



Broń chemiczna w XX i XXI wieku

Część 2. Fosforoorganiczne bojowe środki trujące grupy G

MARCIN KLOSKE¹, ZYGFRYD WITKIEWICZ

¹Dowództwo 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. Celem publikacji jest dokonanie przeglądu stanu wiedzy na temat grupy G związków chemicznych wchodzących w skład fosforoorganicznych bojowych środków trujących paralityczno-drgawkowych od ich odkrycia do 1970 roku. Związki grupy G, określane także jako związki serii G, związki G, G-gazy, gazy G, to podgrupa paralityczno-drgawkowych bojowych środków trujących, które powodują inhibicję acetylocholinoesterazy. Praca zawiera podstawowe dane na temat tej grupy związków chemicznych, nadal rozpatrywanych jako istotny składnik broni chemicznej.

Słowa kluczowe: fosforoorganiczne środki trujące, broń chemiczna, II wojna światowa, okres powojenny, zimna wojna

DOI: 10.5604/01.3001.0013.5560

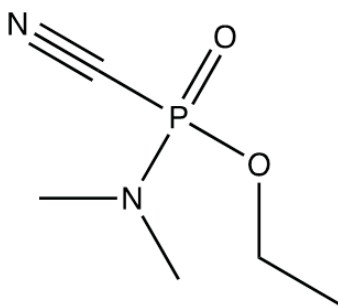
Wstęp

Pierwsza wojna światowa przyniosła ogromne straty i cierpienia spowodowane użyciem w jej trakcie broni chemicznej. Pomimo tego powszechnie uważano, że w następnej wojnie będzie ona także używana. Dlatego podejmowano działania mające na celu zarówno rozwój tej broni, jak i środków obrony przed nią. Były to działania w różnej skali w poszczególnych państwach Europy i w Związku Sowieckim. Także w Polsce panowało przekonanie o tym, że przyszła wojna będzie wojną chemiczną. To, że broń chemiczna będzie miała w przyszłej wojnie decydujące znaczenie, uwzględniano szczególnie w Niemczech. Dlatego w tym kraju prowadzono

intensywne prace badawcze dotyczące broni chemicznej. Nie jest przypadkiem, że w Niemczech powstały bojowe środki trujące zaliczane do trzeciej ich generacji – fosforoorganiczne środki trujące (FOST).

1. Historia fosforoorganicznych środków trujących

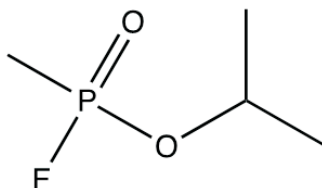
W roku 1934 grupa niemieckich naukowców opublikowała raport z badania pestycydów fosforoorganicznych [1-4]. Była to grupa związków chemicznych, których dalsze badania doprowadziły do otrzymania bardzo toksycznych bojowych środków paralityczno-drgawkowych. Badaniami tych związków jako insektycydów w firmie IG Farbenindustrie AG (niem. *Interessen-Gemeinschaft Farbenindustrie Aktiengesellschaft*, tłum. z niem. *Syndykat Przemysłu Farbiarskiego Spółka Akcyjna*) zajmował się Gerhard Schrader. Pewnego dnia w 1935 r. podczas pracy z tymi związkami poczuł, że dzieje się z nim coś złego, podobnie jak z jego asystentem. Źle widział, a kilka dni później zaczęły się kłopoty z oddychaniem. Po tygodniu on i jego pomocnik cierpieli już na skurcze i lekki paraliż mięśni ramion. Nie mogli pracować przez prawie miesiąc. Okazało się, że Schrader przypadkowo wynalazł środek trujący znany obecnie jako tabun — rys. 1 [4]. Interesuje on naukowców do dzisiaj [5-7].



Rys. 1. Uproszczony wzór strukturalny tabunu — dimetyloamidocyjanofosforan etylu; IUPAC, ang. *(RS)-Ethyl N,N-Dimethylphosphoramidocyanidate*

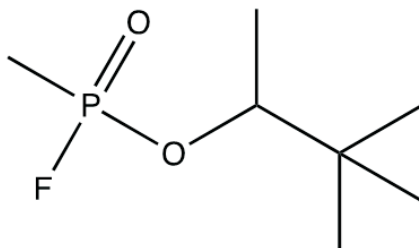
Odkryciem Schradera zainteresowali się wojskowi specjaliści realizujący niemiecki program broni chemicznej. Przeprowadzono testy działania otrzymanej substancji na zwierzętach. Eksperci ocenili, że odkrycie to ma „niekwestionowaną przewagę” nad iperytem i fosgenem. Otrzymana substancja nie miała zapachu ani barwy, a przede wszystkim była bardzo toksyczna. Powodowała też szybką korozję metali. Uznano, że są to cechy odpowiednie do rozpylania tej substancji w powietrzu. Schrader kontynuował badania w tajnym laboratorium pod nadzorem wojska. W ciągu roku dokonał następnego odkrycia: wynalazł związek pokrewny tabunowi,

a testy na zwierzętach wykazały, że jest on wielokrotnie silniejszy w skutkach. Nazwał go sarin, od pierwszych liter nazwisk czterech ludzi, którzy wspólnie dokonali odkrycia — Schrader, Ambros, Ritter i von der Linde — rys. 2.



Rys. 2. Uproszczony wzór strukturalny sarinu — fluorometylofosfonian 2-propylu; IUPAC, ang. *(RS)*-Propan-2-yl methylphosphonofluoridate

W czasie II wojny światowej w Niemczech kontynuowano badania nad FOST. Latem 1944 roku Niemcy otrzymali soman — rys. 3, bezbarwny płyn o kamforycznym zapachu. Okazał się jeszcze bardziej toksyczny niż tabun i sarin. Powstał jako rezultat badań laureata Nagrody Nobla Richarda Kuhna, który wraz z Konradem Henklem odkrył soman podczas badań farmakologicznych tabunu i sarinu w Instytucie Badań Medycznych im. Cesarza Wilhelma w Heidelbergu. Badania te zlecone zostały przez Wehrmacht, a soman wyprodukowano w małych ilościach, w produkcji pilotażowej, w zakładzie należącym do IG Farbenindustrie AG, zlokalizowanym w Ludwigshafen. Ze względu na skalę produkcji soman nie był uwzględniany jako środek walki zbrojnej przez Niemcy.



Rys. 3. Uproszczony wzór strukturalny somanu: 3-[fluoro(metylo)fosforylo]oksy-2,2-dimetylobutan; IUPAC, ang. *3,3*-Dimethylbutan-2-yl methylphosphonofluoridate

W kolejnym roku poinformowano o odkryciu Hitlera, który nakazał dyrektorowi Badań Chemicznych Wehrmachtu zbudować w Spandau nowe laboratoria. Do Spandau sprowadzono zwierzęta, a potem i więźniów, mężczyzn z obozów koncentracyjnych, których śmiertelnie zatrutowano. Wynalazek Schradera wzbudzał grozę nawet wśród tych, którzy pracowali nad projektem. W swoich notatnikach opisywali skutki jego działania jako „wstrząsające”. Niewiele więcej od jednej tysięcznej

grama wciągnięte do płuc zabija człowieka w ciągu niespełna pół godziny. Śmierć następuje w mękach, w wyniku uszkodzenia układu nerwowego. Jednym z objawów tego uszkodzenia są drgawki i paraliż. Dlatego tę grupę związków fosforoorganicznych określa się jako paralityczno-drgawkowe i cały czas poddaje się intensywnym i wszechstronnym badaniom [5].

W Anglii długo nie wiadomo o odkryciu fosforoorganicznych środków trujących. Panowało przekonanie, że w przyszłym konflikcie z Niemcami będą stosowane środki trujące używane podczas I wojny światowej [8]. Około 1938 roku rządy państw europejskich zaczęły przygotowywać społeczeństwa na ewentualność użycia broni chemicznej. W Wielkiej Brytanii wydano obywatelom 30 milionów masek przeciwgazowych. W Niemczech utworzono oddziały gazowe — *Nebeltruppen* i prowadzono szkolenie przy wykorzystaniu iperytu [2, 3, 9].

Kiedy w 1939 roku wybuchła II wojna światowa, okazało się, że jest ona inna niż poprzednia wojna. Nowe pokolenie niemieckich generałów odnosiło się sceptycznie do zastosowania broni chemicznej w nowych warunkach wojny. Początkowe ofensywy Niemców i ich późniejsze odwroty odbywały się w takim tempie, że środki chemiczne były bezużyteczne. *Nebeltruppen* nigdy nie zostały wysłane na front. Nie mogąc zastosować środków trujących na polu bitwy, Niemcy wciąż brali pod uwagę zrzucanie ich z powietrza na ludność cywilną nieprzyjaciela [2, 10, 11].

W chwili uderzenia na Polskę Niemcy mieli przygotowany do użycia sarin jako środek walki. Produkcję tabunu na skalę przemysłową opanowano dopiero w 1942 r. Historia ta wiąże się z tragicznym losem Brzegu Dolnego w czasie II wojny światowej. Władze niemieckie wybrały otoczone lasami miasteczko do budowy zakładów chemicznych (w ramach tajnego programu Grün 3), których produkcja miała służyć działaniom wojennym. Na przełomie roku 1938 i 1939 budowę zakładów rozpoczął koncern IG Farbenindustrie. Kosztem około 0,5 mld marek piętnaście firm budowlanych pod generalnym nadzorem firmy „Luranil” z Ludwigshafen wzniosło 130 budynków fabrycznych. Zakłady o nazwie „Anorgana” GmbH produkowały BST takie jak sarin i tabun (od 1942 r.), którymi napełniano bomby lotnicze i pociski artyleryjskie. Przy pracy zatrudniano więźniów obozów koncentracyjnych. Na terenie Brzegu Dolnego znajdowały się bowiem dwa podobozy obozu koncentracyjnego Gross Rosen — Dyhernfurth I i II. Więźniowie Dyhernfurth I zatrudnieni byli w fabryce chemicznej przy produkcji środków trujących i napełnianiu nimi pocisków i bomb, natomiast więźniowie z Dyhernfurth II pracowali przy rozbudowie fabryki. Przy produkcji tabunu jako więzień obozu koncentracyjnego zatrudniony był dr Andrzej Waksmundzki, później profesor, wybitny chemik analityk-chromatografista. Na podstawie jego wspomnień wiadomo, że kontrola jakości produkowanej amunicji chemicznej była prowadzona przy wykorzystaniu więźniów. Byli oni zamykani na noc w magazynie wyprodukowanej amunicji. Jeżeli do rana przeżyli, uznawano, że amunicja jest szczelna i nadaje się do dłuższego magazynowania lub wysłania na front.

24 stycznia 1945 r., tuż przed nadejściem frontu, hitlerowcy rozpoczęły ewakuację podobozów. Ogółem wyprowadzono około 3000 więźniów. W trakcie ewakuacji esesmani zgładzili około 2 tysięcy więźniów z obydwu podobozów. 26 stycznia 1945 r. oddziały radzieckie 2 Korpusu 13 Armii Polowej zajęły opustoszałe miasto. Częściowemu zniszczeniu uległy zakłady chemiczne „Anorgana”, które 4 lutego 1945 r. odbiła z rąk sowieckich silna grupa uderzeniowa pod dowództwem gen. Sachsenheimera. Zniszczono pozostałe w fabryce środki trujące oraz akta podobozowe i inne ślady zbrodniczej działalności Niemców na tym terenie.

Ponieważ Polskę i kolejne kraje pokonano stosunkowo łatwo, uznano, że użycie broni chemicznej nie było potrzebne. Sarin pozostał więc niemiecką tajną bronią, o której Hitler, znany z samochwalstwa, nie wspominał w swoich butnych mowach. Wiedział, że temu, co mówi, Brytyjczycy uważnie się przysłuchują. Miał też pewne obawy co do możliwości odwetu.

Niemiecka broń chemiczna była w czasie II wojny światowej nieustannie rozwijana. W obliczu klęski na frontach, z miastami w ruinie po alianckich bombardowaniach, sztabowcy Hitlera domagali się zgody na użycie broni chemicznej mówiąc: „Mamy ten nowy trujący gaz. Führer musi go użyć. Po prostu musi” [12, 13]. Od 1942 roku Niemcy nieustannie produkowali FOST-y, przede wszystkim tabun, we wzmiankowanym powyżej zakładzie zarządzanym przez spółkę zależną IG Farben Anorgana GmbH, w Dyhrenfurth, obecnie Rokita w Brzegu Dolnym. Zakład ten powstał w styczniu 1940 r. i miał nazwę kodową Hochwerk. W 1944 r. Niemcy mieli tyle tabunu, że wystarczyłby on do uśmiercenia całej ludności Londynu. FOST odkryte w Niemczech oznaczono literą G — od Germany. Tabun jest oznaczany symbolem GA, sarin GB, a soman GD.

Kolejny etap w rozwoju FOST nastąpił po zakończeniu II wojny światowej, gdy do akcji przystąpiły specjalne oddziały aliantów (T-Force) i Sowieci poszukujących naukowców pracujących nad niemiecką bronią chemiczną [14]. Odnotowano spore osiągnięcia w zakresie przejmowania dokumentacji badań nad tą bronią. Zabezpieczano miejsca, w których prowadzono eksperymenty z bronią chemiczną lub ją produkowano. Wśród znalezisk trafiono między innymi na zdjęcia dokumentujące wykorzystanie więźniów obozów koncentracyjnych w testach skuteczności poszczególnych gazów bojowych [1, 15].

Rosnąca z każdym dniem, szczególnie po zakończeniu wojny, rywalizacja między dotychczasowymi sojusznikami prowadziła często do sytuacji, w której wszystkie strony łamały wcześniejsze ustalenia [16, 17]. Przykładem tego były „porwania” naukowców z terenów zajętych przez sojuszników. W przypadku T-Force jej ludzie brali udział w wywożeniu, często pod przymusem, niemieckich naukowców z terenów zajętych już przez Armię Czerwoną. Czyniono tak z obawy przed wykorzystaniem ich osiągnięć przez Rosjan. Należy przy tym pamiętać, że wielu z tych naukowców nie widziało różnicy w pracy na rzecz tej czy drugiej strony, obojętne było im tylko gwarantowała dostęp do aparatury i środków. Rosjanie bardzo często wykorzystywali ten fakt do

składania daleko idących obietnic. W pierwszych miesiącach po zakończeniu wojny starali się z nich wywiązywać, aby podtrzymać wizerunek poważnego i hojnego opiekuna. Ich propaganda była skuteczna do tego stopnia, że jeden z naukowców przewiezionych przez żołnierzy T-Force do brytyjskiej strefy podzielonych Niemiec zdecydował się na powrót do strefy sowieckiej. Jednym z motywów współpracy z Brytyjczykami było zobowiązanie się przez nich do wywiezienia rodziny naukowca z obszarów zajętych przez Rosjan [14].

2. Ogólna charakterystyka FOST grupy G

Podczas procesu zbrodniarzy hitlerowskich w Norymberdze ujawniono informacje o FOST. Dotyczyły one możliwości i sposobów ich użycia, stanu badań i zakresu produkcji oraz ilości zmagazynowanych zapasów. Szczególną uwagę zwracano na ekstremalną toksyczność tych substancji i ich właściwości fizykochemiczne [9].

FOST przenikają do organizmu przez drogi oddechowe w postaci par lub aerozoli, przez przewód pokarmowy, błony śluzowe oraz przez skórę. W miejscu wniknięcia nie pozostawiają widocznych śladów. Przenikalność tych środków przez poszczególne wrota skażenia do organizmu różni się o dwa rzędy wielkości. Na ogół najtrudniej uzyskać dawkę toksyczną przez skórę, a najłatwiej przez drogi oddechowe. Niektóre z FOST cechują się jednak podobnymi wielkościami dawek toksycznych, zarówno drogą doustną, jak i naskórną.

Pod względem budowy cząsteczkowej FOST grupy G są organicznymi pochodnymi kwasów fosfonowych. Są to bezbarwne ciecze, rzadko ciała stałe, dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych, natomiast słabo w wodzie. Ich lotność jest niewielka, ale z reguły wystarczająca do wytworzenia w atmosferze stężeń par wielokrotnie przewyższających śmiertelne. Spośród pochodnych chlorowcowych, fluorkowe są z reguły bardziej toksyczne niż chlorkowe lub bromkowe, natomiast pochodne cyjankowe bardziej toksyczne niż rodankowe. Dla podstawników alkoksylowych toksyczność wzrasta w szeregu: pochodne metoksyłowe, etoksyłowe, n-propoksyłowe, izo-propoksyłowe. Natomiast ze wzrostem długości łańcucha węglowego w podstawnikach alkilowych toksyczność spada. Grupy alkiloamidowe powodują tym większe właściwości trujące, im bardziej rozbudowane przestrzenie są ich grupy alkilowe. Tak więc grupa diizopropylamidowa bardziej zwiększa toksyczność związku fosforoorganicznego niż obecność grupy dimetyloamidowej. W niektórych związkach występują podstawniki fenoksyłowe. Właściwości trujące tych pochodnych są jednak słabsze niż związków z podstawnikami wcześniej wymienionymi.

3. Charakterystyka wybranych FOST grupy G

Sarin O-izopropylometylofluorofosfonian, ester izopropylowy kwasu metylofluorofosfonowego, ozn. wojskowe: USA-GB, Niemcy-Sarin, Trilon 144, Trilon 46. Sarin jest bezbarwną, pozbawioną zapachu cieczą: t_w , 424,5 K, t_{top} , 216 K, gęstość od 1,1102 do 1,0943 g·cm⁻³ w temp. 293 K, $C_{max} = 11,3$ mg·dm⁻³. Pary sarinu są blisko pięciokrotnie cięższe od powietrza. Miesza się z wodą w każdym stosunku, dobrze rozpuszcza się w większości rozpuszczalników organicznych, iperycie siarkowym i innych fosforoorganicznych BST.

W warunkach letnich, przy słonecznej, bezwietrznej pogodzie, zachowuje właściwości toksyczne w terenie przez ok. 4 godz. W zimie, w temp. 263 K przy pokrywie śnieżnej, jest trwały przez 1 do 2 dni. Zasięg obłoku powietrza skażonego sarinem jest duży. Bardzo niebezpieczne stężenia występują nawet w odległości 15 do 25 km od miejsca skażenia. Pary sarinu łatwo adsorbują się na różnych materiałach: tkaninach, drewnie, ceglach, betonie itd. Stwarza to niebezpieczeństwo wtórnych skażeń powietrza w wyniku desorpcji, szczególnie w zamkniętych pomieszczeniach. Pary sarinu desorbują z umundurowania w 99% dopiero po 2 godz.

Soman (O-(1,2,2-trimetylopropylo)-metylofluorofosfonian, ester pinakolinowy kwasu metylofluorofosfonowego, ozn. wojskowe USA-GD, Niemcy-Soman, Trilon. Jest bezbarwną cieczą (produkt techniczny ma barwę żółtobrunatną) t_w , 463 K (z rozkładem), $t.t.$ 193÷203 K, gęstość — 1,0131 g·cm⁻³, w temp. 203 K $C_{max} = 3,0$ mg·dm⁻³. Pary somanu są ponad sześciokrotnie cięższe od powietrza. Rozpuszcza się on w wodzie w ilości około 1,5% (w temp. 293 K), jest dobrze rozpuszczalny w rozpuszczalnikach organicznych.

Soman jest substancją względnie trwałą chemicznie, w terenie utrzymuje się dłużej niż sarin. W lecie, w temp. 288 K, przy słonecznej pogodzie i lekkim wietrze, skażenia terenu są trwałe przez 5 dni. W warunkach zimowych przy pokrywie śnieżnej i temp. 263 K jego trwałość ocenia się na kilka tygodni. Pary somanu adsorbują się łatwiej niż pary sarinu. Jest odporny na detonację. Może być stosowany w bombach, pociskach artyleryjskich itp.

Objawy zatrucia somanem są takie jak dla wszystkich paralityczno-drgawkowych FOST. Lekkie zatrucia, z objawami miozy i duszności, pojawiają się w ciągu jednodominutowej ekspozycji przy stężeniu 0,5 µg/dm³. Średnie stężenie obezwładniające ICt50 wynosi 25 mg·min·m⁻³, średnie stężenie śmiertelne LCt50 = 70 mg·min·m⁻³. Śmiertelna dawka doustna dla człowieka to ok. 10 mg. Istnieją duże rozbieżności w wielkościach dawek toksycznych poszczególnych FOST i związane z nimi sposoby udzielania pierwszej pomocy i pomocy lekarskiej.

Innymi związkami, o małym znaczeniu militarnym, wchodzącymi w skład grupy G FOST są: cyklosarin, chlorosarin i etylosarin [1, 2, 4, 6, 7].

4. Otrzymywanie FOST z grupy G

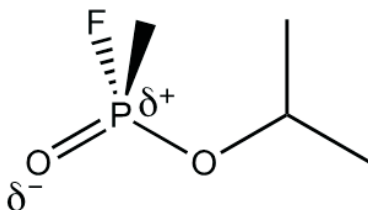
Metody i warunki syntezy FOST grupy G można znaleźć w specjalistycznych wydawnictwach [18, 19]. Metody prowadzenia reakcji syntezy bojowych środków trujących o działaniu paralityczno-drgawkowym, wchodzących w skład grupy związków G, nie są skomplikowane. Między innymi dlatego są one nadal rozważane jako kluczowe składniki nowoczesnej broni chemicznej [1, 5].

5. Właściwości fizykochemiczne związków z grupy G

Fosforoorganiczne paralityczno-drgawkowe związki chemiczne z grupy G są bezbarwnymi cieczami, rzadko ciałami stałymi, dobrze rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych, w wodzie na ogół słabo. Ich lotność jest niewielka, ale z reguły wystarczająca do wytworzenia w atmosferze stężeń par wielokrotnie przewyższających śmiertelne. Mogą być stosowane w postaci aerozolu. Wykazują dobrą odporność na detonację, co daje możliwość ich stosowania w amunicji chemicznej.

6. Likwidacja skażeń związkami grupy G

Charakterystyczną cechą cząsteczek związków fosforoorganicznych jest obecność cząstkowego ładunku dodatniego na atomie fosforu. Jego wielkość jest zależna od rodzaju podstawników, np. w cząsteczce sarinu:

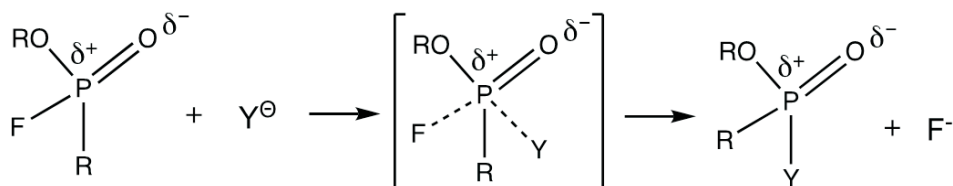


Rys. 4. Uproszczona budowa strukturalna cząsteczki sarinu uwzględniająca rozkład ładunku na atomach tlenu i fosforu

Znaczna polaryzacja wiązań predestynuje związki fosforoorganiczne do reagowania zarówno z odczynnikami nukleofilowymi, jak i elektrofilowymi.

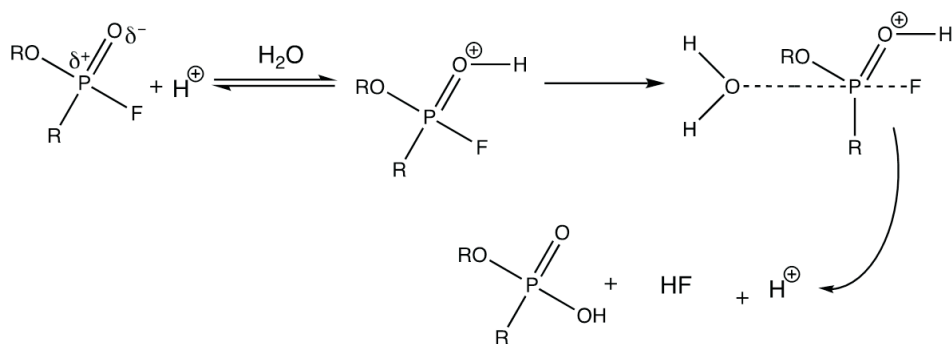
Reakcje podstawienia z odczynnikami nukleofilowymi (Y^\ominus i / lub Nu^-) przebiegają według mechanizmu dwucząsteczkowego (S_N2), którego schemat przedstawiono poniżej:

$R = i-C_3H_7$ — Sarin, $(CH_3)_3CCH(CH_3)_2$ - soman, $Y^\ominus =$ nukleofil.



Rys. 5. Schemat reakcji hydrolyzy związków fosforoorganicznych — podstawienia nukleofilowego

W przypadku hydrolyzy katalizowanej jonami wodorowymi reakcja przebiega według schematu:

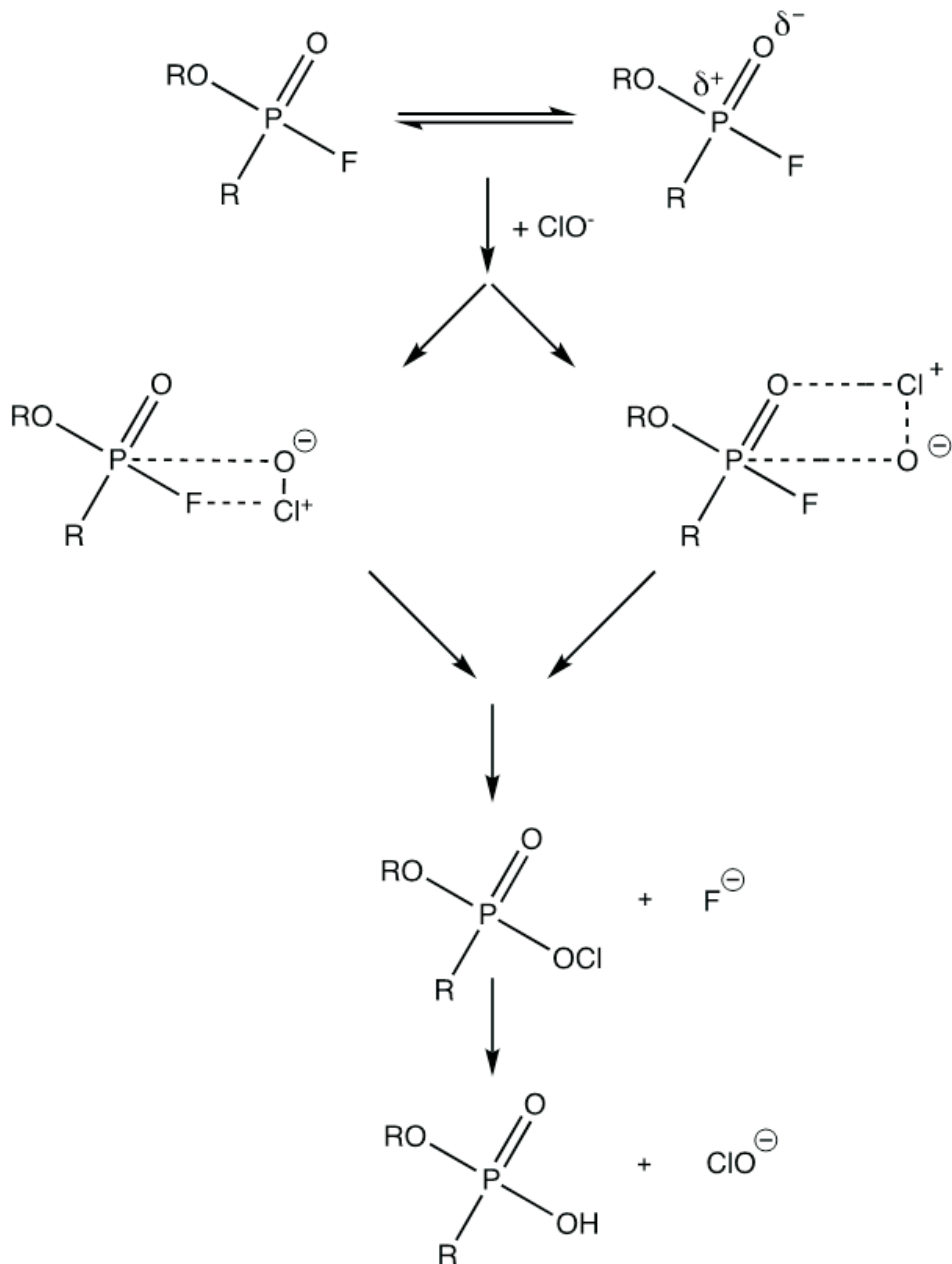


Rys. 6. Schemat reakcji hydrolyzy związków fosforoorganicznych katalizowanej jonami H^+

Wiele substancji wywiera katalityczny wpływ na przebieg hydrolyzy sarinu, skracając jej półokres od kilku do kilkunastu minut (w zwykłej temperaturze i przy pH ok. 7). Należą do nich podchloryny, jony nadtlenkowe, kwasy hydroksamowe i niektóre związki kompleksowe metali, alkoholany, fenolany i wiele innych. Wszystkie ww. substancje są skuteczne w roztworach wodnych i nadają się do odkażania.

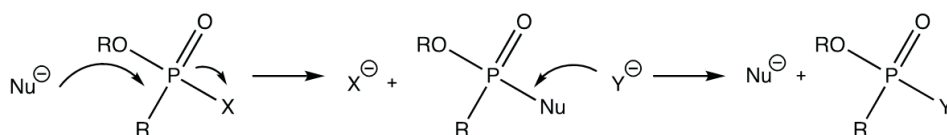
Tabun jest mało odporny na działanie środowiska. W temperaturze 280,15 K okres jego połowicznego rozkładu wynosi ok. 5 godz. W procesie hydrolyzy powstają nietoksyczne estry kwasu fosforowego i cyjanek wodoru. Toksyczny cyjanek wodoru przekształca się względnie łatwo w substancje nietoksyczne: kwas mrówkowy i jego sól sodową.

Jon podchlorynowy może zachowywać się podczas likwidacji skażeń zarówno jako odczynnik elektrofilowy, jak i nukleofilowy:



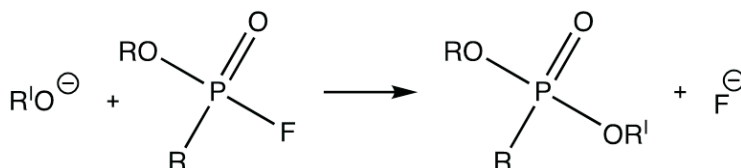
Rys. 7. Schemat reakcji hydrolizy związków fosforoorganicznych w obecności jonów podchlorynowych

Szczególną rolę w procesach likwidacji skażeń odgrywa reakcja hydrolizy, w której odczynnikiem nukleofilowym jest woda. Przy czym, ze względu na małą nukleofilowość wody, w hydrolizie FOST wykorzystuje się katalizatory nukleofilowe — np. jon hydroksylowy. Oznaczając katalizator nukleofilowy przez Nu^- , można tego typu reakcję przedstawić schematem:



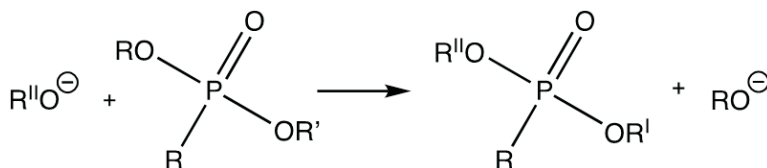
Rys. 8. Schemat reakcji hydrolizy związków fosforoorganicznych w obecności odczynników nukleofilowych

W przypadku gdy do likwidacji skażeń FOST stosuje się roztwory alkoholów metali alkalicznych, to reakcja prowadzi do estryfikacji wiązania P-X:



Rys. 9. Schemat reakcji hydrolizy związków fosforoorganicznych w obecności alkoholów

Jednocześnie wymianie może ulegać grupa alkoksylova:



Rys. 10. Schemat reakcji hydrolizy związków fosforoorganicznych w obecności alkoholów (cd.)

7. Zakończenie

FOST grupy G stanowią jedną z trzech grup paralityczno-drgawkowych bojowych środków trujących. Oddziaływanie toksyczne nie ogranicza się tylko do skutków natychmiastowych, ale występują także objawy długoterminowe, wynikające z oddziaływania niskich dawek poniżej wielkości dawek toksycznych. Z pewnością wymagają

one dalszych badań nie tylko fizykochemicznych, lecz także biochemicznych. Grupa G związków fosforoorganicznych powinna stanowić punkt wyjścia dla powyższych.

Wiedza uzyskana w wyniku postulowanych powyżej badań pozwoli na opracowanie i wprowadzenie nowych generacji indywidualnych środków ochrony przed skażeniami oraz udoskonalenie zasad udzielania pomocy poszkodowanym w wyniku ekspozycji na ich oddziaływanie.

Artykuł sfinansowano ze środków własnych autorów.

Artykuł wpłynął do redakcji 18.02.2019 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] KONOPSKI L., *Historia broni chemicznej*, Bellona, Warszawa, 2009.
- [2] CRODDY E., PEREZ-ARMENDARIZ C., *Chemical and Biological Warfare*, Springer Science & Business Media, 2002.
- [3] PARKER J., *Fabryki śmierci*, Wydawnictwo Colori, Warszawa, 1999.
- [4] WITKIEWICZ Z., *1000 słów o chemii i broni chemicznej: praca zbiorowa*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1987.
- [5] GUPTA R.C., *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*, Academic Press, 2015.
- [6] ELLISON D.H., *Handbook of Chemical and Biological Warfare Agents. Second Edition*, CRC Press, 2007.
- [7] HOENIG S.L., *Compendium of Chemical Warfare Agents*, Springer Science & Business Media, 2006.
- [8] SIKORSKI W., *Przyszła wojna: jej możliwości i charakter oraz związane z nim zagadnienia obrony kraju*, TAIWPN Universitas, Kraków, 2010.
- [9] GROEHLER O., *Der lautlose Tod*, 5, überarb. Aufl. ed. Berlin: Verl. der Nation, 1990.
- [10] KERSHAW I., *Hitler 1936-1945: Nemesis*, Penguin Books, Toronto, 2001.
- [11] BULLOCK A., *Hitler: a study in tyranny*, Rev. ed. ed. Harmondsworth Middlesex: Penguin, 2005.
- [12] SPEER A., *Vospominaniia*, Moskva: Zakharov, 2010.
- [13] FEST J., *Speer: biografia*, Fest Alexander Verlag, 1999.
- [14] LONGDEN S., *T-Force: the race for Nazi war secrets, 1945*, Constable, London, 2010.
- [15] TUCKER J., *War of nerves: chemical warfare from World War I to al-Qaeda*, Princeton, N.J.: Recording for the Blind & Dyslexic, 2006.
- [16] CHURCHILL W., *Memoirs of the Second World War: an abridgement of the six volumes of The Second World War with an epilogue by the author on the postwar years written for this volume*, [Pbk. ed.]. ed. Boston: Houghton Mifflin, 1990.
- [17] CHURCHILL W., *The Second World War: abridged edition with an epilogue on the years 1945 to 1957*, Bloomsbury revelations edition, ed. 2013.
- [18] LEDGARD J., *The laboratory history of chemical warfare agents*, 2nd ed. ed. [South Bend IN]: [Paranoid Publications Group], 2006.
- [19] GROCHOWSKI J., *Chemia środków trujących*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 1973.

M. KLOSKE, Z. WITKIEWICZ

Chemical weapon in the 20th and 21st centuries.

Part 2. Nerve agents – G group

Abstract. The aim of this publication is to review the state of the art in the field of chemical weapons. It contains the knowledge about the G group of chemical compounds that are part of the phosphorous-organic combat paralytic and seizure poisonous agents from their discovery to 1970. G group compounds are also referred to as G series compounds, G compounds, G-gases, G gases, are a subgroup of paralytic-convulsant combat poisonous agents that inhibit acetylcholinesterase. The paper contains basic data on this group of compounds, still considered as an important component of chemical weapons.

Keywords: Phosphororganic chemical agents, chemical weapon, II World War, post-war period, Cold War

DOI: 10.5604/01.3001.0013.5560

