

# BOJNI OTROVI I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ

---

**Kajtuzović, Leon**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:563971>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Leon Kajtuzović

# **Bojni otrovi i njihov utjecaj na okoliš**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and protection department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Leon Kajtuzović

# **Chemical warfare agents and their impact on the environment**

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Leon Kajtuzović

# **Bojni otrovi i njihov utjecaj na okoliš**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc. Jasna Halambek v.pred

Karlovac,2021



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:  
602-11/\_\_\_-01/\_\_\_

Ur.broj:  
2133-61-04-\_\_\_-01

Datum:

## **ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA**

Ime i prezime	<b>Leon Kajtuzović</b>		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta			
JMBAG			
Studij (staviti znak <b>X</b> ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Stručni studij sigurnosti i zaštite		
Godina upisa			
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: <b>Bojni otrovi i njihov utjecaj na okoliš</b>	
Naslov teme na engleskom: <b>Chemical warfare agents and their impact on the environment</b>	
Opis zadatka:  U završnom radu dati će se pregled bojnih otrova i njihovih osnovnih svojstava, te djelovanja na ljudski organizam. Posebno će se kroz pregled dostupne literature dati uvid u ponašanje i kemizam djelovanja bojnih otrova, posebice kemijskih bojnih otrova na okoliš, s obzirom da su velike količine istih skladištene namjerno ili nenamjerno stavljene u okoliš (voda i tlo).	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam svoj završni rad pod naslovom *Bojni otrovi i njihov utjecaj na okoliš* izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu stručnu i znanstvenu literaturu.

Želio bih se zahvaliti svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu, a posebno mojoj mentorici dr.sc. Jasni Halambek na svim prenesenim znanjima na uloženom strpljenu i vremenu te na svim prenesenim znanjima.

Isto tako bi se želio zahvaliti mojim prijateljima i obitelji na svojoj pruženoj podršci jer bez njih moje školovanje ne bi bilo moguće.

Leon Kajtuzović

## SAŽETAK

Danas u 21. stoljeću unatoč postojanju brojnih konvencija i organizacija koje reguliraju uporabu i proizvodnju kemijskog oružja, ono i dalje postoji te predstavlja opasnost ne samo za zdravlje ljudi već i za okoliš. Nakon Drugog svjetskog rata, najjednostavniji i najjeftiniji način uklanjanja bojnih otrova bilo je njihovo pohranjivanje u mora i oceane. Bojni otrovi se u ovakvom okruženju razgrađuju, a produkti njihove razgradnje mogu biti itekako otrovni i utjecati na morske ekosustave, posebice u područjima s razvijenim ribolovom. Stoga je cilj ovog završnog rada dati pregled korištenih bojnih otrova u dosadašnjim sukobima, njihova osnovna svojstva i djelovanja na ljudski organizam, te pokušati analizirati njihovu razgradnju u okolišu i utjecaj na materijale, odnosno ekološke implikacije kemijskog ratovanja.

**Ključne riječi:** krvni bojni otrovi, okoliš, plikavci, zagušljivci, živčani bojni otrovi.

## **SUMMARY**

Today in the 21<sup>st</sup> century, despite the existence of numerous conventions and organizations that regulate the use and production of chemical weapons, they still exist and pose a danger not only to human health but also to the environment. After World War II, the simplest and cheapest way to remove war poisons was to store them in the seas and oceans. War poisons decompose in such an environment, and the products of their decomposition can be very toxic and affect marine ecosystems, especially in areas with developed fishing. Therefore, the aim of this final paper is to give an overview of the war poisons used in previous conflicts, their basic properties and effects on the human body, and try to analyze their degradation in the environment and impact on materials and environmental implications of chemical warfare.

**Keywords:** blister agents, blood agents, choking agents, environment, nerve agents.



## Sadržaj

<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA.....</b>	<b>I</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ŽIVČANI BOJNI OTROVI .....</b>	<b>3</b>
2.1. SARIN.....	4
2.2. TABUN .....	7
2.3. SOMAN .....	11
2.4. VX .....	13
2.5 DJELOVANJE ŽIVČANIH BOJNIH OTROVA .....	16
<b>3. KOŽNI BOJNI OTROVI (PLIKAVCI).....</b>	<b>17</b>
3.1. IPERIT .....	17
3.2. DUŠIKOV IPERIT.....	20
3.3. LUIZIT .....	21
3.4. DJELOVANJE KOŽNIH BOJNIH OTROVA (PLIKAVACA).....	23
<b>4. ZAGUŠLJIVCI.....</b>	<b>25</b>
4.1. FOSGEN.....	25
4.2. DIFOSGEN .....	27
4.3. KLOR .....	29
<b>5. KRVNI BOJNI OTROVI .....</b>	<b>30</b>
5.1. ARSIN.....	30
5.2. CIJANOVODIČNA KISELINA .....	32
5.3. KLORCIJAN .....	34
<b>6. UTJECAJ BOJNIH OTROVA NA OKOLIŠ.....</b>	<b>35</b>
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>39</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>40</b>
<b>9. POPIS PRILOGA.....</b>	<b>42</b>
9.1. POPIS SLIKA .....	42
9.2. POPIS TABLICA .....	42

# 1. UVOD

Bojni otrovi su otrovne tvari koje se u ratu rabe kao vrsta kemijskog oružja. Služe za ubijanje, onesposobljivanje i kontaminaciju ljudi, životinja i biljaka te kontaminaciju zemljišta i objekata. Bojni otrovi u ljudski organizam mogu dospjeti ili u kontaktu s kožom, udisanjem, konzumacijom hrane ili direktnim ubrizgavanjem u krvotok. Glavna su komponenta kemijskog ratovanja i njima se djeluje u borbi različitim vrstama oružja i lansirnih sredstava, od ručnih bombi, granata, mina do kemijskih bombi i raznih zrakoplova. Uglavnom se radi o tekućinama, a rjeđe o plinovima i čvrstim tvarima. Bojni otrovi se prema otrovnosti dijele na smrtonosne, koji su namjenjeni ubijanju ljudi i životinja i one nesmrtonosne koji su namjenjeni onesposobljavanju ljudi.

Prema načinu djelovanja dijele se na:

- živčane bojne otrove (tabun, sarin, soman, VX) koji stvaraju teške živčane poremećaje i smrt
- kožne bojne otrove odnosno plikavce (iperit, dušikov iperit, luizit) koji razaraju kožno tkivo i izazivaju plikove na koži koji uzrokuju smrt
- zagušljivce (klor, fosgen, difosgen) koji uzrokuju gušenje te mogu dovesti do prestanka disanja
- krvne bojne otrove (arsin, cijanovodična kiselina, klorcijan) koji se adsorbiraju u tijelo kroz tkivo i dolaze do krvi [1].

Uporaba i proizvodnja bojnih otrova u ratne svrhe prvi put je zabranjena Haškom konvencijom 1899. godine. Iako je njihova primjena bila zabranjena bojni otrovi koristili su se najviše u Prvom svjetskom ratu u sukobima između Njemačke i Francuske. Prva veća upotreba bojnog otrova dogodila se kod Francuskog gradića Ypresa 1915. godine, kada je njemačka vojska ispustila 5370 boca klora na francuske trupe. Napad je donio trenutni uspjeh, ali je problem bio u tome što su neophodni bili povoljni vremenski uvjeti. Zato su francuska i britanska vojska kao protuodgovor počeli sa upotrebom fosgena koji se šest puta toksičniji od klora, a Njemačka je počela sa upotrebom difosgena. Premda je Ženevsom konferencijom 1925. godine opet zabranjena upotreba vojnih otrova, vojne sile su ih nastavljale upotrebljavati. Talijanska je vojska u invaziji na Abesiniju (današnju Etiopiju) upotrebljavala zagušljivce i plikavce, a Japan je u ratu s Kinom upotrebljavao iperit [2].

Nakon Drugog svjetskog rata, najjednostavniji i najjeftiniji način uklanjanja bojnih otrova bilo je njihovo pohranjivanje u mora i oceane. Ovakav postupak izazvala je zabrinutost da bi Nijemci, nakon poraza 1945., mogli doći u iskušenje da iskoriste dio svog arsenala, koji je iznosio 296.103 tone. Stoga je oružje zarobljeno i bačeno u more. Također, u periodu od 1945. do 1970. godine u more je izbačena velika količina kemijskog oružja, odnosno dokazano je da se nalaze u svim oceanima osim na Arktiku, a najveće količine izbačene su na baltičkom području [3].

Do danas je većina zemalja koje su posjedovale kemijsko oružje, a ujedno su i pristupnice Konvencije o zabrani kemijskog oružja (engl. Chemical Weapons Convention – CWC) proces uništavanja kemijskog oružja provelo pod nadzorom Organizacije za zabranu kemijskog oružja (engl. Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons – OPCW).

Danas u 21. stoljeću unatoč postojanju brojnih konvencija i organizacija koje reguliraju uporabu i proizvodnju kemijskog oružja, ono i dalje postoji te predstavlja opasnost ne samo za zdravlje ljudi već i za okoliš, odnosno njihova uporaba u ratovima i sukobima u prošlosti nanijela je već do sada velike štete ekosustavima [4].

Stoga je cilj ovog završnog rada dati pregled korištenih bojnih otrova u dosadašnjim sukobima, njihova osnovna svojstva i djelovanja na ljudski organizam, te pokušati analizirati njihovu razgradnju u okolišu i utjecaj na materijale, odnosno ekološke implikacije kemijskog ratovanja.

## 2. ŽIVČANI BOJNI OTROVI

Živčani agensi povezani su s organofosfatnim pesticidima. Postoje dvije skupine, takozvani G-agensi i V-agensi. Najvažniji G-agensi su sarin (GB), soman (GA) i tabun (GA), a kod V skupine najzastupljeniji je VX. Glavne karakteristike živčanih bojnih otrova su vrlo brzo djelovanje i visoka toksičnost. Nakon II. svjetskog rata u SAD-u su se, na temelju istraživanja obavljenih u Njemačkoj, provodila laboratorijska istraživanja i razrađivale tehnologije za proizvodnju živčanih bojnih otrova. Amerikanci su tim otrovima dali i posebne oznake: tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), a prvo slovo u oznaci za svaki živčani bojni otrov označava njegovo njemačko porijeklo [5].

Živčani agensi su tekućine na sobnoj temperaturi i do izloženosti dolazi u dodiru s tekućinom ili udisanjem aerosola ili pare. G agensi značajno su nestabilniji od V agenasa, pa je tako GB najhlapljiviji. V-agensi su uljni i postojani i mogli bi ostati u kontaminiranom području tjednima. Izlaganje živčanim agensima moguće je i unosom kontaminirane vode i hrane.

Seriju G sintetizirali su njemački kemičari tijekom Drugog svjetskog rata. Ova serija tvari uključuje tabun (GA, proizveden 1936), sarin (GB, proizveden 1939) i soman (GD, proizveden 1944). Ova tri njemačka živčana sredstva, tzv. G-seriju saveznici su na kraju Drugog svjetskog rata zaplijenili u velikim količinama. To su postojani spojevi organofosfora, te svi osim tabuna sadrže atom fluora umjesto OH skupine. Učinak ovih sredstava temelji se na inhibiciji enzima acetilkolinesteraze. Ovisno o težini trovanja, najčešće se javljaju sljedeći simptomi: glavobolja, mučnina s povraćanjem i proljevom, bol u očima, umor, napadaji, drhtavica, trzanje mišića, nekontrolirano mokrenje i stolica, otežano disanje, anksioznost, napetost, zbunjenost i nesvijest. U konačnici, smrt nastupa paralizom disanja. Protuotrovi u hitnoj medicinskoj opremi vojnika NATO -a sadrže atropin kao antikolinergik i enzimske reaktivatore poput trimedoksim bromida i obidoksim klorida [6].

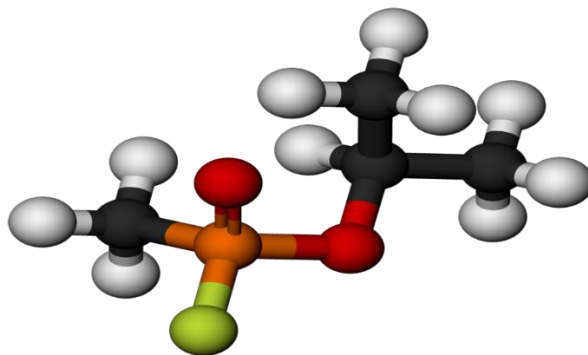
## 2.1. SARIN

Sarin su otkrili 1938. godine njemački znanstvenici iz IG Farbena slučajno, a cilj im je bio stvoriti postojanije i efikasnije pesticide. Sarin je najotrovniji od četiri živčana sredstva G-serije koje je proizvela Njemačka, a dobio je ime u čast svojih otkrivača: **Schrader**, **Ambros**, **Ritter** i **Linde** [5].

Sarin (GB) je iznimno otrovan sintetski organski fosforni spoj. Nije zapaljiv i reagira s vodom i vodenom parom uz stvaranje korozivnih i toksičnih para. Bezbojna je tekućina bez mirisa i okusa. Sarin ima visoku hlapljivost u odnosu na ostale živčane bojne otrove, stoga se vrlo lako unese u organizam udisanjem, no čak može prodrijeti i u kožu. Odjeća osobe koja je bila u kontaktu sa sarinom, može otpuštati sarin otprilike 30 minuta nakon prvobitnog kontakta, što u konačnici može dovesti do izloženosti drugih ljudi. Stupanj škodljivosti mu je 4, što znači da pri vrlo kratkotrajnom djelovanju može izazvati smrt ili trajnu oštećenost organizma čak i ako se brzo pruži medicinska pomoć. Sarin je vrlo stabilan kemijski spoj, ali pri višim temperaturama postaje nestabilan [7].

Ovisno o načinu djelovanja na organizam, izloženosti, trajanju i koncentraciji simptomi djelovanja mogu biti sljedeći: poremećaji vida, glavobolja, iscjedak iz nosa i kongestija, suženje zjenica, mučnina, gubitak ravnoteže, povraćanje, ukočenost, tjeskoba, stezanje u prsima, ošamučenost, grčevi u truhu, drhtavica, stezanje mišića i nekontrolirano mokrenje. Prilikom udisanja para letalna koncentracija je  $70 \text{ mg min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , a u slučaju dodira tekućine s kožom letalna doza ( $LD_{50}$ ) je 1700 mg na 70 kg tjelesne mase.

U terorističke svrhe sarin je upotrijebljen u Japanu 1995. god., u tokijskoj podzemnoj željeznici, kad ga je teroristička sekta donijela uz pomoć priručnih sredstava (tetrapak - ambalaže za napitke i hranu) te je vrhovima (oštricama) kišobrana oslobodila njegovo ispuštanje (hlapljenje) u prostor podzemne željeznice. Kako sarin hlapi podjednako brzinom kao i voda, a dnevna temperatura zraka je taj dan bila relativno visoka, veoma je brzo došao u atmosferu. To je klasičan primjer terorističke primjene bojnog otrova iz kućne radinosti koji je imao za posljedicu 5500 otrovanih od kojih je 11 umrlo [8].



**Slika 1.** Kemijska struktura sarina [5].

**Tablica 1.** Kemijska i fizikalna svojstva sarina [7].

SARIN	
Kemijska formula	$C_4H_{10}FO_2P$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	107-44-8
Relativna molekulska masa	140,09 g/mol
Fizički oblik	Bezbojna tekućina
Miris	U čistom obliku bez mirisa
Talište	-56°C
Vrelište	158°C
Gustoća(25°C)	1,0887 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	2,9 mm Hg
Hlapljivost(25°)	22000 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća para prema zraku	4,86
Plamište	Nema

Reaktivnost	Reagira s vodom I vodenim parama uz stvaranje toksičnih I korozivnih para
$LD_{50}$ (dermalno)	24 mg/kg
$LD_{50}$ (intravenozno)	0,014 mg/kg
$LCt_{50}$ (udisanjem)	100 mg – min/m <sup>3</sup> (u mirovanju),70 mg min/m <sup>3</sup>
$LCt_{50}$ (dermalno)	15000 mg min/m <sup>3</sup> (kroz odjeću),12000 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita i transport	
Osobna zaštitna sredstva	Pri radu u atmosferi koja sadrži manje od 0,0001 mg m <sup>-3</sup> sarina treba u pripremi masku s potpunom zaštitom lica i kemijskim filtrom za pročišćavanje zraka. U atmosferi koja sadrži između 0,0001 i 0,2 mg m <sup>-3</sup> sarina treba upotrebljavati izolacijski aparat s potpunom zaštitom lica i dovodom čistog zraka pod pozitivnim tlakom. U slučaju potrebe brzog napuštanja prostora s kontaminiranom atmosferom može se upotrijebiti maska s potpunom zaštitom lica i kemijskim filtrom za pročišćavanje zraka. Kemijske zaštitne naočale i štitnik za lice služe za zaštitu od prskanja tekućine. Za zaštitu tijela i ruku dovoljni su zaštitni laboratorijski ogrtač i zaštitne rukavice od butilgume
Detoksikacija i dekontaminacija	Najbolje rezultate u dekontaminaciji pokazali su natrijev hidroksid, amonijak, vodikov peroksid, natrij hipoklorit i izosan-G. Prolivena tekućina koja sadrži sarin posipa se dijatomejskom zemljom ili suhim pjeskom ili se prekrije papirom i ručnicima. Materijal se natopi otopinom natrijeva hidroksida i stavi se na komad čvrstog polietilena i prenese u propisno označen kontenjer

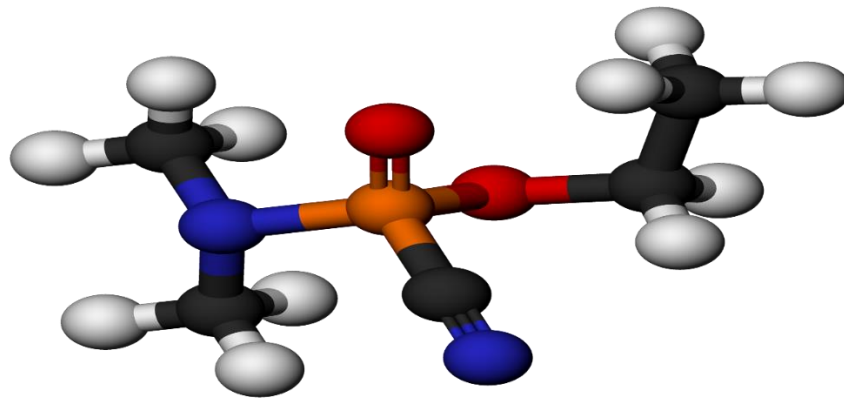
	<p>s poklopcem koji se može odvojiti. Materijal u kontenjeru natopi se još jedanput s 10%-tnom otopinom NaOH i kontenjer hermetizira poklopcem. Vanjska površina hermetiziranog kontejera dekontaminira se 10%-tnom otopinom NaOH. Materijal treba ostaviti u hermetiziranom kontenjeru da stoji oko jedan sat uz povremeno protresanje.</p> <p>Različiti metalni oksidi su se pokazali kao značajna sredstva dekontaminacije</p>
Prijevoz	<p>Sarin je tekućina koja se pri prijevozu i transportu označava kao tvar klase 6.1(otrovi). Motorno vozilo kojim se prevoze spremnici sa sarinom treba prikladno označiti bez obzira na količinu koja se prevozi. Prijevoz se odvija uz pratnju, a vozač mora znati što prevozi i kako postupiti u slučaju nesreće</p>
Postupci u izvanrednim situacijama	<p>Ako u prostoru u kojem se radi sa spremnicima sarina dođe do proljevanja potrebno je da sve osobe koje se nalaze u tom prostoru hitno napuste prostor koristeći zaštitne maske s pripadajućim filtrom za pročišćavanje zraka.</p> <p>Pri izlasku se trebaju paziti da ne dođu u kontakt s prolivenom tekućinom.</p>

## 2.2.TABUN

Tabun (CA) je bistra, bezbojna do tamno smeđa tekućina. Tabun ima miris koji podsjeća na gorke bademe. Izloženost tabunu može uzrokovati smrt za samo nekoliko minuta. Tabun kao i svi živčani bojni agensi djeluje slično kao i organofosfatni pesticidi koji ometaju normalnu funkciju živčanog sustava. Tabun se vrlo brzo može apsorbirati u tijelo udisanjem, gutanjem i u dodiru s očima i kožom premda je gutanje nije uobičajen način izlaganja. Simptomi trovanja tabunom mogu biti: mučnina, povraćanje, proljev, bolovi u trbuhu, grčevi, konjuktivitis, zamagljen vid, curenje iz

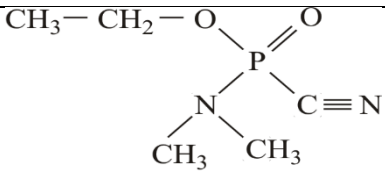


nosa, suženje dišnih putova, otežano disanje (dispneja), trzanje mišića, paraliza i prestanak disanja. Sumnja na trovanje tabunom liječi se s tri injekcije protuotrova atropina. Protapam klorid također djeluje kao protuotrov ali se mora primjeniti unutar nekoliko minuta nakon izlaganja kako bi bio učinkovit. Tabun je prvi otkriveni živčani agens nakon što je svojstvo ove kemikalije slučajno otriveno u siječnju 1936.godine. Otkrio ga je njemački istraživač Gerhard Schrader koji je eksperimentirao s organofosfatima koji ubijaju insekte prekidajući njihov živčani sustav, kako bi stvorio učinkovitiji insekticid. Ispostavilo se da je tabun osim što je snažan insekticid, iznimno otrovan za ljude. Prilikom zagrijavanja, pare tabuna mogu stvarati eksplozivne smjese sa zrakom, što predstavlja opasnost od eksplozije u otvorenom i zatvorenom prostoru i u kanalizaciji. Tabun je zapaljiv, pri čemu može doći do razvoja nadražujućih, nagrizaćućih i otrovnih plinova. U kiselim uvjetima tabun se hidrolizira i tvori fluorovodičnu kiselinu, a isto tako lako reagira s bazama i kiselinama [9].



**Slika 2.** Molekulska struktura tabuna [5].

**Tablica 2.** Kemijska i fizikalna svojstva tabuna [10].

TABUN	
Kemijska formula	$C_5H_{11}N_2O_2P$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	77-81-6
Relativna molekulska masa	162,1
Fizički oblik	Bezbojna do smeđa tekućina
Miris	Gorki bademi
Talište	-50°C
Vrelište	220-246
Hlapljivost(25°)	490 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(25°C)	1,077 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	0,057 mm Hg
Gustoća para prema zraku	5,6
Plamište	77,8°C
Reaktivnost	<p>Pare tabuna stvaraju eksplozivne smjese sa zrakom, lako reagira s bazama i kiselinama.</p> <p>Hidrolizom nastaje vodikov cijanid.</p>
$LD_{50}$ (dermalno)	14-21 mg/kg
$LD_{50}$ (intravenozno)	0,014 mg/kg
$LCt_{50}$ (udisanjem)	200-400 mg – min / m <sup>3</sup> (u mirovanju), 135-150 mg min/m <sup>3</sup>
$LCt_{50}$ (dermalno)	20000-40000mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Osobna zaštitna sredstva ovise o razini opasnosti. U hitnim slučajevima treba nositi samostalni aparat za

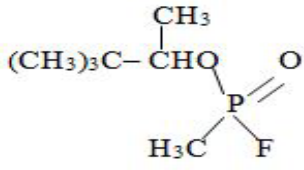
	<p>disanje s potpunim pritiskom, tlakom zraka ili respiratorom sa dovodom zraka i potpuno zatvoreno odijelo, rukavice, zaštitna odijela, čizme otporne na kemikalije.</p>
<p>Detoksikacija i dekontaminacija</p>	<p>Preporučljivo je držati zapaljive tvari dalje od prolivenog sredstva. Potrebno je koristiti vodeni sprej za smanjenje para ili preusmjeravanje zanošenja oblaka pare. Izbjegavati da voda koja otječe dođe u dodir s prolivenim sredstvom, zaustaviti curenje ako je to moguće bez opasnosti za osoblje, spriječiti ulazak u vodene tokove, kanalizaciju, podrumne ili zatvorena područja, izolirati područje dok se plin ne rasprši te potom treba prozračiti prostor.</p> <p>Najbolje tvari za dekontaminaciju pokazale su se natrijev hidroksid, amonijak i natrijev karbonat.</p>
<p>Prijevoz</p>	<p>Tabun je tekućina koja se pri prijevozu i transportu označava kao tvar klase 6.1(otrovi). Motorno vozilo kojim se prevoze spremnici sa sarinom treba prikladno označiti bez obzira na količinu koja se prevozi. Prijevoz se odvija uz pratnju, a vozač mora znati što prevozi i kako postupiti u slučaju nesreće</p>
<p>Postupci u izvanrednim situacijama</p>	<p>Prilikom dodira tabuna sa kožom ili odijelom važno je brzo skinuti odijelo s pacijenta te isprati kožu sapunom. Potrebno je imati dostupne dekontaminatore (izbjeljivači, lužine) i atropin. Prašak za izbjeljivanje uništava tabun ali stvara cijanid klorid koji se može ugasiti alkoholnom pjenom ugljičnim dioksidom.</p>

### 2.3. SOMAN

Soman (GD) je bistra, bezbojna tekućina koja sa stajanjem mijenja boju od bezbojne do tamnosmeđe. Ispušta bezbojnu paru i ima miris poput kamfora koji sadrži naftalin ili pokvareno voće. Hidrolizom nastaje vodikov fluorid i netoksični derivat fosforne kiseline. Brzo se hidrolizira vodenom otopinom natrijevog hidroksida. Soman je zapaljiv, sredstvo može izgorjeti, ali se ne zapali odmah. Soman se laganim zagrijavanjem pretvara u plin [10].

Nakon ispuštanja somana u zrak, ljudi vrlo brzo mogu biti izloženi kontaktu s kožom, s očima ili udisanjem. Lako se mješa s vodom tako da ljudi mogu biti izloženi otrovanju ispijanjem zagađene vode. Soman se može unijeti u organizam hranom i preko kontaminirane odjeće tako da odjeća može osloboditi soman nakon dodira s njegovom parom, što može dovesti do izloženosti drugih ljudi, a budući da su pare somana teže od zraka, potonuti će u nizinska područja i tamo stvoriti veću opasnost od izloženosti. Iako soman može imati miris kamfora ili voća, miris se u određenim koncentracijama neće primjetiti da bi upozorio ljude na izloženost. Ljudi izloženi niskoj koncentraciji somana udisanjem, gutanjem ili upijanjem kroz kožu mogu osjetiti simptome već nekoliko sekundi od izlaganja. Neki od simptoma trovanja somanom su nizak ili visok krvni tlak, zamagljen vid, stezanje u prsima, kašalj, pospanost, bol u očima, slabost, kašalj, proljev, prekomjerno znojenje, mučnina, povećano mokrenje, ubrzano disanje, usporen ili ubrzan rad srca i suzne oči. Čak i mala kap somana na koži može uzrokovati znojenje i trzanje mišića na mjestu gdje je soman došao u dodir s kožom. Soman je otkriven u ljeto 1944., tijekom Drugog svjetskog rata po narudžbi njemačke vojske. Soman se pokazao otrovnijim od sarina i tabuna, ali zapravo nikad nije bio korišten u Drugom svjetskom ratu. Interesantno je to da je Konvencija o kemijskom oružju iz 1993. zabranila proizvodnju i skladištenje somana, nakon čega su svjetske sile potvrdile zalihe od 9000 tona somana, a do danas uništeno je više od 85% svih zaliha [11].

**Tablica 3.** Kemijska i fizikalna svojstva somana [12].

SOMAN	
Kemijska formula	$C_7H_{16}FO_2P$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	96-64-0
Relativna molekulska masa	182,17
Fizički oblik	Bezbojna do tamnosmeđa tekućina
Miris	Kamfor koji sadrži naftalin ili trulo voće
Talište	-42°C
Vrelište	198°C
Hlapljivost(25°)	3900 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(25°C)	1,02 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	0,4 mm Hg
Gustoća para prema zraku	6,33
Plamište	121°C
Reaktivnost	Hidrolizom nastaje vodikov fluorid i netoksični derivat fosforne kiseline. Brzo hidrolizira vodenom otopinom natrijeva hidroksida. Kada se zagrije do raspadanja ili reagira s parom, ispušta otrovne pare fluorida i fosforova oksida. Blago nagriza čelik i topljiv je u lipidima.
Brzina djelovanja	Soman djeluje vrlo brzo, smrt nastupa nakon 15 minuta ako se udiše smrtonosna koncentracija.
$LCt_{50}$ (udisanjem)	70 mg min/ m <sup>3</sup>
$LCt_{50}$ (dermalno)	11000 mg min/m <sup>3</sup>

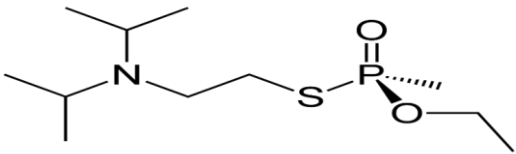
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Pri radu s tabunom potrebno je nositi zaštitno odijelo, rukavice koje su otporne na kemikalije i otrove, masku za lice sa pozitivnim tlakom, čizme s metalnom kapičom i naočale za zaštitu očiju
Detoksikacija i dekontaminacija	U jako kontaminiranim područjima može biti potrebna dekontaminacija površina s otopinom natrijeva hidroksida ili natrijeva karbonata. Preporučljivo je ukloniti porozni materijal posebno obojene površine da ne bi nastavile ispuštati otrovne pare. Pri dekontaminaciji se iznimno korisno pokazalo korištenje getita dopiranog cirkonijem pomoću kojeg je moguće postići gotovo potpunu razgradnju somana.
Postupci u izvanrednim situacijama	Ako u prostoru u kojem se radi s somanom dođe do izljevanja potrebno je evakuirati sve radnike i osoblje pazeći na to da ne dolaze u dodir sa prolivenim sredstvom. Treba zatvoriti sve odvode da proliven otrov nebi zagadio vodu i kanalizaciju. Isto tako treba pripremiti da se što prije skine odjeća ako je kontaminirana da nebi došla u dodir s kožom.

## 2.4. VX

VX ( $C_{11}H_{26}NO_2PS$ ) uljasta tekućina bez mirisa. Boje je jantara i najmanje je hlapljiv od svih živčanih agensa tako da je vrlo postojan što predstavlja veliku opasnost za okoliš i materijale. Pri stabilnim vremenskim uvjetima može trajati nekoliko dana na objektima s kojima je došao u kontakt, a pri hladnom vremenu može trajati i mjesecima. VX je najotrovniji od svih živčanih bojnih otrova. VX se u organizam može unjeti inhalacijom i adsorpcijom kroz kožu. Smatra se da je VX mnogo otrovniji od sarina ulaskom kroz kožu, a nešto otrovniji udisanjem. Jedna kapljica VX-a u dodiru s kožom je smrtnosna. Simptomi trovanja ovisno o dozi se pojavljuju unutar nekoliko minuta do najviše 18 sati nakon izlaganja. VX je prvi put otkriven u Engleskoj u Porton Downu 1950-ih godina na temelju istraživanja koje je proveo kemičar Gerhard Schrader. Postoje

dvije vrste VX-a, ruski i američki, koji se razlikuju po strukturi. Osim što se razlikuju po strukturi razlikuju se i po hlapljivosti. Ruski model je deset puta hlapljiviji od američkog [12].

**Tablica 4.** Kemijska i fizikalna svojstva VX-a [12].

VX	
Kemijska formula	$C_{11}H_{26}NO_2PS$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	50782-69-9
Relativna molekulska masa	267,37
Fizički oblik	Uljasta tekućina boje jantara
Miris	Bez mirisa
Talište	-39°C izračunato, -51 zbog nečistoća
Vrelište	298°C
Hlapljivost(25°)	10,5 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(20°C)	1,006 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	0,0007 mm Hg
Gustoća para prema zraku	9,2
Plamište	159°C
Reaktivnost	U blizini jakih redukcijskih sredstava poput hidrida, VX ispušta otrovne pare fosfina. VX ne reagira brzo s vodom. U kiseloj sredini mu treba čak 200 dana za proces hidrolize, a u lužnatoj 2-3 dana (pH 14).
Brzina djelovanja	Simptomi se pojavljuju u roku nekoliko sekundi do najviše 18 sati. Pretpostavlja se da bi i najmanja

	kapljica VX-a na koži ako se odmah ne ispere bila smrtonosna.
$LCt_{50}$ (udisanjem)	30 mg – min/ m <sup>3</sup> u pokretu, 36 mg – min/ m <sup>3</sup>
$LCt_{50}$ (dermalno)	6 mg min/m <sup>3</sup> , 60 mg min/m <sup>3</sup> preko odjeće
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Pri radu s VX-om potrebno je koristiti zaštitnu opremu koja je slična kao i kod rada sa ostalim živčanim agensima. Treba nositi zaštitnu masku, zaštitne rukavice koje su otporne na kemikalije i potrebno je imati skloništa sa filtroventilacijskim uređajima.
Detoksikacija i dekontaminacija	Dekontaminacija pacijenata vrši se 0,5 %-tnom otopinom natrijeva hipoklorita ili ispiranjem zahvaćenih dijelova sapunom ili vodom. Diazepam i miazolam su se pokazali kao dobri lijekovi za spriječavanje napadaja i konvulzija. Za dekontaminaciju površina koristi se natijev hidroksid i vodikov peroksid.
Postupci u izvanrednim situacijama	Kada dođe do izljevanja sredstva radnici se trebaju evakuirati iz prostorije pazeći da ne dođu u dodir sa razlivenim sredstvo. Radnici i osoblje se trebaju maknuti iz slabo ozračenih, niskih i zatvorenih prostorija zbog opasnosti od širenja para.



## 2.5 DJELOVANJE ŽIVČANIH BOJNIH OTROVA

Živčani agensi, poput organofosfatnih pesticida, stvaraju toksičnost fosforiliranjem i od tuda aktiviraju enzime uključene u razgradnju acetilkolin neurotransmitera. Nakupljanje neurotransmitera uzrokuje početne znakove i simptome trovanja. Do prije 15-ak godina smatralo se da živčani bojni otrovi djeluju na organizam uglavnom akutno, i to inhibirajući enzime živčanog sustava, ponajprije acetilkolinesteraze, dok niske primljene doze ne ostavljaju (vidljive) posljedice na organizam. Međutim, to nije potpuno točno jer postoje i biokemijski mehanizmi koji izazivaju poremećaje u fiziološkim procesima, poremećaj u koncentraciji adenokortikotropnih hormona, a time i svih procesa ovisnih o tim hormonima (posebice u živčanom, reproduktivnom i imunom sustavu) te oštećenja proizvodnje jetrenih enzima i rak jetre [13].

U slučaju terorističkog napada u tokijskoj podzemnoj željeznici naknadnim je analizama utvrđeno da iako je sarin bio vrlo niske kemijske čistoće, velik broj unesrećenih doživio je akutni stresni sindrom. Trovanje živčanim bojnim otrovima i akutni stresni sindrom imaju vrlo slične simptome (hladan znoj, isprekidano disanje, pojačano aritmičko lupanje srca, drhtanje i grčenje mišića, smanjena svijest itd.). Istraživanja na molekularnoj razini potvrdila su da se u stanju jakog akutnog stresa u organizmu trenutačno inhibira acetilkolinesteraza i poremeti koncentracija adenokortikotropnih hormona u krvi, što itekako može napraviti veliku zbrku u zbrinjavanju unesrećenih i medicinskom tretmanu [8].

**Tablica 5.** Simptomi trovanja živčanim kemijskim agensima [11].

<i>Težina</i>	Blagi	Umjereni	Teški
<i>Stanje pacijenta</i>	U mogućnosti je da hoda	Ne može hodati, ali diše spontano	Nemogućnost disanja
<i>Simptomi</i>	Suzenje, lučenje slina, zamagljen vid, bol u očima, kašalj, blaga bradikardija, znojenje, mučnina, povraćanje, bolovi u truhu.	Svi blagi simptomi, otežano disanje, piskanje, stezanje u prsima, proljev, inkontinencija i koma.	Umjereni simptomi, prestanak disanja, epileptički napadaji i slaba paraliza .

### **3. KOŽNI BOJNI OTROVI (PLIKAVCI)**

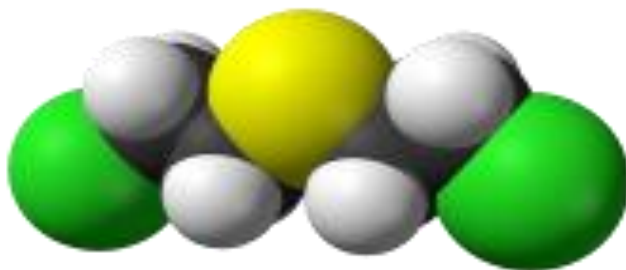
Plikavci su kemijski spojevi koji uzrokuju tešku bol i iritaciju kože, očiju i sluznice. Ime su dobili po sposobnosti da izazovu teške kemijske opekline koje rezultiraju bolnim vodenim plikovima na tijelima oboljelih. Plikavci djeluju udisanjem i kontaktom, djelujući na oči, dišne puteve i kožu najprije nadržujuće pa onda kao otrov. Izloženost plikavcima uzokuje velike i često po život opasne mjehuriće na koži koji nalikuju na teške opekline, a često rezultiraju sljepoćom i trajnim oštećenjem dišnog sustava. Najpoznatiji predstavnici plikavaca su iperit, dušikov iperit i luizit.

#### **3.1. IPERIT**

Iperit (HD) je bistra uljasta tekućina koja ima miris senfa ili češnjaka i sa stajanjem mijenja boju u žutu ili smeđu, poznat pod nazivom 'mustard gas'. Iperit nije lako zapaljiv, a njegove su pare teže od zraka, vrlo su otrovne i mogu se unijeti kroz kožu. Kada se zagrije do raspadanja, ispušta jako otrovne pare sumporovih oksida i spojeva koji sadrže klor. Produkti hidrolize iperita su klorovodična kiselina i tiodiglikol. Na temperaturi od 69°C iperit brzo nagriza mjed i korodira čelik. Pri dodiru s kiselinom ili kiselim parama, ispušta otrovne pare sumporovih oksida i klorida, a pri dodiru s metalima nastaje vodik. Uzrokuje teške opekline očiju, kože i dišnih puteva. Iperit se može apsorbirati u tijelo udisanjem, gutanjem i u dodiru s kožom i očima. Topla i vlažna područja s tankom kožom, sluznice i koža prekrivena znojem jako su osjetljivi na iperit. Oštećuje stanice i roku nekoliko minuta od izlaganja, ali se simptomi pojavljuju satima nakon izlaganja.

Izloženost iperitu u tekućem stanju izazvat će opekline drugog ili trećeg stupnja te kasnije ožiljke. Udisanje para može izazvati kronične respiratorne infekcije ili smrt, što povećava rizik za rak pluća i dišnih puteva. Iperit je prvi pripravio Guthrie 1859. godine, a Nijemci su ga uporabili protiv zemalja Alijanse u Prvom svjetskom ratu u srpnju 1917. godine u bitci za Ypres u Belgiji. Koristio se u Talijanskoj invaziji na Abesiniju, Iransko-iračkom ratu i Drugom japansko-kineskom ratu. Iako je iperit zabranjen da se koristi kao bojno oružje konvencijom iz 1993. godine, islamska ekstremistička organizacija Hamas pokušala je proizvesti iperit i upotrijebiti ga protiv izraelskog stanovništva. Nakon Prvog svjetskog rata iperit se koristio u pokusne svrhe. Koristio se u svrhu

dokazivanja otežavanja i sposobnosti potiskivanja hematopoeze, što se pokazalo uspješnim nakon obdukcije 75 ljudi preminulih od začepjenja krvnih žila. Ubrzo nakon toga se odustalo od njegove primjene u medicini nakon što se liječenje leukemije i Hodgkinsonove bolesti pokazalo neuspješnim [14].



**Slika 3.** Molekularna struktura iperita [5].

**Tablica 6.** Kemijska i fizikalna svojstva iperita [14].

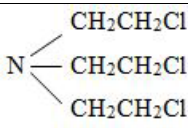
IPERIT	
Kemijska formula	$C_4H_8Cl_2S$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	505-60-2
Relativna molekulska masa	159,08
Fizički oblik	Bezbojna tekućina, sa stajanjem mjenja boju od žute do smeđe
Miris	Senf, češnjak
Talište	13°C do 14°C
Vrelište	215°C-217°C
Gustoća(20°C)	1,2741 $g\ cm^{-3}$
Tlak para(25°C)	0,11 mm Hg
Hlapljivost(20°)	610 $mg/m^3$

Gustoća para prema zraku	5.4
Plamište	104°C do 105°C
Reaktivnost	Reakcijom s metalima nastaje vodik Reakcijom s kiselinama nastaju otrovne pare sumporovih oksida i klora
$LD_{50}$	2-9 mg/kg
$LCt_{50}$ (udisanjem)	1500 mg – min/m <sup>3</sup>
$LCt_{50}$ (dermalno)	10000 mg min/m <sup>3</sup>
<b>Zaštita i transport</b>	
Osobna zaštitna sredstva	Pri rukovanju sa iperitom nužno je koristiti zaštitno odijelo otporno na kemikalije, zaštitnu masku, rukavice i naočale
Detoksikacija i dekontaminacija	Pri izlaganju oči treba odmah ispirati s vodom koliko je podnošljivo ali najmanje barem 15 minuta. Od mogućih tekućina koje su isprobavane voda se pokazala najučinkovitijom. Brzo uklanjanje iperita s kože ključno je jer iperit prodire u kožu nekoliko minuta od izlaganja. Dekontaminacija kože može se provesti osim obilnom količinom vode i 0,5%-tnom otopinom natrijeva hipoklorita ili kompletom za dekontaminaciju kože.
Postupci u izvanrednim situacijama	Pri izlijevanju sredstva treba maknuti sve izvore paljenja i evakuirati sve radnike i osoblje. Ne smiju se dodirivati oštećeni spremnici i prosuti materijal osim ako se ne nosi odgovarajuća zaštitna odjeća. Treba zaustaviti curenje ako se to može učiniti bez rizika po zdravlje. Važno je spriječiti ulazak razlivenog materijala u vodene tokove, kanalizaciju, podrumne ili zatvorena područja. Na kraju prolivenu tekućinu treba pokriti suhom zemljom, pjeskom ili drugim nezapaljivim materijalom i vratiti natrag u spremnike.

### 3.2. DUŠIKOV IPERIT

Dušikov iperit je bezbojna tekućina koja sa vremenom mjenja boju do blijedožute. Ima slabi miris ribe i sapuna, ali je bez mirisa kada je u potpunosti čist. Nije zapaljiv ali se počinje razgrađivati kada je zagrijan na temperaturi od 256°C i kada se zagrije do raspadanja, emitira klorid i dušikove okside. Slabije je topljiv u vodi od iperita i ima slabiju difuzijsku sposobnost. Vrlo se dobro otapa u organskim otapalima, a otopine su u polarnim otapalima nestabilne. Kad se otopi u vodi, jaka je baza. Burno reagira s jakim oksidanskima i kiselinama, napada bakar i spojeve bakra. Prirodno se ne detoksicira u organizmu. Može se apsorbirati u tijelo gutanjem, udisanjem, kontaktom s kožom i očima. Vrlo je otrovna kemikalija i može oštetiti dišne puteve, oči i kožu te remetiti funkciju imunološkog sustava. Brzo se veže i djeluje na stanice tijela, ali se njegovi učinci polako razvijaju. Simptomi se pojavljuju tek nakon nekoliko sati i do najviše 2 dana. Pri dodiru s kožom, crvenilo se razvija unutar nekoliko sati dok se plikovi pojavljuju 6 do 12 sati nakon. U dodiru s očima uzrokuje iritaciju, bol i suzenje, kod većih koncentracija pojavljuje se slijepoća i opekline. Ostali simptomi su: bol u sinusima i nosu, kašalj, grlobolja i otežano disanje nakon samo nekoliko sati te bol u trbuhu, proljev, mučnina, povraćanje, nekordinacija i napadaji. Kad se otopi u vodi, jaka je baza. Burno reagira s jakim oksidanskima i kiselinama, napada bakar i spojeve bakra [10].

**Tablica 7.** Kemijska i fizikalna svojstva dušikovog iperita [15].

DUŠIKOV IPERIT(HN-3)	
Kemijska formula	$C_6H_{12}Cl_3N$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	555-77-1
Relativna molekulska masa	204,53
Fizički oblik	Bezbojna tekućina koja sa vremenom mjenja boju do blijedožute
Miris	Bez mirisa kad je čist
Talište	0,1°C

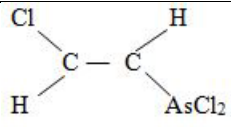
Vrelište	256°C (raspada se)
Hlapljivost(25°)	121 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(25°C)	1,2347 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	0,0109 mm Hg
Gustoća para prema zraku	7,1
Plamište	Jako visoko,nema utjecaja na ratnu primjenu
Reaktivnost	Djeluje kao snažna baza u vodi,kad se otopi u vodi burno reagira s jakim oksidansima i kiselinama, napada bakar i spojeve bakra
LD <sub>50</sub> (per os)	2-5 mg/kg
LCt <sub>50</sub> (udisanjem)	1500 mg – min/ m <sup>3</sup>
LCt <sub>50</sub> (dermalno)	10000 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Kao i kod svim bojnih otrova kao zaštitno sredstvo potrebno je nositi masku za disanje, zaštitne rukavice, naočale, čizme i odijela koji su otporna na djelovanje kemikalija
Detoksikacija i dekontaminacija	Za detoksikaciju treba koristiti tvari kao što su vodikov peroksid, natrij hipoklorit, natrij hidroksid i kloramine

### 3.3.LUIZIT

Luizit (L) je uljasta tekućina ugodnog mirisa na geranij. Bezbojna je kada je čista, ali stajanjem i u svom nečistom obliku može izgledati jantarno do crno. Nije zapaljiva i ne izgara, ali se razlaže kada je zagrijana na temperaturu iznad 100°. Brzo hidrolizira u vlažnom zraku i kao produkt hidrolize se dobiva 2-klorvinilarsinoksid. Luizit se hidrolizira i u bazičnim medijima, kao i pri dekontaminaciji karbonatnom, alkoholnom i hidroksidnom otopinom, pri čemu nastaju trinatrijev arsenat i acetilen [6].

Luizit je iznimno toksičan agens koji zahvaća pluća i cijelo tijelo. Nadražuje oči i sluznicu u koncentracijama koje su ispod praga mirisa, a može prodrjeti čak i kroz gumu stvarajući bolne plikove na koži. Izloženost velikim količinama može biti fatalna, a smrt može nastupiti nakon samo 15 minuta. Brže razara tkivo od iperita, a budući da sadržava arsen ima neke slične učinke trovanja kao što su želučane tegobe i nizak krvni tlak. Pri izloženosti manjim koncentracijama luizita, uzrokuje bol i/ili iritaciju u roku od nekoliko minuta. Proizvodi eritem unutar 15 do 30 minuta s boli i svrbežom nakon 24 sata, a plikovi se pojavljuju nakon 13 sati s boli od 2 do 3 dana. Luizit je prvi pripremio Winford Lee Lewis 1918. godine kao isključivo bojni agens, ali se nikad nije koristio u ratovanju [16].

**Tablica 8.** Kemijska i fizikalna svojstva luizita [15].

LUIZIT	
Kemijska formula	$C_2H_2AsCl_3$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	541-25-3
Relativna molekulska masa	207,31
Fizički oblik	Bezbojna čista, jantarna do crna nečista
Miris	Geranij
Talište	-2,4
Vrelište	190°C (raspada se)
Hlapljivost(20°)	4480 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(25°C)	1,89 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	0,58 mm Hg
Gustoća para prema zraku	7,1
Plamište	Nije zapaljiv
Reaktivnost	Hidrolizira se lužinama, neutralizira se natrijevim hipokloritom
LD <sub>50</sub> (per os)	5-10 mg/kg

$LCt_{50}$ (udisanjem)	1200-1500 $mg - min / m^3$
$LCt_{50}$ (dermalno)	100000 $mg min / m^3$
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Pri manjim koncentracijama treba primjenjivati osnovna zaštitna sredstva a pri većim zaštitna sredstva otporna na Luizit
Detoksikacija i dekontaminacija	Kao sredstvo za detoksikaciju primjenjuje se birtanski Anti-Lewisit, bdimerkaprol kapi koje se vežu za arsen i smanjuju njegovu toksičnost.
Postupci u izvanrednim situacijama	Pri proljevanju luizita treba evakuirati radnike i osoblje pazeći da ne dodu u kontakt s prolivenim sredstvom. Proliveno sredstvo treba vratiti natrag u spremnike i paziti da ne uđe u kanalizaciju i ostala zatvorena područja.

### 3.4. DJELOVANJE KOŽNIH BOJNIH OTROVA (PLIKAVACA)

Učinci iperita i dušičnog iperita su odgođeni. Izloženost parama postaje očita za 4 do 6 sati, a izloženost kože od 2 do 48 sati dok su učinci luizita trenutni. Plikavci lako prolaze kroz kožu i sluznice, a vežu se za stanične strukture unutar 2 minute od izlaganja i stoga je vrlo bitno provesti dekontaminaciju unutar tog vremena. Izrazito su citotoksičnog djelovanja i djeluju kao alkilirajući agensi, dok luizit blokira stanične enzime. Alkiliranjem iperita nastaju vrlo aktivni spojevi etilenimin i etilensulfon koji reagiraju sa staničnim sturkturama kao što su proteini, nukleinske kiseline, nukleoproteini i slični, ometajući njihove fiziološke funkcije. Ometanje DNK je najvažniji učinak. Vrlo velike doze izazivaju genetske mutacije i oštećenje kromosoma slično kao i kod ioniziranog zračenja. Iperit u plinovitom stanju kad dospije u krv raznosi se i nakuplja brzo u tkivima, a zbog svoje lipofilne prirode često se nakuplja u masnom tkivu i mozgu. Prvi simptom nakon izlaganja je svrbež. Eritem se pojavljuje 4 do 12 sati nakon izlaganja, prvo u područjima gdje je koža tanka, topla i vlažna. Lezije napreduju nakon nekoliko sati dovodeći do stvaranja mjehurića u kojima se nalaze bolne vezikule sa žutim sadržajem maksimalno 48 do 72 sata nakon



izlaganja. Klinička slika će pokazati opekline prvog i drugog stupnja. Velike lezija mogu dovesti do komplikacija koje su slične opeklinama u bolesnika s posebnom ranjivošću na sekundarne infekcije. Teške slučajeve treba liječiti u specijalnim jedinicama za opekline i smatrati ih primarnim pacijentima. Izlaganje očiju nadražljivcima može dovesti do konjunktivitisa, fotofobije, suzenja i lezije rožnice. Pri udisanju javljaju se odgode od 4 do 24 sata a rezultat im je akutni bronhitis uz kašljanje, krvavo iskašljavanje, dispneju, i u teškim uvjetima plućni edem, a dosta su česte i sekundarne infekcije. Plikavci su se prvi put koristili u Prvom svjetskom ratu 1915. godine [11].



**Slika 4.** Opekline nastale utjecajem plikavaca [5].

**Tablica 9.** Učinci iperita na respiratornom traktu u iračko-iranskom ratu [8].

Vrijeme	Akutni učinci	Liječenje
2 do 4 sata	Stezanje u prsima, kihanje, suzenje, rinoreja, epistaksa, kašalj	Nema specifične terapije
4 do 16 sati	Bol u sinusima, teška epistaksa	
16 do 48 sati	Neprestani kašalj, tahipnoja, afonija	Simptome ublažava kodein
24 do 48 sati	Teška dispneja, edem pluća	Kortikosteroidi
48 do 72 sata	Pneumonitis	
	<b>Odgodeni učinci</b>	

Nakon 2 godine	Kronični bronhitis, astma, rinofaringitis, laringitis, rekurentni pneumonitis, bronhiektazije	
----------------	---	--

## 4. ZAGUŠLJIVCI

Zagušljivci su smrtonosni bojni otrovi koji oštećuju plućno tkivo i dovode do edema pluća što sprječava sposobnost žrtve za disanje. Djeluju tako da izazivaju nakupljanje tekućine u plućima, što zatim dovodi do gušenja. Udisanje ovih sredstava uzrokuje bol u grlu, kašalj, povraćanje, glavobolju, stezanje i bol u prsima te prestanak disanja.

Glavni predstavnici zagušljivaca su fosgen, difosgen i klor [5].

### 4.1.FOSGEN

Fosgen (CG) je bezbojni plin pri stabilnoj temperaturi i tlaku mirisa zelenih jebuka ili pokošenog sijena. Vrelište mu je pod temperaturom od 8,2°C, što ga čini izuzetno hlapljivim i postojanim. Pare su mu 3,4 puta teže od zraka i stoga se dugo može zadržati u rovovima i drugim niskim područjima. Fosgen je lako topljiv u organskim otapalima. Fosgen lako hidrolizira pri čemu nastaju klorovodična kiselina i ugljikov dioksid. Nastaje toplinskom razgradnjom kloriranih ugljikovodika kao što su kloroform i trikloretilen. Može se naći u industriji organskih materijala kao primjerice boja i polikarbonata. Fosgen je vrlo otrovan i zbog toga što je slabo topljiv u vodi njegov učinak iritacije gornjih dišnih puteva nije posebno izražen. Zbog toga se javlja još veća opasnost po čovjeka, jer se ne javlja mehanizam obrane i izložena osoba ne napušta prostor, već i dalje udiše zrak koji sadrži fosgen [17].

Kod visokih koncentracija fosgena smrt je trenutna. Fosgen se ne može prepoznati mirisom jer je prag mirisa viši od onog za otrovanje. Udisanjem koncentracije fosgena veće od 3 ppm javljaju se simptomi kao što su: nadraživanje očiju, dišnih puteva i ždrijela, iritacija u nosu, stezanje u prsima, mučninu, kašalj i slabost. Ti početni simptomi ne ukazuju na teško izloženost i sa vremenom nestaju [18].

Fosgen je prvi put sintetizirao John Davy 1812.godine izlaganjem mješavine ugljikova monoksida i klora sunčevoj svjetlosti. Tijekom 19. Stoljeća postajao je važan u farmaceutskoj industriji i proizvodnji boja [19].



**Slika 5.** Molekularna struktura fosgena [5].

**Tablica 10.** Kemijska i fizikalna svojstva fosgena [15].

FOSGEN	
Kemijska formula	$COCl_2$
Strukturna formula	$  \begin{array}{c}  Cl \\  \diagdown \\  C = O \\  \diagup \\  Cl  \end{array}  $
CAS registarski broj	75-44-5
Relativna molekulska masa	98,92
Fizički oblik	Bezbojan
Miris	Svježe jabuke, pokošeno sijeno
Talište	$-118^{\circ}C$
Vrelište	$8,2^{\circ}C$
Hlapljivost	4300000 $mg/m^3$ ( $7.6^{\circ}C$ ), 528000 $mg/m^3$ ( $-40$ )
Gustoća( $25^{\circ}C$ )	1,38 $g\ cm^{-3}$

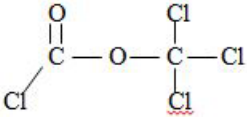
Tlak para(25°C)	1420 mm Hg
Gustoća para prema zraku	3,4
Plamište	Nije zapaljiv
Reaktivnost	Lako hidrolizira, slabo je topljiv u vodi Topljiv u benzenu, toluenu i octenoj kiselini U prisutnosti vlage napada plastiku, gumu i mnoge metale
$LCt_{50}$	3200 mg – min/ m <sup>3</sup>
$ICt_{50}$	1600 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom
Detoksikacija i dekontaminacija	Dekontaminacija nije potrebna osim ako se ne nalazi u hladnoj klimi Za dekontaminaciju koristiti vodu i amonijak
Postupci u izvanrednim situacijama	Pri malim količinama ispuštenog fosgena osobe treba evakuirati 150 metara od mjesta ispuštanja, a pri velikim količinama 800 metara.

## 4.2. DIFOSGEN

Difosgen (DP) je bezbojna uljasta tekućina koja se slabo otapa u vodi, a dobro u organskim otapalima. Nije zapaljiv, ali se na 300°C raspada na fosgen. Hidrolizira s vodom u vlažnom zraku uz oslobađanje klorovodične kiseline [9].

Difosgen je razvijen nekoliko mjeseci nakon prve uporabe fosgena jer su njegove pare mogle uništiti filtere u plinskim maskama koje su se tada upotrebljavale. Prva zabilježena upotreba bila je u svibnju 1916.godine u Prvom svjetskom ratu [2].

**Tablica 11.** Kemijska i fizikalna svojstva difosgena [15].

DIFOSGEN	
Kemijska formula	$C_2Cl_4O_2$
Strukturna formula	
CAS registarski broj	503-38-8
Relativna molekulska masa	197,82
Fizički oblik	Bezbojna uljasta tekućina
Miris	pokošeno sijeno(sličnog mirisa kao fosgen)
Talište	-57°C
Vrelište	128°C
Hlapljivost(20°C)	54 300 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(14°C)	1,6526 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(20°C)	10 mm Hg
Gustoća para prema zraku	6,83
Plamište	Nije zapaljiv
Reaktivnost	Slabo je topljiv u vodi,dobro je topljiv u etanolu,benzenu,eterima i ostalim organskim otapalima
$LCt_{50}$	3200 mg – min/ m <sup>3</sup>
$ICt_{50}$	1600 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Kao i kod fosgena,za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom i zaštitno odijelo otporno na pare i kemikalije
Detoksikacija i dekontaminacija	Za dekontaminaciju korisiti vodu i natrij hidroksid

### 4.3.KLOR

Klor je žuto zeleni plin zagušljiva mirisa. Otrovan je pri udisaju i slabo topljivu u vodi. Dugotrajno udisanje malih koncentracija ili kratkotrajno udisanje velikih koncentracija ima loše učinke. Može uzokovati opekline na očima i koži i izazvati bronhitis i ostale plućne bolesti. Klor ne gori ali podržava gorenje. Može zapaliti druge zapaljive materijale kao što su drvo, papir i ulje, a mješavina s gorivima može izazvati eksploziju. Klor reagira eksplozivno i podržava gorenje brojnih materijala. Pare klora su mnogo teže od zraka i klor ima tendenciju taloženja u niskim područjima. Klor se koristi u industriji kao izbjeljivač u proizvodnji papira i tkanine, koristi se za izradu pesticida, u bazenima za ubijanje štetnih bakterija i kao dio sanitarnog procesa za industrijski otpad i kanalizaciju [9]. Klor je prvi bojni otrov koji su koristili Nijemci i to 22. travnja 1915 godine [2].

**Tablica 12.** Kemijska i fizikalna svojstva klora [15].

KLOR	
Kemijska formula	$Cl_2$
Strukturna formula	Cl-Cl
CAS registarski broj	7782-50-5
Relativna molekulska masa	70,91
Fizički oblik	Žutozeleni plin
Miris	Zagušljiv miris izbjeljivača
Talište	-110°C
Vrelište	-34,05°C
Hlapljivost(25°C)	19369 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(20°C)	1,4085 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(20°C)	5,168 mm Hg
Gustoća para prema zraku	2,48
Plamište	Nije zapaljiv,ali pojačava izgaranje drugih tvari

Reaktivnost	Odlično se topi u vodi i organskim otapalima.
$LCt_{50}$	19000 mg – min/ m <sup>3</sup>
$ICt_{50}$	1800 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom
Detoksikacija i dekontaminacija	Klor se u organizmu brzo detoksicira kada se udišu male količine. Prilikom dekontaminacije najbolje je koristiti vodu i natrijev hidroksid

## 5. KRVNI BOJNI OTROVI

Krvni agensi su tvari koje adsorpcijom kroz tijelo dolaze u krv. Potencijalno su smrtonosni otrovi koji se na sobnoj temperaturi manifestiraju kao hlapljivi bezbojni plinovi slabog mirisa [16].

Djeluju udisanjem ili gutanjem i zbog svoje su nestabilnosti otrovniji u zatvorenijim nego otvorenijim područjima. Najpoznatiji otrovi u ovoj skupini su cijanovodična kiselina, arsin i klorcijan. Na bazi su arsena i cijanida. Spojevi cijanida pojavljuju se u prirodnom okruženju u malim količinama i u dimu cigareta. Cijanidi nastaju sagorjevanjem sintetičkih materijala ili poliuretana. Arsin nastaje reakcijom arsena i kiseline. Najznačajnija upotreba ovih otrova je bila tijekom holokausta kada su nacisti primjenjivali cijanovodik u plinskim komorama [11].

### 5.1. ARSIN

Arsin (SA) je bezbojan plin koji mirisom podsjeća na češnjak. Zapaljiv je i slabo je topljiv u vodi. Spoj je stabilan što znači da se pri sobnoj temperaturi raspada jako sporo ispuštajući jako otrovne pare. Pri 300°C arsin se razlaže na plinoviti vodik i arsen. Može nastati slučajnom reakcijom nečistoća arsena s mineralnim kiselinama u prisutnosti metala. Glavni način trovanja arsinom je udisanjem. Ne izaziva iritacije, ne izaziva neposredne simptome i jako ga je teško prepoznati mirisom pa osobe izložene opasnim razinama nisu svjesne njegove prisutnosti. Arsin napada

hemoglobin u crvenim krvnim zrnima, što kao rezultat daje njihovo uništavanje. Prvi simptomi trovanja su mučnina, povraćanje i bol u trbuhu koji se pojavljuju nekoliko sati nakon izlaganja. Primjenjuje se u industriji poluvodiča i računalnih čipova [9].

**Tablica 13.** Kemijska i fizikalna svojstva arsina [15].

ARSIN	
Kemijska formula	$AsH_2$
Strukturna formula	$  \begin{array}{c}  H \\  \diagdown \\  As - H \\  \diagup \\  H  \end{array}  $
CAS registarski broj	7784-42-1
Relativna molekulska masa	77,93
Fizički oblik	Bezbojan plin
Miris	Miris češnjaka
Talište	-117°C
Vrelište	-62,5°C
Hlapljivost(0°C)	30900 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(20°C)	1,4085 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(20°C)	5,168 mm Hg
Gustoća para prema zraku	2,69
Plamište	Nije određeno
Reaktivnost	Reaktivan je u kombinaciji s klorom i dušičnom kiselinom
$LCt_{50}$	5000 mg – min/ m <sup>3</sup>
$ICt_{50}$	2500 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom
Detoksikacija i dekontaminacija	Nema djelotvornog sredstva za liječenje

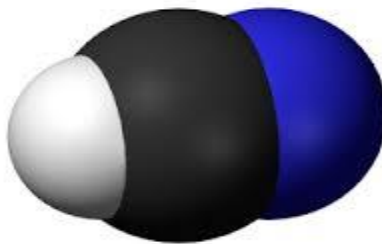


## 5.2. CIJANOVODIČNA KISELINA

Cijanovodična kiselina (AC) je hlapljiva bezbojna tekućina ili plin (iznad 25°C) koja ima miris oštar miris koji podsjeća na gorki badem. Vrlo je slaba kiselina koja izgara u zraku na temperaturi od 0°C i gori plavim plamenom. Pare su 0,941 puta lakše od zraka. Razgrađuje se zagrijavanjem na temperaturu od 66°C. Dobro se topi u organskim otapalima i mješa se s vodom. Reagira s aminima, kiselinama, natrijevim i kalcijevim hidroksidom, amonijakom i natrijevim karbonatom. Može se polimerizirati pri temperaturi od 50°C uz prisutnosti topline ili vlage [10].

Izloženost cijanovodičnoj kiselini može biti vrlo smrtonosna jer ima učinke na cijelo tijelo. Osobito utječe na one organske sustave koji su osjetljivi na niske razine kisika, a to su središnji živčani sustav, plućni sustav i kardiovaskularni sustav. Problem trovanja cijanovodičnom kiselinom je u to tome što je mala razlika u dozama kod kojih se javljaju blagi simptomi od onih kod kojih se javljaju teško trovanje ili smrt. Ljudi često ne prepoznaju miris cijanovodika koji bi ih upozorio na trovanje [16].

U Prvom svjetskom ratu cijanovodik je korišten od strane Francuza kao bojni otrov, ali se nije pokazao učinkovit iz razloga što je lakši od zraka i brzo se raspršuje u atmosferu [2]. Danas se primjenjuje u komercijalne svrhe kao sredstvo za galvanizaciju, fumigaciju, u rudarstvu i proizvodnju bojila, sintetičkih vlakana i plastike [9].



**Slika 6.** Molekularna struktura cijanovodične kiseline [5].

**Tablica 14.** Kemijska i fizikalna svojstva cijanovodične kiseline [15].

CIJANOVODIČNA KISELINA	
Kemijska formula	HCN
Strukturna formula	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$
CAS registarski broj	74-90-8
Relativna molekulska masa	27
Fizički oblik	Bezbojna tekućina ili plin
Miris	Oštar miris, gorke bademi
Talište	-13,4°C
Vrelište	25,63°C
Hlapljivost(0°C)	30900 mg/m <sup>3</sup>
Gustoća(20°C)	0,687 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(20°C)	630 mm Hg
Gustoća para prema zraku	0,941
Plamište	-18°C
Reaktivnost	Reagira s aminima, kiselinama, natrijevim i kalcijevim hidroksidom i amonijakom. Otopa se u organskim otapalima
<i>LC</i> <sub>50</sub>	4500 mg – min/ m <sup>3</sup>
<i>IC</i> <sub>50</sub>	2100 mg min/m <sup>3</sup>
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom i opremu koja sprječava kontakt s kožom i očima
Detoksikacija i dekontaminacija	Za detoksikaciju koristiti amil-nitrit, natrijev nitrit, natrijev tiosulfat

### 5.3. KLORCIJAN

Klorcijan (CK) je bezbojna tekućina ispod 12,8 °C ili plin iznad 12,8 °C, bez okusa i mirisa na badem. Vrlo je otrovan i iznimno hlapljiv bojni otrov koji ometa funkciju korištenja kisika u tijelu. Klorcijan ne gori i sa zrakom ne stvara eksplozivne smjese. Njegovom razgradnjom nastaju plinovi cijanovodik, klorovodik, dušikovi i sumporovi oksidi te klor i dušik. Topiv je u vodi i u dodiru s vodom i vlagom tvori zapaljivi cijanovodik koji tvori sa zrakom eksplozivne smjese. Pare klorcijana imaju snažno nagrizajuće i nadražujuće djelovanje.

Klorcijan se danas koristi za proizvodnju raznih kemijskih spojeva, sintetičke gume, za rafinaciju ruda, pri fumigaciji i prilikom procesa čišćenja metala [19].

**Tablica 15.** Kemijska i fizikalna svojstva [19].

KLORCIJAN	
Kemijska formula	<i>ClCN</i>
Strukturna formula	$\text{Cl}-\text{C}\equiv\text{N}$
CAS registarski broj	506-27-4
Relativna molekulska masa	61,48
Fizički oblik	Pri sobnoj temperaturi bezbojni plin
Miris	Bademi, oštar i nadražujući
Talište	-6°C
Vrelište	13,5°C
Hlapljivost	2600000 mg/m <sup>3</sup> (7.6°C),
Gustoća(20°C)	1,186 g cm <sup>-3</sup>
Tlak para(25°C)	1420 mm Hg
Gustoća para prema zraku	2,16
Plamište	Nije zapaljiv
Reaktivnost	Egzotermno reagira s alkenima i alkinima

$LCt_{50}$	11000 $mg - min / m^3$
$ICt_{50}$	7000 $mg min / m^3$
Zaštita	
Osobna zaštitna sredstva	Za zaštitu je dovoljno koristiti zaštitnu masku sa respiratorom i zaštitno odijelo kako bi se zaštitili od nagrizajućeg utjecaja.
Detoksikacija i dekontaminacija	Kod manjih koncentracija ovog plina treba provjetriti prostoriju. Za detoksikaciju koristiti natrijev hidroksid i vodenu paru.

## 6. UTJECAJ BOJNIH OTROVA NA OKOLIŠ

Uporaba bojnih otrova u ratovima i sukobima, u prošlosti i ne tako dalekoj prošlosti nanijela je velike štete ljudskoj populaciji, ne samo u vidu smrtnih ishoda i dugotrajnih posljedica na ljudsko zdravlje, već i na sav tadašnji ekosustav. Dugoročni učinci ovih agenasa još su dosta nepoznati, no usprkos činjenici da je upotreba bojnih otrova odnosno kemijskog oružja danas zabranjena, pojedini sukobi poput onih u Siriji 2013. godine i danas impliciraju njihovu upotrebu i dovode u pitanje i stanje ekosustava, koje je ionako već odavno narušeno.

Nakon Drugog svjetskog rata, velike svjetske sile poput Sjedinjenih Država (SAD), Sovjetskog Saveza i drugih, izbacile su u oceane i mora velike količine ne samo bojnih otrova, već i ostalih agenasa i streljiva. Europska, ruska, japanska i američka obala područja su koja su najviše pogođena. Također je poznato da u područjima Baltičkog i Sjevernog mora postoji veliki broj takvih odlagališta, a ujedno su i su i najviše proučavana područja u kontekstu utjecaja kemijskog oružja na okoliš. Kako se neki od tih agenasa tijekom vremena razgrađuju, produkti njihove razgradnje mogu biti itekako otrovni i utjecati na morske ekosustave. Međutim, znanstvenici stalno upozoravaju da postoji potreba za stalnim praćenjem takvih toksičnih tvari na poznatim odlagalištima, posebice u područjima s razvijenim ribolovom [4].

Kroz pregled bojnih otrova koji je dan u ovom završnom radu, upoznati smo s činjenicom da kemijsko oružje predstavlja posebnu prijetnju civilima, jer bi velike koncentracije istih koje bi se koristile u vojnim operacijama mogle dovesti do značajnog nenamjernog uključivanja

civilnog stanovništva unutar ciljnog područja, ali i na znatne udaljenosti s obzirom na samo fizikalno svojstvo primjenjenog agensa. Zaštitu mogu pružiti maske, spremnici s filterima, nepropusna odjeća, medicinski protuotrovi i liječenje, kao i primjena zaštite u skloništima.

Ovdje se međutim postavlja i pitanje toga, da bi korištenje kemijskog oružja u velikim razmjerima moglo uzrokovati trajne promjene okoliša. Mogući učinci kako kemijskog, tako i biološkog oružja podložni su visokom stupnju nepredvidljivosti njihovog djelovanja, zbog uključenosti složenih i izrazito promjenjivih meteoroloških, fizioloških, epidemioloških, ekoloških i drugih čimbenika.

Od svih ispuštenih bojnih otrova u mora i oceane, najveće količine se odnose na iperit, luizit i živčane bojne otrove poput sarina, tabuna i somana. Najrasprostranjenija kemikalija u bačenim zalihama bio je iperit, i to u obliku zrakoplovnih bombi od 250 kg, zvane KC 250 i topničkih granata (105 mm ili 150 mm). Osim njih, izbačeni su i velike količine  $\alpha$ -kloroacetofenona (suzavac) i cijanovodika. Dokazano je da iperit ima sklonost stvaranju čvrste ili polutvrde grudice s polimernom prevlakom nastalom od produkata njegove razgradnje u vodenom okolišu, te može ostati u takvom stanju na dnu oceana desetljećima [20].

Organoarseni se razgrađuju u arsen, pa predstavljaju neodređeni vremenski rok za kontaminaciju. Općenito, studije koje su ispitivale sedimente i koncentraciju osnovnih kemijskih tvari i proizvoda razgradnje na odlagalištima, otkrile su minimalne količine toksičnih kemikalija. Ispitivanja koja su provedena na morskim organizmima nisu pokazale veće količine kemijskih agenasa ili produkata razgradnje u njihovom tkivu, ali su pokazale dokaze kronične toksičnosti. Stoga se čini da glavni rizik za ljudsko zdravlje proizlazi iz akutne izloženosti pojedinom bojnom otrovu ili slučajnim izvlačenjem kemijskog oružja na ribarsko plovilo, ili municijom izbačenom na obalu. Djelatnosti koje uključuju polaganje cijevi, ukopavanje kabela, bušenje, ronjenje, kočarenje i podmorska znanstvena istraživanja aktivnosti su koje predstavljaju najveći rizik [21].

Mogući putovi razgradnje bojnih otrova u okolišu uključuju procese isparavanja, sorpcije, hidrolize, fotolize i razgradnju pomoću mikroorganizama. Hidroliza je primarni mehanizam njihove razgradnje posebice u vodenom okolišu, s poluživotom raspada od nekoliko minuta do nekoliko dana. Brzina hidrolize ovisi o čimbenicima kao što su temperatura, pH i kvaliteta

vode, a poznato je da brzina hidrolize raste s porastom temperature. Na primjer, brzina hidrolize iperita pri 70 ° C bila je 28 puta veća od one pri 30 ° C.

Sorpcijski procesi s druge strane utječu na transport u okolišu. Neki bojni otrovi poput VX - a, mogu se ionizirati; stoga će sorpcijski procesi biti ovisni o pH vrijednosti otopine. VX je tercijarni amin s pKa od približno 9. Dakle, VX postoji pretežno u kationskom obliku pri neutralnom pH, što komplicira predviđanja sorpcije VX na okolišne medije. VX je relativno otporan na hidrolizu, a poluživot u čistoj vodi iznosi 60 sati.

Iako je biorazgradnja bojnih otrova teoretski moguća, no u praksi nije primijećena zbog njihove toksičnosti. Slično, postoji malo podataka i o njihovoj fotorazgradnji [22].

Jedna od najvažnijih karakteristika bojnih otrova je njihova postojanost - "razdoblje tijekom kojeg agens zadržava svoju toksičnost u zraku ili na zemlji". Bojni otrov se smatra postojanim ako ostane sposoban uzrokovati žrtve duže od 24 sata do nekoliko dana nakon što je primjenjen, dok nepostojani otrov izgubi sposobnost izazivanja žrtava nakon 10 do 15 minuta. Stoga će postojani bojni otrov osim žrtava, uzrokovati i dugotrajnu kontaminaciju terena i materijala, ometajući njihovu uporabu. Međutim, procjena točne postojanosti vrlo je složena jer ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su fizičke i kemijske karakteristike sredstava, uvjeti okoliša: vrijeme (temperatura, pad atmosfere, vlaga i sunčeva svjetlost), topografija terena na otvorenom, ventilacija sustava i arhitektura u zatvorenom prostoru; stanje zahvaćenih površina i način širenja.

Postojanost će također ovisiti o kemijskim svojstvima bojnog otrova, kao što je reaktivnost prema različitim tvarima u okolišu. Glavne reakcije do kojih može doći između bojnih otrova i okoliša su: hidroliza s vodom u okolišu, oksidacija atmosferskim kisikom, fotokemijske reakcije sa sunčevom svjetlošću, termokemijsko razlaganje, te druge reakcije sa spojevima prisutnim u okolišu [23].

Plinoviti bojni otrovi imaju tendenciju relativno brzog širenja i rasipanja, osobito na otvorenom, pa se njihova postojanost smatra niskom. Međutim, plinoviti agensi mogu se privremeno imobilizirati fizičkom adsorpcijom, u nekim slučajevima i kemijskom. U prvom slučaju ne nastaje kemijska veza i bojni otrov se veže za površinu pomoću slabe van der Waalsove i elektrostatičke interakcije. Kao rezultat toga, vrijeme kontakta je kratko, a vjetar

na otvorenom ili dovoljna ventilacija u zatvorenom prostoru će ukloniti plin. Drugi način adsorpcije se događa kada plinoviti bojni otrov reagira s površinom, kao npr. plinoviti klor, koji je vrlo reaktivan prema određenim polimerima i metalima, a u dodiru s vodom stvara jako korozivnu klorovodičnu kiselinu. Također je teži od zraka pa će se zadržati na dnu zagađenog područja, otežavajući njegovo uklanjanje [23].

## 7. ZAKLJUČAK

Iako je uporaba i proizvodnja bojnih otrova u ratne svrhe prvi put zabranjena Haškom konvencijom davne 1899.godine, njihova uporaba proteže se sve do 21. stoljeća. Unatoč postojanju brojnih konvencija (CWC) i organizacija (OPCW) koje reguliraju uporabu i proizvodnju kemijskog oružja, ono i dalje postoji te predstavlja opasnost ne samo za čovječanstvo, već predstavlja veliki problem za okoliš. Najlakši način uklanjanja bojnih otrova nakon Drugog svjetskog rata bilo je njihovo pohranjivanje u mora i oceane čime se nepovratno naštetilo ne samo morskom okolišu već su razmjeri ovakvog postupanja daleko opsežniji i predstavljaju itekakvu opasnost stanovništvu kontaminiranih područja. Mogući učinci kemijskog oružja podložni su visokom stupnju nepredvidljivosti njihovog djelovanja, zbog uključenosti složenih i izrazito promjenjivih meteoroloških, fizioloških, epidemioloških, ekoloških i drugih čimbenika. Jedna od najvažnijih karakteristika bojnih otrova je njihova postojanost u okolišu, stoga će postojani bojni otrov osim žrtava, uzrokovati i dugotrajnu kontaminaciju terena i materijala, ometajući njihovu uporabu. Postojanost će također ovisiti o kemijskim svojstvima bojnog otrova, kao što je reaktivnost prema različitim tvarima u okolišu.

Na kraju možemo zaključiti da unatoč međunarodnim propisima i kontroli posjedovanja bojnih otrova, oni i dalje predstavljaju prijetnju vojnim snagama i civilima. Iz svih navedenih činjenica, razumijevanje procesa i reakcija koje se javljaju na kontaminiranim površinama bitno je za predviđanje dugoročnih posljedica bojnih otrova, što u konačnici dovodi do razvoja i primjene učinkovitih metoda njihove dekontaminacije.



## 8. LITERATURA

1. Bokan, S.: Terorizam i biološko i toksinsko oružje, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 54 (2003) 29-43.
2. Padley, A.P.: Gas- the greatest terror of the Great War, *Anaesth Intensive Care/ History Supplement* (2016) 24-30.
3. Chepesiuk, R.: "A Sea of Trouble?", *The Bulletin of Atomic Scientists* (1997) 40-44.
4. Curry, A.: Chemical Weapons Dumped in the Ocean after World War II Could Threaten Waters Worldwide', *Smithsonian Magazine* (2016).  
<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/decaying-weapons-world-war-II-threaten-waters-worldwide-180961046/>, pristupljeno 17.08. 2021.
5. Anonymus: Wikipedia-Wikimedia commons, [https://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page) pristupljeno 7.8.2021.
6. Gupta, R.C.: *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*, Academic Press (2015).
7. Uhlik, B.: Požarno opasne, toksične i reaktivne tvari, *Kemija u industriji*, 63 (3-4) (2014) A1225–A1228.
8. Shemer, J., Shoenfeld, Y.: Terorizam i medicina: Medicinski aspekti biološkog, kemijskog i radiološkog terorizma (2007), *Medicinska naklada*, 121-140.
9. Anonymus: Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/> pristupljeno 12.8.2021.
10. Anonymus: CAMEO Chemicals, Database of Hazardous Materials, <https://cameochemicals.noaa.gov/> , pristupljeno 9.8.2021.
11. Guidance Document on the Use of Medicinal Products for the Treatment of Patients Exposed to Terrorist Attacks with Chemical Agents (2003), *EMEA/CPMP/1255*, 8-20.
12. Munro, N.B., Ambrose, K.R., Watson, A.P.: Toxicity of the Organophosphate Chemical Warfare Agents GA, GB, and VX: Implications for Public Protection, *Environmental Health Perspective*, 102 (1994) 18-38.
13. Vučemilović, A.: Toksikološke posljedice oružja za masovno uništavanje i noksa u suvremenom ratovanju i terorizmu, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* , 61 (2010) 247-256.

14. Balali- Mood, M., Hefazi, M.: The clinical toxicology of sulfur mustard, *Archives of Iranian Medicine*, 8 (2005) 162-179.
15. Duraković, Z.: *Klinička toksikologija*, Grafos, Zagreb (2000).
16. Polat, S., Gunata, M., Parlakpınar, H.: Chemical warfare agents and treatment strategies, *Annals of Medical Research*, 25 (4) (2018) 776-782.
17. Anonymus: PubChem, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> pristupljeno 13.8.2021
18. Plavšić, F.: *Bojite li se otrova*, Hrvatski zavod za toksikologiju, Zagreb (2009).
19. Uhlík, B.: Požarno opasne, toksične i reaktivne tvari, *Kem. Ind.* **55** (11) A937–A940 (2006).
20. Vanninen, P., Ostin, A., Beldowski, J., Pedersen, E.A., Soderstrom, M., Szubska, M., Grabowski, M., Siedlewicz, G., Czub, M., Popiel, S., Nawała, J., Dziedzic, D., Jakacki, J., Pączek, B.: Exposure status of sea-dumped chemical warfare agents in the Baltic Sea, *Marine Environmental Research*, 161 (2020) 105112D.
21. Greenberg, M., Sexton, K.J., Vearrier, D. (2016) Sea-dumped chemical weapons: environmental risk, occupational hazard, *Clinical Toxicology* 54 (2) 79-91.
22. Bartelt-Hunt, S.L., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A.: A Review of Chemical Warfare Agent Simulants for the Study of Environmental Behavior, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38 (2008)112–136.
23. Gorzkowska-Sobas, A.A.: Chemical warfare agents and their interactions with solid surfaces, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), FFI-rapport 2013/00574 (2013).

## 9. POPIS PRILOGA

### 9.1.POPIS SLIKA

Slika 1.Molekularna struktura sarina .....	7
Slika 2. Molekularna struktura tabuna .....	11
Slika 3. Opeklina nastale utjecajem plikavaca .....	20
Slika 4. Molekularna struktura iperita .....	22
Slika 5. Molekularna struktura fosgena .....	29
Slika 6. Molekularna struktura cijanovodične kiseline .....	38

### 9.2.POPIS TABLICA

Tablica 1. Simptomi trovanja živčanim kemijskim agensima .....	4
Tablica 2. Kemijska i fizikalna svojstva sarina .....	7
Tablica 3. Kemijska i fizikalna svojstva tabuna .....	11
Tablica 4. Kemijska i fizikalna svojstva somana .....	14
Tablica 5. Kemijska i fizikalna svojstva VX-a .....	17
Tablica 6. Učinci iperita na respiratornom traktu u iračko-iranskom ratu .....	20
Tablica 7. Kemijska i fizikalna svojstva iperita .....	22
Tablica 8. Kemijska i fizikalna svojstva dušikovog iperita .....	25
Tablica 9. Kemijska i fizikalna svojstva luizita .....	27
Tablica 10. Kemijska i fizikalna svojstva fosgena .....	29
Tablica 11. Kemijska i fizikalna svojstva difosgena .....	31
Tablica 12. Kemijska i fizikalna svojstva klora .....	33

Tablica 13. Kemijska i fizikalna svojstva arsina .....	36
Tablica 14. Kemijska i fizikalna svojstva cijanovodične kiseline .....	38
Tablica 15. Kemijska i fizikalna svojstva klorcijana .....	40