównie do skażenia powietrza. W stanie bojowym występują w postaci par lub aerozoli. Niektóre z nich znajdują się do dzisiaj w wyposażeniu sił policyjnych wielu państw jako środki do kontroli tłumy.

Działanie tych substancji objawia się intensywnym łzawieniem w przypadku lakrymatorów lub kichaniem, bolesnym kaszlem i obfitym wydzielaniem śluzu z nosa w przypadku sternitów. Reakcją obronną człowieka są niedające się powstrzymać odruchy, które całkowicie uniemożliwiają wykonywanie normalnych czynności. Stężenia rzędu $10^{-8} \div 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ prowadzą do niemal natychmiastowych porażen i dlatego w ocenie toksyczności tej grupy BST nie uwzględnia się ekspozycji, operując wyłącznie wartościami stężenia.

Sternity przy bardzo niewielkim stężeniu atakują drogi oddechowe, śluzówki oraz skórę. Przy oddziaływaniu w postaci aerozoli wywołują podrażnienie zakończeń nerwowych górnych dróg oddechowych oraz oczu. Przy dużych stężeniach sternity mogą powodować podrażnienia skóry i lekkie oparzenia. Wśród objawów zatrucia dominują ból oczu, gwałtowny kaszel, łzawienie, uczucie ciała obcego pod powieką, kichanie, bóle w klatce piersiowej, nudności oraz wymioty. W ciężkich zatruciach pojawiają się również bóle głowy, zatok, zębów, mięśni oraz stawów. Czasami występują drgawki oraz porażenie niektórych grup mięśni szkieletowych. W przypadku dużych stężeń aerozolu często dochodzi do uszkodzenia dolnych odcinków dróg oddechowych i wtedy, obok stanów zapalnych oskrzeli, może wystąpić obrzęk płuc. W zasadzie przy zatruciu sternitami o średnich stężeniach całkowity powrót do zdrowia następuje w ciągu dwóch dni. Wielkości dawek toksycznych omawianych środków trujących, powodujących określone stany zatrucia, są bardzo niewielkie.

Skutecznym środkiem ochronnym przed nimi jest filtracyjna maska przeciwgazowa. Najważniejsze spośród drażniących ST opisano poniżej.

5.1.1. Lakrymatory

Bromocyjanek benzalu (kamit) miał następujące oznaczenia wojskowe: w USA — BBC; we Francji — *camite*. Podczas I wojny światowej był stosowany przez wojska francuskie i amerykańskie. W stanie czystym występuje w postaci żółtawych kryształów, topi się w temperaturze 298,4 K i wrze w temperaturze 515 K (z rozkładem). Produkt techniczny jest brązową, oleistą cieczą o lotności $C_{\max} = 0,13 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych i innych BST, np. w fosgenie i iperycie siarkowym. W wodzie nie hydrolizuje nawet w podwyższonych temperaturach. Hydrolizuje na zimno w wodno-alkoholowych roztworach wodorotlenków. Likwidację skażeń powinno się prowadzić roztworami siarczków metali alkalicznych. Wykazuje niską odporność termiczną, co wyklucza jego stosowanie w mieszkankach termosublimacyjnych i w pociskach artyleryjskich. Może być stosowany w postaci roztworów. Silne działanie łzawiące wykazuje przy stężeniach rzędu $10^{-1} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Bromek ksylilu jest otrzymywany przez bromowanie ksylenu. Techniczny jest mieszaniną izomerów: orto, meta i para. Jest cieczą wrzącą w temp. $483 \div 493$ K o lotności w temperaturze 293 K $C_{\max} = 0,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Nie rozpuszcza się i nie hydrolizuje w wodzie. Działa drażniąco na błony śluzowe oczu powyżej stężenia $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Bromek ksylilu nie ma obecnie znaczenia jako BST.

Bromoaceton jest cieczą o t_w 409 K z rozkładem — jest on stosunkowo mało trwały. Polimeryzuje podczas przechowywania. Otrzymywany przez bromowanie acetonu. Stosowany w czasie I wojny światowej w mieszaninie z chlorocyjanem i cyjanowodorem. Obecnie jego znaczenie militarne jest znikome.

Chloroaceton topi się w temp. 228 K, a wrze w temp. 392 K. Nie rozpuszcza się w wodzie, rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych — alkoholu, eterze, chloroformie. Ma przykry zapach. W podwyższonej temp. hydrolizuje pod wpływem wody, roztwory siarczku sodowego rozkładają chloroaceton na produkty nietoksyczne.

5.1.2. Sternity

Adamsyt to chlorek fenarsazyny (10-chloro-9,10-dihydrofenarsazyna, oznaczenie wojskowe: USA — DM, Niemcy — D). W armiach wielu krajów był do czasu wejścia w życie Konwencji o zakazie broni chemicznej etatowym bojowym środkiem trującym. Podczas I wojny światowej był produkowany w USA na skalę przemysłową. Nazwa adamsyt pochodzi od nazwiska amerykańskiego chemika Adamsa, który otrzymał go po raz pierwszy. W stanie czystym adamsyt to żółta, krystaliczna substancja o $t_{\text{top.}} = 468$ K i $t_w = 683$ K; gęstość $1,684 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $C_{\max} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w temperaturze 293 K. Produkt techniczny ma barwę zieloną. Nierozpuszczalny w wodzie, na zimno słabo rozpuszczalny w rozpuszczalnikach organicznych. Związek mało reaktywny, w wodzie nie hydrolizuje. Rozkłada się pod wpływem silnych utleniaczy, np. stężonego kwasu azotowego. Może być stosowany wyłącznie w postaci aerozolu. Drażni wtedy silnie błony śluzowe oczu i górnych dróg oddechowych. Objawami toksycznego działania są: natychmiastowy silny łzotok i po kilku minutach ból w piersiach i utrudnione oddychanie. Objawy ustępują po kilku godzinach bez trwałych następstw. Oprócz właściwości drażniących, adamsyt charakteryzuje się działaniem ogólnotrującym, podobnym do działania innych arsyn. Przejawia się ono wymiotami, bólami głowy i klatki piersiowej, dusznicą i krwotokami z nosa. Likwidacja skutków zatrucia adamsytem polega na mechanicznym usunięciu resztek trucizny, np. przez przemycie oczu strumieniem wody. Leczenie sprowadza się do podawania środków przeciwbólowych, przeciwzapalnych i uspokajających, co daje na ogół pozytywne skutki już w ciągu pierwszej doby leczenia (hospitalizacji). Stężenia aerozolu rzędu $10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ są wyczuwalne, natomiast stężenia $10^{-3} \div 2 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oddziałują napastliwie na organizm ludzki.

Difenylochloarsyna to BST znany od 1880 roku o oznaczeniu wojskowym w USA i Wielkiej Brytanii — DA, a w Niemczech — Clark I, Blaukreuz. Podczas I wojny światowej był stosowany przez Niemców. W stanie czystym jest bezbarwnym krystalicznym związkem o $t_{\text{top.}} = 316 \text{ K}$ i $t_{\text{w.}} = 606 \text{ K}$ z rozkładem oraz gęstości $1,422 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; $C_{\text{max}} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ — w temperaturze 293 K . Produkt techniczny jest brunatną cieczą. Dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych i innych BST — fosgenie, difosgenie, chloropikrynie, iperycie siarkowym i arsynach. Rozpuszczalność w wodzie wynosi około 0,2%. Difenylochloarsyna pod wpływem wody hydrolizuje bardzo powoli, natomiast łatwo ulega rozkładowi w wodnoalkoholowych roztworach wodorotlenków. Produkt hydrolizy jest toksyczny. Do likwidacji skażeń wykorzystuje się reakcje: chlorowania i z siarczkami. Difenylochloarsyna silnie drażni błony śluzowe oczu i górnych dróg oddechowych, co powoduje łzawienie, kaszel, kichanie, ból w płucach i utrudnione oddychanie. Objawy zatrucia trwają przez kilka do kilkunastu godzin i zanikają bez trwałych następstw. Pierwsze objawy podrażnienia występują przy stężeniu $10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wysokie stężenia rzędu około $2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ mogą powodować śmierć wskutek porażenia dróg oddechowych.

Difenylocyjanoarsyna oznaczana w USA i Wielkiej Brytanii — DC, w Niemczech — Clark II i Blaukreuz. W I wojnie światowej była stosowana w mieszaninie z difenylochloarsyną. W stanie czystym jest krystaliczną, bezbarwną substancją o $t_{\text{top.}} = 308 \text{ K}$, $t_{\text{w.}} = 619 \text{ K}$ z częściowym rozkładem; o gęstości $1,45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; $C_{\text{max}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ w temperaturze 293 K . Produkt techniczny jest cieczą o brunatnym zabarwieniu. Rozpuszczalność difenylocyjanoarsyny w wodzie, rozpuszczalnikach organicznych i innych BST oraz objawy toksycznego działania są analogiczne jak dla difenylochloarsyny. W wodzie hydrolizuje powoli, łatwiej w alkoholowych roztworach w środowisku alkalicznym. Czynniki chlorujące są dobrymi środkami odkażającymi difenylocyjanoarsyny. Działanie drażniące występuje od stężenia $10^{-5} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenie napastliwe zaczyna się od stężenia $5 \cdot 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Chloropikryna — trichloronitrometan, nitrochloroform. W USA oznaczany PS, w Niemczech jako Klop. Otrzymana w 1848 r. przez Stenhousea. Jest bezbarwną, ciężką cieczą o gęstości $1,658 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ i o ostrym, przenikliwym zapachu. Topi się w temp. 204 K , a wrze w temp. 385 K z rozkładem. W czasie przechowywania przybiera barwę żółtozieloną. Jest cieczą o dużej lotności i szybkości parowania. W temperaturze 293 K $C_{\text{max}} = 184 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Praktycznie nie rozpuszcza się w wodzie, lecz dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych i wielu BST — iperytach, fosgenie, difosgenie, fosforoorganicznych BST. Jest substancją trwałą chemicznie, która nie hydrolizuje w wodzie, a w środowisku zasadowym hydrolizuje powoli w podwyższonych temperaturach. Likwidację skażeń można prowadzić za pomocą roztworów alkoholów i siarczków metali alkalicznych. W temperaturze powyżej 673 K ulega rozkładowi, podczas którego wydziela się fosgen. Pary chloropikryny silnie drażnią błony śluzowe oczu i dróg oddechowych

przy stężeniach od $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, wywołując łzawienie, kaszel i kichanie. Stężenia powyżej $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ działają dusząco z objawami w postaci bólu w okolicy żołądka, wymiotów, utraty przytomności i obrzęku płuc. $\text{LCt}_{50} = 20\,000 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Chloropikryna ciekła powoduje oparzenia skóry. Współcześnie stosuje się ją do oceny sprawności technicznej środków ochrony dróg oddechowych.

5.2. Parzące (nekrozujące) BST

Działanie parzące wykazują związki chemiczne, którymi są: chlorowcopochodne tioeterów, amin alifatycznych i oksymów oraz chloroarsyny alifatyczne i aromatyczne. Znaczenie militarne mają współcześnie iperyt siarkowy oraz iperyt azotowy. BST z tej grupy są substancjami chemicznymi, które charakteryzują się silnym działaniem w miejscu bezpośredniego kontaktu z żywym organizmem, wywołując oparzenia podobne do oparzeń termicznych. Są to na ogół substancje ciekłe, charakteryzujące się niewielką lotnością. Są to tioetery, np. iperyt siarkowy, pochodne amin alifatycznych, np. iperyt azotowy, arsyny, np. luizyt. W zależności od przynależności do określonej grupy związków charakteryzują się różną trwałością chemiczną. Usunięcie atomów chlorowca z cząsteczki parzącego BST likwiduje jego właściwości parzące. Parzące BST łatwo wnikają do organizmu przez skórę, wykazując oprócz działania parzącego działanie ogólnotrujące.

Brakuje jednoznacznej interpretacji biochemicznego oddziaływania iperytów ze składnikami ustroju. Stwierdzono, że są one inhibitorami wielu enzymów komórkowych: szczególnie wrażliwych heksokinaz, lipaz, peptydaz oraz niektórych dehydrogenaz, np. dehydrogenazy kwasu bursztynowego. Iperyty azotowy wpływa ponadto hamująco na funkcje nukleoproteidów, szczególnie kwasów deoksyrybonukleinowych. Objawy porażenia i zatrucia iperytami są odmienne dla różnych wrót skażenia, przy czym bezpośredni kontakt powierzchni skóry z parami lub kroplami iperytów prowadzi do nekrozy. Inhalacyjne działanie małych ilości iperytów, odpowiadających $0,1$ wartości LCt_{50} — który dla iperytu siarkowego i azotowego wynosi $1 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{dm}^{-3}$, powoduje po około 6 do 8 godzin utajenia objawy ze strony dolnych i górnych dróg oddechowych, w tym takie jak katar, chrypa, ból gardła, suchy kaszel, zapalenie oskrzeli. Okres zdrowienia trwa 3 do 4 tygodni. Zatrucie może pozostawić nieodwracalne ślady w postaci trwałej chrypki, wynikającej z nekrozy strun głosowych. Przy wartości ok. $0,2 \text{ LCt}_{50}$, w miarę jak wymienione uprzednio objawy nasilają się, dodatkowo występują: ropne uszkodzenie śluzówki nosa i gardła, utrata głosu, ból w piersiach, uporczywy kaszel z krwawymi wybroczynami, zapalenie płuc. Okres zdrowienia trwa wiele tygodni, a nawet miesięcy, w czasie których organizm jest bardzo osłabiony, podatny na zakażenia bakteryjne mogące prowadzić do śmierci.

Ciężki stopień porażenia parzącymi BST powoduje w czasie od 3 do 4 dni śmierć. Jeśli gęstość skażenia powierzchni skóry jest większa od $2 \cdot 10^{-1} \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$

— tzw III stopień nekrozy — 80,90% iperytu wnika do układu krwionośnego. Również w przypadku porażień inhalacyjnych występuje resorpcja środka poprzez pęcherzyki płucne do układu krwionośnego. Działanie ogólnotrujące iperytów objawia się bólem głowy, mdłościami, osłabieniem, bólem mięśni, anemią i spadkiem ogólnej odporności organizmu. W czasie od kilku dni do kilku tygodni może nastąpić śmierć spowodowana bezpośrednim zatruciem iperytami lub powikłaniami wynikłymi z ogólnego osłabienia organizmu. Podobne objawy, którym towarzyszą: biegunka, bóle żołądka i ślinotok, obserwuje się w przypadku wniknięcia iperytu do organizmu przez przewód pokarmowy. Wartości LD_{50} dla iperytów siarkowego i azotowego wynoszą odpowiednio: 20 i 12 $mg \cdot kg^{-1}$.

Iperyt siarkowy (di-(2-chloroetylo)tioeter, siarczek 2,2'-dichlorodietylowy, dichlorodietylosiarczek) był oznaczany w Niemczech jako Yperit, Lost, Schwefelyperit, w USA jako H, HD, mustard gas, we Francji — Yperite, Yc, Yt. Iperyt zastosowany po raz pierwszy 12-13.07.1917 r. przez Niemców pod Ypres, do końca I wojny światowej był już stosowany masowo przez wojska niemieckie. Iperyt siarkowy nie utracił nic ze swojego ówczesnego znaczenia militarnego, wciąż jest powszechnie uznawany za etatowy BST.

Czysty iperyt siarkowy jest bezbarwną cieczą o słabym zapachu, natomiast produkt techniczny ma kolor brunatnoczarny i zapach musztardy. Czysty krzepnie w temp. 287,4 K, a produkt techniczny w temperaturze 278÷283 K, wrze w temperaturze 490 K z rozkładem. W temperaturze 293 K $C_{max} = 0,625 mg \cdot dm^{-3}$, a gęstość 1,2741 $mg \cdot dm^{-3}$. Rozpuszczalność w wodzie jest stosunkowo niska i wynosi ok. 0,8 $g \cdot dm^{-3}$; dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych, olejach, smarach, a także innych BST, takich jak: difosgen, chloropikryna, arsyny, DFP, sarin, soman. Ciekły iperyt siarkowy szybko dyfunduje przez tkaniny, skórę, cienką gumę i łatwo wnika w materiały porowate: cegłę, beton, drewno. Materiałami trudniej przenikliwymi dla niego są niektóre polimery: neopren, alkohol poliwinylowy, fluorokauczuki, polietylen i inne. Warstwa grubości ok. 1 mm tych materiałów nie przepuszcza iperytu przez kilka godzin, a nawet dni. Związek ten w postaci par ma znacznie słabszą zdolność przenikania przez różne materiały. Wojskowe znaczenie iperytu siarkowego wynika z faktu, że jest on jednym z bardziej trwałych BST. Utrzymuje się w terenie od kilku dni w warunkach letnich do kilku tygodni w zimie, a przy tym jest substancją trwałą pod względem chemicznym, która wytrzymuje bez rozkładu krótkotrwałe ogrzanie do temperatury 573 K, co decyduje o jego odporności na detonację, a więc i możliwości zastosowania w pociskach artylerii lufowej i raketowej. Czysty iperyt siarkowy może być magazynowany w metalowych naczyniach przez dłuższy czas. Techniczny powoduje korozję stali i wymaga stosowania inhibitorów korozji podczas przechowywania. Wodne roztwory hydrolizują z wytworzeniem nietoksycznych produktów. W temperaturze 293 K jego całkowity rozkład hydrolityczny przebiega w ciągu ok. 2 godzin.

W przypadku iperytu siarkowego nierozpuszczonego w wodzie hydroliza przebiega jedynie na granicy faz i trwa wielokrotnie dłużej. Gdy znajduje się on pod warstwą wody, może zachować toksyczność nawet przez kilka lat, o ile warstwy nie będą mieszane.

Szybkość hydrolizy iperytu siarkowego zwiększa się ze wzrostem temperatury. Iperyty w roztworze wodnym o stężeniu około 1% ulega rozkładowi przez gotowanie w czasie 15 minut. W środowisku silnie zasadowym szybkość hydrolizy jest o 20% większa niż w obojętnym. Iperyty łatwo ulega reakcjom chlorowania, szczególnie w roztworach niewodnych. Organiczne substancje chlorujące (np. chloraminy) w rozpuszczalnikach organicznych (np. dichloroetan, czterochloro węgla) są najskuteczniejszymi substancjami do jego niszczenia. Wodne roztwory podchlorynu wapnia są mniej skuteczne, głównie ze względu na jego słabą rozpuszczalność w wodzie. Suche podchloryny powodują natychmiastowe zapalenie się iperytu siarkowego jasnoczerwonym płomieniem. Do likwidacji skażeń można też zastosować alkoholowe lub wodnoalkoholowe roztwory siarczków (np. siarczku sodowego) [41].

Objawy działania iperytu na skórę pojawiają się po okresie utajenia, w czasie od 4 do 24 godz. w zależności od dawki. Po wygojeniu się na skórze pozostają brązowe plamy lub blizny. Skutki działania par na drogi oddechowe występują po czasie od 4 do 6 godzin i objawiają się w postaci bolesnego, suchego kaszlu, zaniku głosu, a niekiedy zapalenia płuc. Objawem działania par na oczy są: stany zapalne rogówki, spuchnięcie i ropienie powiek oraz zwykle przemijająca ślepotą, wymagająca jednak długotrwałego leczenia. Działanie kropli iperytu siarkowego na gałkę oczną powoduje trwałą utratę wzroku.

Porażenie skóry występuje przy gęstościach skażenia powyżej $0,01 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Śmiertelna dawka przez skórę wynosi $40\div 60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Oczy są porażone parami iperytu o stężeniu $0,0012 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ po trwającej około 45 minut ekspozycji. Stężenie $0,03 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ przy 2- do 5-minutowym oddychaniu powoduje śmierć. Ict_{50} wynosi około $150 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{Lct}_{50} = 400\div 1500 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ — w zależności od intensywności oddychania.

Objawy ogólnotrującego działania przez skórę występują przy ciężkich, rozległych oparzeniach, gdy pęcherze na powierzchni skóry są większe niż 20 cm^2 . Objawiają się: bólem głowy, mdłościami, osłabieniem, biegunką, apatią, bólami mięśni, anemią, spadkiem ogólnej odporności organizmu. Śmierć następuje w czasie od kilku dni do kilku tygodni. Okres zdrowienia jest bardzo długi, pozostaje często trwałe osłabienie organizmu, określane jako cherlactwo poiperytowe. Leczenie wszystkich skażeń iperytami wymaga opieki medycznej.

Iperyty azotowe to związki chemiczne odkryte w 1934 r. Są to chloropochodne aminy alifatycznych o strukturze: $\text{RN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2$, przy czym najbardziej znane to:

1. tri-(2-chloroetylo)amina, $\text{R}=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$;
2. N-metylo-di-(2-chloroetylo)amina, $\text{R}=\text{CH}_3$;
3. N-etylo-di(2-chloroetylo)amina, $\text{R}=\text{C}_2\text{H}_5$.

Związek chemiczny najbardziej toksyczny w tej grupie to tri-(2-chloroetylo)amina. Jest on oznaczany w USA jako HN-3 i Nitrogen mustard, w Niemczech Stickstoff-yperit, T-9, C-Salze, w Wielkiej Brytanii TBA. Jest to bezbarwna ciecz o ledwie wyczuwalnym zapachu i gęstości $1,235 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Po 2 do 3 dniach przechowywania żółknie, a następnie przybiera barwę brunatną. Wrze w temp. 508 K z rozkładem, topi się w temp. 269 K; C_{max} w temp. 293 K wynosi $0,07 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Słabo przenika przez gumę i inne materiały.

Iperyt azotowy w wodzie praktycznie się nie rozpuszcza, ponieważ jego rozpuszczalność wynosi około $0,16 \text{ g}^{-3}\text{dm}^{-3}$ — w temp. 293 K. Dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych, tłuszczach, olejach itp. Roztwory w rozpuszczalnikach polarnych, np. w alkoholach i acetonie, ciemnieją pod wpływem światła lub temperatury. Czysty związek przechowywany ponad 30 dni zestala się i zmniejsza się jego toksyczność, co stanowi wadę tej substancji jako BST.

Pod wpływem wody iperyt azotowy hydrolizuje wolniej niż iperyt siarkowy. Z kwasami lub solami kwaśnymi tworzy sole — ciała stałe, krystaliczne, doskonale rozpuszczalne w wodzie. Są to substancje o wysokiej trwałości i równie toksyczne jak tri(2-chloroetylo)amina. Roztwory kwasów mogą być wykorzystane do usuwania tego BST ze skażonych powierzchni. Ponadto do likwidacji skażeń wykorzystuje się chlorowanie w środowisku wodnym roztworami podchlorynów lub niewodnymi roztworami dichloraminy.

N-metylodi-(2-chloroetylo)amina jest oznaczana w USA jako HN-2, w Wielkiej Brytanii jako MBA. Jest to substancja ciekła, bezbarwna, o gęstości $1,13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, krzepnie w temp. ok. 213 K, wrze w temp. 345 K przy ciśnieniu 9 mm Hg. W wodzie rozpuszcza się w ilości ok. $12 \text{ g}/\text{dm}^3$. Właściwości chemiczne i toksyczne są podobne jak tri-(2-chloroetylo)aminy.

N-etylodi-(2-chloroetylo)amina w USA ma oznaczenie HN-1, a w Wielkiej Brytanii EBA. Jest cieczą o temp. krzepnięcia ok. 238 K i gęstości $1,09 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Wrze w temperaturze 358 K przy ciśnieniu 12 mm Hg. Właściwości chemiczne i toksyczne ma podobne do tri-(2-chloroetylo)aminy.

Ogólnie objawy porażenia iperytami azotowymi i ich solami są identyczne jak iperytem siarkowym — praktycznie nie dają się odróżnić. Okres utajenia jest krótszy, wynosi czasem tylko kilka minut. Objawy działania ogólnotrującego są nieco silniejsze, a wielkości dawek toksycznych są porównywalne z dawkami iperytu siarkowego.

Parzącym BST, który pomimo odkrycia podczas I wojny światowej nie został w niej użyty, jest luizyt, który w USA ma oznaczenie Lewisite, a w Niemczech — Lewisit. Zwykle nazwą tą określa się produkt techniczny stanowiący mieszaninę trzech związków chemicznych:

1. $\text{Cl}\text{-CH=CH}\text{-AsCl}_2$; 2-chloro-winyłodichloroarsyna — luizyt A;
2. $(\text{Cl}\text{-CH=CH})_2\text{-AsCl}$; di-(2-chlorowinylo)-chloroarsyna — luizyt B;
3. $(\text{Cl}\text{-CH=CH})_3\text{As}$; tri-(2-chlorowinylo)-arsyna — luizyt C.

W mieszaniu tej najsilniejszej właściwości parzącej ma jej główny składnik, czyli luizyt A. Prace nad syntezą tych związków rozpoczęto niemal równolegle w 1917 r. w USA i Niemczech. Nazwa tego BST pochodzi od nazwiska chemika amerykańskiego Lewisa. Jego produkcję na skalę przemysłową podjęto pod koniec I wojny światowej.

Luizyt A to ciężka, bezbarwna, ruchliwa ciecz o gęstości $1,88 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, o zapachu pelargonii, topi się w temp. 263 K, a wrze w temp. 463 K z rozkładem. W czasie przechowywania zabarwia się początkowo na kolor różowy, później fioletowy i brudnoczarny. W temp. 293 K $C_{\text{max}} = 2,3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych, olejach i tłuszczach. Natomiast jego rozpuszczalność w wodzie wynosi ok. $0,5 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Miesza się bez ograniczeń z iperytem siarkowym, difosgenem i wieloma fosforoorganicznymi BST. Łatwiej niż iperyt siarkowy przenika przez tkaniny, gumę, skórę itp. Pod wpływem wody hydrolizuje z utworzeniem nietlonego, parzącego i ogólnotrującego tlenku. Rozkłada się pod wpływem roztworów wodorotlenków. Środki utleniające, np. podchloryny, utleniają luizyt A do kwasu arsenowego i jest to najbardziej skuteczna reakcja chemiczna stosowana do likwidacji skażeń. W czasie przechowywania w obecności żelaza przegrupowuje się do luizytu B i C, co jest istotne podczas przechowywania amunicji chemicznej.

Luizyt B to lekko żółtawa ciecz o t_w 503 K z rozkładem. Nie rozpuszcza się w wodzie, dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych. Właściwości chemiczne ma podobne jak luizyt A.

Luizyt C to substancja o t_{top} 294,5 K i t_w 533 K. Nie rozpuszcza się w wodzie i etanolu, rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych. W wodzie nie ulega hydrolizie.

Luizyty działają trująco, po wniknięciu przez skórę i przez drogi oddechowe. Wykazują też działanie ogólnotrujące. LD_{50} przez skórę wynosi $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Parzące działanie luizytów ujawnia się natychmiast w postaci lekkiego pieczenia skażonej skóry. Przy gęstościach skażeń ok. $0,2 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ wiśniowoczerwone pęcherze pojawiają się po kilku godzinach, tworząc po dwóch, trzech dniach otwarte rany. Pary luizytów o stężeniu $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ powodują powstawanie pęcherzy na skórze po 15 minutach. Oparzenia luizytem goją się szybciej niż oparzenia iperytem siarkowym. Wdychanie par luizytu o stężeniu $0,05 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ przez 30 minut powoduje zejście śmiertelne. Działanie na drogi oddechowe objawia się w postaci kaszlu, kichania, duszności, utraty głosu, zadyszki i stanów zapalnych płuc. Stężenia $0,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ po 15 min powodują zaczerwienienia oczu i opuchnięcie powiek. $Lct_{50} = 1300 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$; $Ict_{50} = 300 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$. Powtórne zatrucia luizytem mają znacznie cięższy przebieg niż poprzednie. Luizyt ma obecnie małe znaczenie militarne ze względu na małą trwałość w terenie, wynikającą z podatności na hydrolizę i małą odporność na długotrwałe przechowywanie.

Podsumowanie

W pracy dokonano przeglądu i usystematyzowania problemów dotyczących rozwoju i użycia broni chemicznej, szczególnie w zakresie jednej z jej części składowych, jaką są BST. Przegląd ten, obejmujący okres do II wojny światowej, pozwala na ocenę stanu wiedzy i poglądów na celowość użycia BST oraz na skuteczność ich działania.

Z dokonanego przeglądu wynika wnioski, że niektóre spośród BST stosowanych podczas I wojny światowej mogą być nadal stosowane tak w działaniach bojowych, jak i przez terrorystów. Jednym ze skutków wojny chemicznej prowadzonej w latach 1914-1918 jest to, że jeszcze kilka lat temu, przy ponoszeniu znacznych kosztów, niszczone była amunicja chemiczna niewykorzystana w tej wojnie [60].

Informacje zawarte w publikacji prowadzą do ogólnego wniosku, że zawarcie Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów było koniecznością.

Artykuł sfinansowano ze środków własnych autorów.

Artykuł wpłynął do redakcji 8.01.2019 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 9.09.2019 r.

Marcin Kloske <https://orcid.org/0000-0001-6175-4541>

Zygfryd Witkiewicz <https://orcid.org/0000-0003-4563-4624>

LITERATURA

- [1] KURTH J., *The War and the West*, Orbis, 61, 2017, 494-505.
- [2] LOPEZ A.C., JOHNSON D.D.P., *The determinants of war in international relations*, J. Econ. Behav. Organ., 2017, DOI:10.1016/j.jebo.2017.09.010
- [3] SCHEFF T., REGINALD DANIEL G., STERPHONE J., *Shame and a Theory of war and violence*, Aggress. Violent Behav., 39, 2018, 109-115.
- [4] KONOPSKI L., *Historia broni chemicznej*, Bellona, Warszawa, 2009.
- [5] BURMAOGLU S., SARITAS O., *Changing characteristics of warfare and the future of Military R & D*, Technol. Forecast. Soc. Change, 116, 2017, 151-161.
- [6] CHWASTIAK M., LEHMAN G., *Accounting for war*, Account. Forum, 32, 2008, 313-326.
- [7] CHAI P.R., BOYER E.W., AL-NAHHAS H. & ERICKSON T.B., *Toxic chemical weapons of assassination and warfare: nerve agents VX and sarin*, Toxicol. Commun., 1, 2017, 21-23.
- [8] PROCKOP L.D., *Weapons of mass destruction: Overview of the CBRNEs (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosives)*, J. Neurol. Sci., 249, 2006, 50-54.
- [9] MAYOR A., *Chemical and Biological Warfare in Antiquity*, [in:] *History of Toxicology and Environmental Health*, 2015, 9-20, Elsevier, 2015, DOI:10.1016/B978-0-12-801506-3.00002-9.
- [10] SZINICZ L., *History of chemical and biological warfare agents*, Toxicology, 214, 2005, 167-181.
- [11] CHERONIS N.D., *Chemical warfare in the middle ages. Kallinikos' 'prepared fire'*, J. Chem. Educ., 14, 1937, 360.
- [12] LARABEE A., *A brief history of terrorism in the United States*, 2003, 18.
- [13] SCHWARTZ A.T., KAUFFMAN G.B., *Experiments in alchemy. Part I: Ancient arts*, J. Chem. Educ., 53, 1976, 136.

- [14] SCHWARTZ A.T., KAUFFMAN G.B., *Experiments in alchemy. Part II: Medieval discoveries and 'transmutations'*, J. Chem. Educ., 53, 1976, 235.
- [15] CRODDY E., *Chemical and biological warfare*, Springer, 2001.
- [16] *Handbook of toxicology of chemical warfare agents*, Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2015.
- [17] WITKIEWICZ Z., MAKLES Z., SZARSKI K., *Broń chemiczna na ziemiach polskich*, Wojskowy Przegląd Historyczny, R. 40, nr 1-2, 1995, s. 163-171.
- [18] PARKER J., KĘDZIERSKI S., *Fabryki śmierci*, Wydawnictwo „Colori”, 1999.
- [19] FRIEDRICH B., HOFFMANN D., *Clara Immerwahr: A Life in the Shadow of Fritz Haber*, [in:] *One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences*, B. Friedrich, D. Hoffmann, J. Renn, F. Schmaltz, M. Wolf (ed.), Springer International Publishing, 2017, 45-67, DOI:10.1007/978-3-319-51664-6_4
- [20] FRIEDRICH B., HOFFMANN D., RENN J., SCHMALTZ F., WOLF M., *One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences*, Springer International Publishing, 2017, DOI:10.1007/978-3-319-51664-6.
- [21] CRODDY E., PEREZ-ARMENDARIZ C., HART J., *Chemical and Biological Warfare*, Springer, New York, 2002, DOI:10.1007/978-1-4613-0025-0.
- [22] FOULKES C.H., *'Gas!': the story of the Special brigade*, William Blackwood & Sons Ltd., London, 1934.
- [23] RAWSON A., *British Army handbook, 1914-1918*, Sutton, 2006.
- [24] JONES S., HOOK R., *World War I gas warfare tactics and equipment*, Osprey, 2007.
- [25] GROEHLER O., *Der lautlose Tod*, Verl. d. Nation, 1987.
- [26] FRIEDRICH B., *Gas! Gas! Quick, Boys! How Chemistry Changed the First World War. By Michael Freemantle*, Angew. Chem. Int. Ed., 52, 2013, 11695-11696.
- [27] *International humanitarian law*, Transnational Publishers, 2003.
- [28] *Humanitarian Law*, (ed.) Judith Gardam, Ashgate/Dartmouth, 1999.
- [29] PICTET J., *Humanitarian law and the protection of war victims*, A.W. Sijthoff, Leiden — Henry Dunant Institute, Geneva, 1975..
- [30] LANKOSZ K., *Międzynarodowe prawo humanitarne konfliktów zbrojnych: wybór dokumentów*, Wyższa Szkoła Administracji, Bielko-Biała, 2007.
- [31] FLEMMING M., GAŚKA M., MIKOS-SKUZA E., *Międzynarodowe prawo humanitarne konfliktów zbrojnych: zbiór dokumentów*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa, 2003.
- [32] FALKOWSKI Z. i in., *Międzynarodowe prawo humanitarne konfliktów zbrojnych*, Wojskowe Centrum Edukacji Obywatelskiej, Warszawa, 2014..
- [33] GRÜNBERG K., *Adolf Hitler: biografia*, Książka i Wiedza, Warszawa, 1996.
- [34] BULLOCK A., *Hitler: a study in tyranny*, Harper & Row, New York, 1962.
- [35] KERSHAW I., *Hitler*, W.W. Norton, 1999.
- [36] ECKART W. U., *The Soldier's Body in Gas Warfare: Trauma, Illness, Rentennot, 1915-1933*, [in:] *One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences*, B. Friedrich, D. Hoffmann, J. Renn, F. Schmaltz, M. Wolf (ed.), 2017, 213-227, Springer International Publishing, 2017, DOI:10.1007/978-3-319-51664-6_12
- [37] WELLS C.F., *Chemical warfare. A course in the study of toxic gases*, J. Chem. Educ., 5, 1928, 929.
- [38] HARRIS R., PAXMAN J., *A higher form of killing: the secret history of chemical and biological warfare*, Random House Trade Paperbacks, 2002.
- [39] FORT A., *Prof: the life and times of Frederick Lindemann*, Pimlico, 2004.

- [40] KEMNITZ T., RENTSCH P., *Führungskomplex Falkenhagen: fotografische Perspektiven und militärhistorische Aspekte*, Edition Vimudeap, 2005.
- [41] *1000 słów o chemii i broni chemicznej*, Wydawn. Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1987.
- [42] BATYCKI W., HISZPANSKI S., *Krótki zarys obrony przeciwlotniczo-gazowej ludności cywilnej*, Warszawa, 1936.
- [43] MATUSZEK O., *Widmo wojny gazowej upiorną wizją: obrona ludności cywilnej przed działaniem broni przeciwnika, ochrona przeciwgazowa i przeciwlotnicza*, Ksieg. i Druk. Katolicka, 1930.
- [44] SIKORSKI W., *Przyszła wojna: jej możliwości i charakter oraz związane z nim zagadnienia obrony kraju*, TAIWPN Universitas, 2010.
- [45] MARZECKI S., *Ogólne zasady toksykologii oraz patologii zatruc gazami bojowymi*, 1922.
- [46] WŁODARKIEWICZ W., *Lwów 1939*, Bellona, Warszawa, 2007.
- [47] NEILD R., *The Problem of chemical and biological warfare: a study of the historical, technical, military, legal and political aspects of CBW, and possible disarmament measures*, Almqvist & Wiksell International; Humanities Press, 1975.
- [48] ZAWILSKI A., *Bitwy polskiego września*, Znak, 2011.
- [49] GIANNAKOUDAKIS D.A., BANDOSZ T.J., *Detoxification of Chemical Warfare Agents*, Springer International Publishing, 2018, DOI:10.1007/978-3-319-70760-0.
- [50] HOENIG S.L., *Compendium of chemical warfare agents*, Springer, 2007.
- [51] SCHWENK M., *Chemical warfare agents. Classes and targets*, Toxicol. Lett., 293, 2018, 253-263.
- [52] RAMIREZ J.G., BACON D.R., *Modern Chemical Warfare: A History*, Bull. Anesth. Hist., 22, 2004, 1-15.
- [53] STERN F., *Fritz Haber: Größe und Tragik seines Lebens und seines Landes*, Angew. Chem., 124, 2012, 50-58.
- [54] FRIEDRICH B., *Fritz Haber und der "Krieg der Chemiker"*, Phys. Unserer Zeit, 46, 2015, 118-125.
- [55] FRIEDRICH B., *Fritz Haber: Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*. By Dietrich Stoltzenberg, Angew. Chem. Int. Ed., 44, 2005, 3957-3961.
- [56] DUNIKOWSKA M., TURKO L., *Fritz Haber: The Damned Scientist*, Angew. Chem. Int. Ed., 50, 2011, 10050-10062.
- [57] ROMERO A.M., *Commercializing chemical warfare: citrus, cyanide, and an endless war*, Agric. Hum. Values, 33, 2016, 3-26.
- [58] BEY T., WALTER F.G., *Sarin, Soman, Tabun und VX*, Notf. Rettungsmedizin, 5, 2002, 462-468.
- [59] RICHES J., *Analysis of Organophosphorus Chemicals*, in, *Best Synthetic Methods*, 2015, 721-752, Elsevier, 2015, DOI:10.1016/B978-0-08-098212-0.00007-8.
- [60] WITKIEWICZ Z., *Niszczenie starej broni chemicznej w Niemczech*, Przem Chem, 73, 1994, 145-146.

M. KLOSKE, Z. WITKIEWICZ

Chemical weapon in the 20th and 21st centuries.

Part 1. Chemical warfare agents before G nerve agent group discovery

Abstract. The publication contains a synthesis of knowledge about chemical weapon and its use during the First World War and in the period after that war, until the nerve agent discovery. It describes chemical warfare agents (CWAs) that were discovered, produced, and used on the battlefield at that time. They are referred to as the first and second CWAs generation.

Keywords: chemical weapon, chemical warfare agents, World War I, interwar period

DOI: 10.5604/01.3001.0013.5557