

# Vojni eksplozivi

---

Šipek, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:128:077546>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-30**



**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

Matija Šipek

# **VOJNI EKSPLOZIVI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2017.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Matija Šipek

# **MILITARY EXPLOSIVES**

FINAL PAPER

Karlovac, 2017.

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

Matija Šipek

# **VOJNI EKSPLOZIVI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Vuk Zlatar dipl.ing., pred.

Karlovac, 2017.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2017.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Matija Šipek

Matični broj: 0415614002

Naslov: Vojni eksplozivi

Opis zadatka:

U završnom radu treba uvodno opisati što su vojni eksplozivi, navesti njihove karakteristike, kako se dobivaju te za što se primjenjuju. Opisati njihovo djelovanje na čovjeka i okoliš, te naposljetku opisati kako se uništavaju.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

05/2017

06/2017

06/2017

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Vuk Zlatar dipl.ing, pred.

dr.sc. Zlatko Jurac, prof.v.š.

## **PREDGOVOR**

Ovaj rad nam govori o svrsi, karakteristikama i primjeni vojnih eksploziva.

Ponajprije bih se želio zahvaliti svom mentoru Vuku Zlataru što mi je omogućio i pomogao u stvaranju ovog rada, svojim savjetima, znanjem i dobrom voljom.

Zahvalio bih se i svim kolegama i djelatnicima Veleučilišta u Karlovcu što su prema meni bili korektni i pomagali mi na bilo koji način.

Na kraju bih se zahvalio i svojoj obitelji što me poticala i omogućila mi da ostvarim svoje ciljeve glede svojeg obrazovanja.

## SAŽETAK

Eksplozivi su kemijski spojevi ili smjese sastavljeni od eksplozivnih tvari. Današnji svijet nije moguće zamisliti bez korištenja eksplozivnih tvari. Eksplozivi se mogu koristiti u razne svrhe, a prema načinu uporabe i namjeni dijele se na inicijalne eksplozive, brizantne eksplozive i barute. Inicijalni eksplozivi služe za iniciranje drugih vrsta eksploziva, tj davanja početnog impulsa putem paljenja ili detonacije, dok se brizantni odlikuju velikom brzinom detonacije, što uzrokuje snažna i ogromna razaranja. Od same izrade eksploziva, njihove primjene pa sve do uništavanja ili delaboracije korištenje eksploziva može ugroziti zdravlje ljudi i imati kritične posljedice. Obavezno je korištenje propisane zaštitne osobne zaštitne opreme i uvijek treba rukovati s njima dužnom pažnjom. Najviše ozljeda i nesreća pri korištenju eksploziva događa se prvenstveno zbog manjka znanja i nemarnosti osobama koje njima rukuju.

**Ključne riječi:** Inicijalni eksplozivi, brizantni eksplozivi, baruti, vojni eksplozivi

## ABSTRACT

Explosives are chemical compounds or mixtures made out of explosive ingredients. The world as we know it is impossible to imagine without explosive matters. Explosives have multiple purposes and they are divided in groups by their use and aim to primary explosives, secondary explosives and propellants. Primary explosives are used to initiate the start impulse through detonation while secondary explosives have a great speed of detonation which indicates in great power of destruction. Even from the production of the explosives to their obliteration, usage of explosives can be very harmful for humans. It is necessary to use proper protective equipment and handle explosives with much caution. Most of accidents and injuries happen because of lack of knowledge and because people disregard the rules which have to be followed when it comes to explosives.

**Key words** : primary explosives, secondary explosives, propellants, military explosives

# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SADRŽAJ .....	IV
1. UVOD .....	1
2. VRSTE EKSPLOZIVA .....	2
2.1 Inicijalni eksplozivi .....	2
2.1.1 Živin Fulminat .....	3
2.1.2 Olovo azid.....	5
2.1.3 Olovo trinitrorezorcinat.....	8
2.1.4 Tetrazen .....	10
2.2 Brizantni eksplozivi .....	11
2.2.1 Trotil.....	12
2.2.2 Tetril.....	14
2.2.3 Heksogen .....	16
2.2.4 Pentrit .....	18
2.2.5 Pikrinska kiselina .....	20
2.2.6 Oktogen .....	23
2.3. Baruti.....	24
2.3.1 Jednobazni baruti .....	26
2.3.2 Dvobazni baruti.....	27
2.3.3 Trobazni baruti.....	29
2.3.4 Kompozitni raketni baruti .....	30
2.3.5 Crni barut.....	31
3. UVJETI KOJIMA TREBAJU ODGOVARATI VOJNI EKSPLOZIVI .....	32
4. OPASNO DJELOVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI NA LJUDE .....	33
5. OPASNO DJELOVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI NA OKOLIŠ .....	35
5. VOZILA ZA PRIJEVOZ EKSPLOZIVNIH TVARI CESTOM.....	36
6. OSOBNA ZAŠTITNA OPREMA U PROIZVODNJI EKSPLOZIVA.....	38
7. UNIŠTAVANJE EKSPLOZIVNIH SREDSTVA.....	38
ZAKLJUČAK.....	44



LITERATURA .....	45
PRILOZI.....	47
Popis slika .....	47
Popis tablica.....	48

## 1. UVOD

Pod pojmom eksploziv smatra se bilo koji kemijski spoj ili smjesa koja se pod vanjskim mehaničkim (udar, trenje) ili toplinskim (iskra, otvoreni plamen) impulsima u trenutku promjeni u plin. Stoga u vrlo kratkom vremenu nastaju velike količine plina i toplinske energije. Eksplozivi u svom sastavu sadrže tvari koje nakon detonacije razviju veliku količinu kisika, koji je neophodan za sagorijevanje. Stoga se eksplozivi mogu detonirati i u zatvorenom prostoru. [5]

Pod pojmom gorenje smatra se spajanje neke tvari s kisikom. Bez prisutnosti kisika nema ni gorenja. Znači ako neku zapaljivu tvar zapalimo i ako je dovoljno kisika ona će gorjeti. Gorenje može biti sporo, brzo i burno. Većina eksploziva gori, ako ih zapalimo. Takvo gorenje eksploziva koje nema nikakve veze s detonacijom, naziva se deflagracija. Brzina izgaranja eksploziva na zraku je relativno mala. [5]

Pod pojmom eksplozija smatra se egzotermna reakcija pri kojoj dolazi do naglog povećanja volumena i oslobađanja energije na „nasilan“ način, uz stvaranje visoke temperature i oslobađanja plinova. Uzrokuje pritisne valove u mediju u kojem se pojavljuju. Mogu se okarakterizirati kao deflagracije, ako su ti valovi podzvučni ili detonacije ako su nadzvučni (udarni valovi). [5]

Pod pojmom detonacija smatra posebna vrsta izgaranja. Pri detonaciji nema gorenja. Kod detonacije stvara se udarni val koji se širi velikom brzinom na uskoj fronti ili površini. Na čelu te fronte pojavljuje se visoki tlak i visoka temperatura. Detonacijski val širi se od 1500 do 9000 m/s, što ovisi o vrsti eksploziva. Detonacija kod većine eksploziva ne može nastati paljenjem već iniciranjem posebnih vrsta eksploziva, koji se nazivaju inicijalni eksplozivi. Inicijalni eksplozivi nalaze se u detonatorskim kapsulama, električnim detonatorima i drugim sredstvima za iniciranje. [5]

Pri detonaciji eksploziva nastaju dva osnovna oblika energije. To su udarni val i energija plinova raspadanja ili plinska energija. Udarne energija je posljedica visokog tlaka na detonacijskoj fronti, širi se kroz eksplozivno punjenje i istodobno udara o stjenku bušotine. Plinska ili potisna energija je energija plinova visokog tala i temperature koja se stvara nakon prolaza detonacijske fronte. Rad ili pokretanje

mase se ostvaruje sve dok plinovi visokog tlaka ne prodru kroz atmosferu, nakon čega im pada tlak. [10]

## 2. VRSTE EKSPLOZIVA

Prema kemijskom sastavu eksplozivi se dijele na čiste kemijske spojeve ili mehaničke smjese kemijskih spojeva.

Prema fizikalnim svojstvima i agregatnom stanju eksplozivi mogu biti:

- U čvrstom stanju
- Smjese čvrstih i tekućih spojeva
- Tekuće eksplozivne smjese
- Eksplozivne smjese u plinovitom stanju
- Eksplozivne smjese čvrstih i tekućih spojeva s plinovima

Prema načinu uporabe i namjeni, eksplozivi se najčešće dijele na:

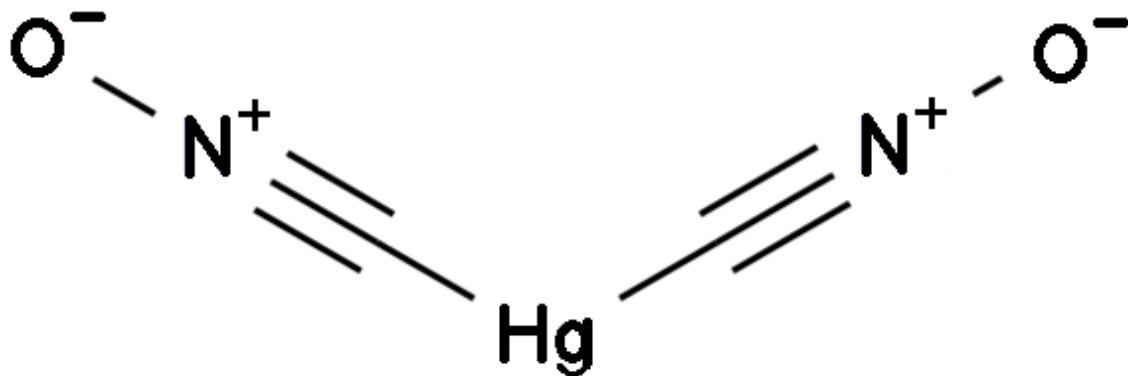
- Inicijalne
- Brizantne
- Barute

### 2.1 Inicijalni eksplozivi

Inicijalni eksplozivi služe za iniciranje drugih vrsta eksploziva, tj davanja početnog impulsa putem paljenja ili detonacije. U tu svrhu koriste se čisti ili u smjesi. Njihova praktična primjena je u kapsulama svih vrsta, a neki se koriste i u proizvodnji detonirajućih štapina. Osobina takvih eksploziva je ta da imaju veću osjetljivost na udar, trenje, inicijaciju od brizantnih eksploziva. Imaju manju brzinu detonacije od brizantnih. Imaju manji volumen plinovitih produkata detonacije, toplinu i temperaturu eksplozije nego kod brizantnih eksploziva (živin fulminat je izuzetak). Inicijalni eksplozivi imaju veću sposobnost iniciranja od bilo kojih eksploziva, a to proizlazi iz njihove velike brzine raspadanja. Osjetljivi su na plamen, udar i temperaturu te se

primjenjuju za izradu udarnih, detonatorskih i električnih kapsula. U inicijalne eksplozive spadaju živin fulminat, olovo azid, olovo trinitirezorcinat i tetrazen.[3]

### 2.1.1 Živin Fulminat



Slika 1: Strukturna formula živinog fulminata  
(Izvor: <http://en.chembase.cn/molecule-128271.html>)

:

Tablica 1: Svojstva živinog fulminata (Izvor: [1])

Empirijska formula	C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Hg
Molekularna masa	284.6
Energija formiranja	+229 kcal/kg = +958 kJ/kg
Entalpija formiranja	+225 kcal/kg = +941 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-11.2%
Sadržaj dušika	9.84%
Toplina eksplozije	415 kcal/kg = 1735 kJ/kg
Gustoća	4.42 g/cm <sup>3</sup>
Točka deflagracije	165°C = 330°F
Osjetljivost na udar	0.1-0.2 kp m = 1-2 N m

Živin fulminat je sintetizirao J. K. von Lowenstern u 17.st. Sastav je opisao Edward Charles Howard a Alfred Nobel ga je koristio za detoniranje nitroglicerina. [2]

Živin fulminat je bijeli ili sivi kristalni prah. Toksičan je i netopiv u vodi. Kada je suh vrlo je osjetljiv na udar, trenje i lako se detonira iskrom ili plamenom. Može se flegmatizirati dodavanjem ulja, masti ili parafina ili prešanjem pod vrlo visokim pritiskom. Priprema se otapanjem žive u dušičnoj kiselini nakon čega se otopina miješa sa 95% etanolom. Nakon kratkog vremena dolazi do stvaranja kristala. Kada je reakcija završena kristali se ispiru i usitnjavaju. Dobiva se u malim smeđim ili sivim kristalima u obliku piramide, a ta boja je uzrokovana zbog prisutnosti koloidne žive. Ako se u reakciju dodaju male količine bakra i klorovodične kiseline dobiva se bijela boja. [1]

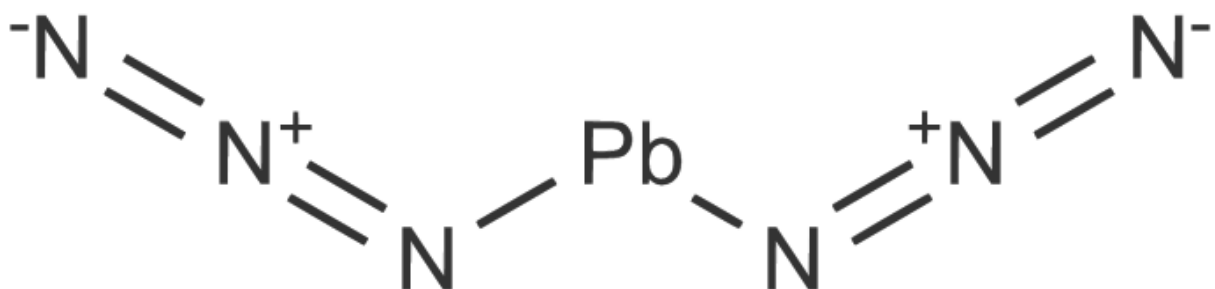
Kada je suh naglo reagira sa aluminijem i magnezijem. Sporo reagira s bakrom, cinkom, mesingom i broncom. Sa željezom i čelikom ne reagira. Vlažan odmah reagira sa aluminijem i magnezije. Brzo reagira s bakrom, cinkom, mesingom i broncom. A sa željezom i čelikom ni tada nema reakcije. [2]

Kapsule u kojima se koristi izrađuju se od bakra ali se prije laboracije posudica još i lakira. Živin fulminat koji sadrži slobodnu živu ili živin nitrat nije za upotrebu jer metalne kapsule korodiraju. Ima sladak metalni okus. Otrovan je i ne smije se uzimati oralno. Zbog male topivosti u slanoj vodi toksičnost živinog fulminata pri kontaktu s kožom je gotovo nikakva. Opasnost trovanja je više izražena kod same proizvodnje jer su sporedni produkti pri tim reakcijama etilnitrat, etilnitrit, acetaldehid i nitrozni plinovi. [6]



Slika 2: Živin fulminat (Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

### 2.1.2 Olovo azid



Slika 3: Strukturna formula olovo azida  
(Izvor : <https://www.indiamart.com/proddetail/lead-azide-4067076048.html>)

Tablica 2: Svojstva olovo azida (Izvor: [1])

Kemijska formula	$\text{Pb}(\text{N}_3)_2$
Molekularna masa	291.3
Energija formiranja	+397.5 cal/kg = +1663.3 kJ/kg
Entalpija formiranja	+391.4 cal/kg = +1637.7 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-5.5%
Sadržaj dušika	28.85%
Volumen plinovitih produkata detonacije	231 l/kg
Toplina eksplozije	391 kcal/kg = 1638 kJ/kg
Gustoća	4.8 g/cm <sup>3</sup>
Test u olovnom bloku	110 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	4500 m/s – 5300 m/s
Točka deflagracije	320 -360 °C = 600 – 680 °F
Osjetljivost na udar	0.25-0.4 kp m = 2.5-4 N m
Osjetljivost na trenje	0.01-1 kp = 0.01-N

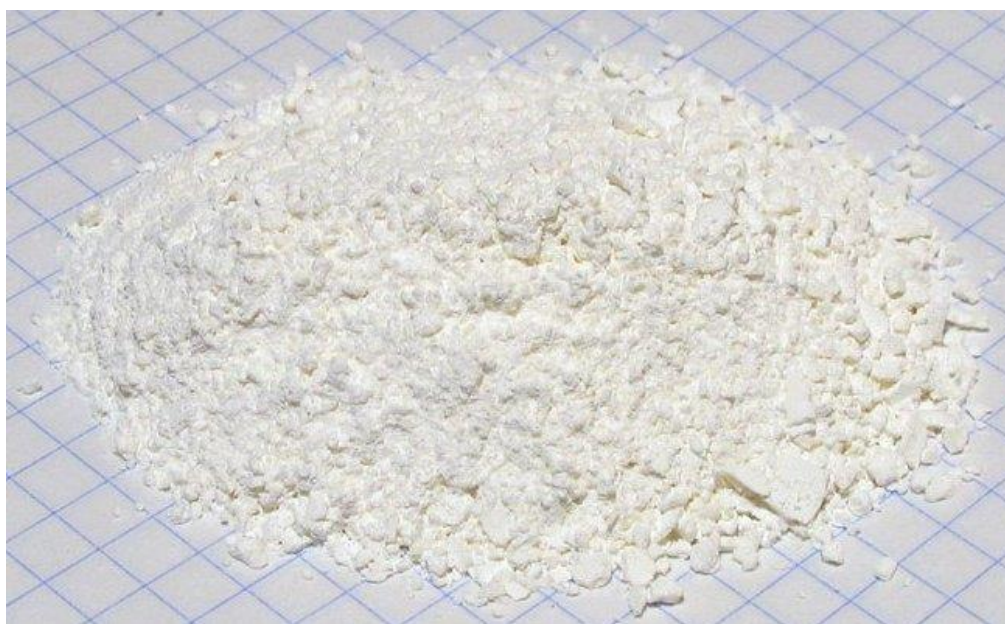
Olovo azid prvi je sintetizirao T. Curtius 1891. godine dodavanjem olovnog acetata u otopinu natrijevog ili amonijevog azida. Za prvi pokušaj da se olovo azid koristi u eksplozivnoj industriji zaslužan je F. Hyronimus . Komercijalna proizvodnja započela u Europi prije Drugog svjetskog rata. U SAD-u proizvodnja započinje 1931.g. [2]

Olovo azid je kristalna tvar bijele boje. Netopiv u vodi i otporan je na toplinu, vlagu i nije previše higroskopian. Dobiva se reakcijom otopina natrijevog azida i olovo nitrata. U fazi taloženja dodaje se dekstrin ili parafin da bi se smanjila osjetljivost na udar. Koristi se kao inicijalni eksploziv pri izradi detonatorskih kapsula. Da bi mu se poboljšala zapaljivost dodaje se olovo trinitroresorcinat. Detonatorske kapsule koji se pune olovo azidom a imaju bakrene kapice koriste se u rudniku, a za sve ostale svrhe koriste se aluminijske kapice. Brzina detonacije mu je oko 4500m/s, do 5400m/s. [1]

Čelik, željezo, nikal, aluminij, olovo, cink, bakar, kositar, mjed, bronca ne reagiraju sa suhim olovo azidom na temperaturi do 50°C u razdoblju od 6g. Vлага ne utječe na smanjenje eksplozivnih karakteristika, ali vlažan u reakciji s bakrom tvori bakreni

azid koji je osjetljiv na udar i trenje . Vlažan brzo reagira s bakar i cink, a s aluminijem nema reakcije u prvih 24 sata. [2]

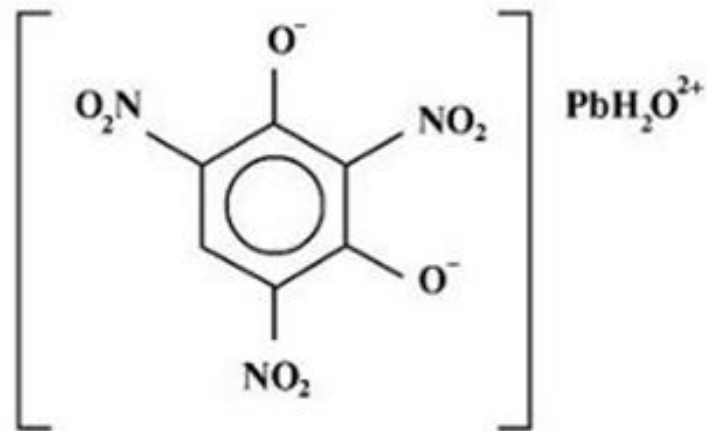
Pojavljuje se u četiri alotropske modifikacije (  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\delta$  ). Ortoromoidan oblik  $\alpha$ -modifikacije je stabilan, posjeduje veliku moć iniciranja i kao takav je jedini pogodan za uporabu. S bakrom stvara osjetljive kristale koji mogu prijevremeno detonirati. Zbog toga se laborira samo u aluminijske kapsule. Topljiv u koncentriranoj otopini natrijevog acetata, odnosno kalijevog tartarata, ali se u praksi ne primjenjuje njegova prekrizalizacija zbog opasnosti od eksplozije. Reagira s dušičnom kiselinom pri čemu se oslobađa vrlo opasna dušikovodična kiselina. Iz istih razloga se ne smije miješati niti s pikrinskom kiselinom. Ako se zagrije na  $75^{\circ}\text{C}$  tijekom četiri dana gubi na težini za oko 0.8%, a razlaže se tek kada se zagrijava na  $120^{\circ}\text{C}$  preko 24 sata. Pod utjecajem svjetla mijenja boju ali ne gubi eksplozivnost. Olovo azid se posebno odlikuje kratkim prijelazom izgaranja u detonaciju, te zbog toga spada u jake inicijalne eksplozive koji je sposoban da u malim količinama izazove detonaciju brizantnog eksploziva. Otrovan je, a njegova toksičnost ovisi o količini dušikovodične kiseline. U krutom stanju praktički nije toksičan. Posebno je toksičan natrijev azid koji se koristi kao polazna sirovina pri njegovoj proizvodnji, te se mora zaštititi koža djelatnika. [6]



Slika 4: Olovo azid  
(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)



### 2.1.3 Olovo trinitrorezorcinat



Slika 5: Strukturna formula olovo trinitrorezorcinata  
(Izvor: <http://www.trivenichemicals.com/explosives-chemicals.html>)

Tablica 3: Svojstva olovo trinitrorezorcinata (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_6H_3N_3O_9Pb$
Molekularna masa	468.3
Energija formiranja	-417.6 kcal/kg=-1747.2 kJ/kg
Energija formiranja	-427.1 kcal/kg = -1786.9 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-18.8%
Sadržaj dušika	8.97%
Gustoća	3.0 g/cm <sup>3</sup>
Test u olovnom bloku	130 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	5200m/s
Toplina eksplozije	347 kcal/kg=1453 kJ/kg
Točka deflagracije	275-280°C = 527-535°F
Osjetljivost na udar	0.25-0.5 kp m=2.5-5 N m

Olovo trinitrorezorcinat opisao je 1914. godine von Hertz. Wallbaum je utvrdio da je relativno slab inicijator u usporedbi s ostalim inicijalnim eksplozivima. Mojsak je dokazao da se olovni stifnat može upotrijebiti kao izolacijski materijal za olovni azid, tj osigurava zaštitu od mehaničkih i kemijskih utjecaja, a istodobno povećava detonatorsku sposobnost ukupnog naboja. [2]

Olovo trinitrorezorcinat je kristalan prah narančasto žute ili tamno smeđe boje. Praktički je netopiv u vodi i slabo topiv u acetonu i etanolu, a u kloroformu, benzenu i toluenu je netopljiv. Uglavnom se koristi kao inicijalni eksploziv u obliku smjese s olovnim azidom. Brzina detonacije mu je 5200m/s [1]

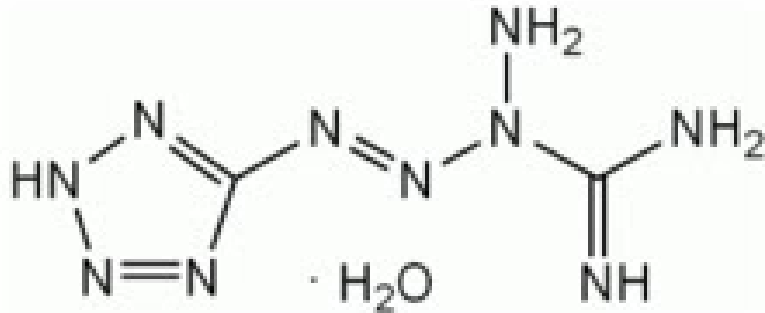
Najosjetljiviji je na iskru ili plamen, a manje je osjetljiv na početni impuls udara ili trenja. Osjetljivost olovo trinitrorezorcinata smanjuje se povećanjem vlage kristala.[6]

Dobiva se tako da se u vodenu otopinu stifninske kiselina doda soda bikarbona, iz toga će se dobiti natrijev stifnat. Ako se u njegovu 3% otopinu ulije 15% otopina olovnog nitrata, na dnu će se dobiti talog olovo trinitrorezorcinata. Zatim se filtrira, pere u vodi i alkoholu i suši. [3]



Slika 6: Olovo trinitrorezorcinat  
(Izvor: [http://www.powerlabs.org/chemlabs/lead\\_styphnate.htm](http://www.powerlabs.org/chemlabs/lead_styphnate.htm))

## 2.1.4 Tetrazen



Slika 7: Strukturna formula tetrazena  
(Izvor: <https://sites.google.com/site/energeticchemical/tetrazene>)

Tablica 4: Svojstva tetrazena (Izvor: [1])

Empirijska formula	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> N <sub>10</sub> O
Molekularna masa	188.2
Energija formiranja	+270.2 kcal/kg = +1130 kJ/kg
Entalpija formiranja	+240.0 kcal/kg = +1005 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-59.5%
Sadržaj dušika	74.43%
Gustoća	1.7 g/cm <sup>3</sup>
Test u olovnom bloku	155 cm <sup>3</sup> /10g
Točka deflagracije	140°C = 294 °F
Osjetljivost na udar	0.1 kp m= 1N m

Tetrazen su prvi pripremili Hoffman i Roth 1910. godine. Oni su proučavali njegove kemijske reakcije i odredili njegovu strukturu. W. H. Rinkenbach i O. Burton proveli su opsežno istraživanje o tetrazenu i opisali njegovu proizvodnju i eksplozivna svojstva.[2]

Tetrazen je klasificiran kao inicijalni eksploziv, ali njegov vlastiti inicijalni učinak je slab. To su igličasti kristali od bezbojne do svijetložute boje. Praktički je netopiv u vodi, alkoholu, eteru, benzenu i ugljikovom tetrakloridu. Pripravljen je reakcijom između soli aminoguanidina i natrijevog nitrita. Tetrazen je učinkovit primjer tvari koji se raspada bez ostavljanja bilo kakvog ostatka . Njegova osjetljivost na udar i na trenje je jednaka živinom fulminatu. Razlika je u tome što mu s porastom vlage ne pada osjetljivost na udar. Osjetljiv je na plamen. [1]



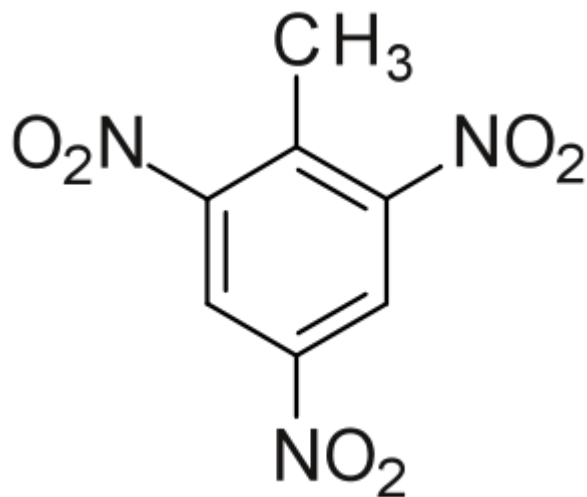
Slika 8: Tetrazen (Izvor: <http://olimpotvet.ru>)

## 2.2 Brizantni eksplozivi

Brizantni eksplozivi razlikuju se od inicijalnih po tome da plamenom ne mogu prouzročiti detonaciju. Ako ih zapalimo obično samo gore i ne detoniraju. Iniciramo ih inicijalnim eksplozivima. Razorna moć im je velika, mnogo veća od inicijalnih eksploziva. [5]

Danas od velikog broja vrsta brizantnih eksploziva samo pojedine vrste nalaze primjenu u naoružanju, pošto većina ostalih ne ispunjava osnovne uvjete koji se postavljaju vojnim eksplozivima. Osnovnu grupu brizantnih eksploziva koji se primjenjuju u naoružanju predstavljaju nitrospojeva aromatičnog reda, poput trotila, pikrinske kiseline i tetrila. Iz skupine nitramina, koji se dobivaju nitriranjem amina, naročit značaj ima heksogen. Daljnju skupinu predstavljaju nitrati ili esteri dušične kiseline, nitroglicerina, pentrit, nitroceluloza i dr. Čist nitroglicerina ne nalazi nikakvu primjenu zbog izvanredne osjetljivosti, a nitroceluloza se obično prerađuje u barute, tako da se iz ove skupine samo pentrit koristi kao brizantni eksploziv. [3]

### 2.2.1 Trotil



Slika 9: Strukturna formula trotila  
(Izvor: <http://chemsee.com/explosives-detection/targets/tnt/>)

Tablica 5: Svojstva trotila (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_7H_5N_3O_6$
Molekularna masa	227.1
Energija formiranja	-52.4 kcal/kg = -219.0 kJ/kg
Entalpija formiranja	-70.6 kcal/kg = -295.3 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-73.9%
Sadržaj dušika	18.50%
Volumen plinovitih produkata detonacije	825 l/kg
Toplina eksplozije	871 kcal/kg = 3646 kJ/kg
Specifična energija	92.6 mt/kg = 908 kJ/kg

Gustoća	Kristal-> 1.654 g/cm <sup>3</sup> Otopljen-> 1.47 g/cm <sup>3</sup>
Točka skrućivanja	80.8 °C = 177.4 °F
Toplina spajanja	23.1 kcal/kg=96.6 kJ/kg
Specifična toplina pri 20°C	0.331 kcal/kg = 1.38 kJ/kg
Test u olovnom bloku	300cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	6900m/s = 22600 ft/s
Točka deflagracije	300°C = 570 °F
Osjetljivost na udar	1.5 kp m = 15 N m

Trotil ili skraćeno TNT prvi je izumio J. Wilbrand 1863.g. Kasnije su ga proizveli Kuhlberg, Beilstein i Tiemann ali je svaki koristio drugačije metode. 30 godina kasnije Hausermann počinje proizvoditi TNT na industrijskoj razini. Nakon 1901. počeo se koristiti kao vojni eksploziv. Prva nacija koja ga je koristila u vojne svrhe bila je Njemačka. Tijekom 1. svjetskog rata sve velike sile koristile su TNT, al je količina korištenja bila ograničena zbog slabe dostupnosti toluena. Prije Drugog svjetskog rata razvio se sintetički toluen iz nafte te mu se povećava proizvodnja i postaje jedan od najvažnijih vojnih eksploziva još i u današnje vrijeme [2]

TNT je gotovo netopiv u vodi, slabo topljiv u alkoholu. Topiv je u benzenu, toluenu i acetonu. Proizvodi se nitracijom toluena s dušičnom i sumpornom kiselinom u nekoliko koraka. U nitraciji sudjeluje samo dušična kiselina, a sumporna upija vodu koja se dobiva kao produkt nitracije. Na kraju se produkt ispiri toplom vodom. Za vojnu uporabu mora biti slobodan od bilo kojeg izomera osim 2,4,6. To se može učiniti rekristalizacijom u organskim otapalima (alkohol, benzen) ili u 62% dušičnoj kiselini. Nesimetrični izomeri mogu se uništiti ispiranjem s otopinom natrijevog sulfita. Ova obrada ipak donosi velike količine otpadnih voda. Čistoća produkta određena je njegovom točkom skrućivanja. Minimalna vrijednost za vojne svrhe je 80,2 °C. Vrijednost čistog 2,4,6-izomera je 80,8 °C. Zbog postupka rekristalizacije nitratne kiseline, trenutno su dostupni proizvodi sa skrućivanjem od 80,6 i 80,7 °C. Stabilan je i ne reagira s metalima. Trotil je i dalje najvažniji eksploziv za punjenje oružja. Može se koristiti zasebno ili u smjesama s drugim eksplozivima. [1]

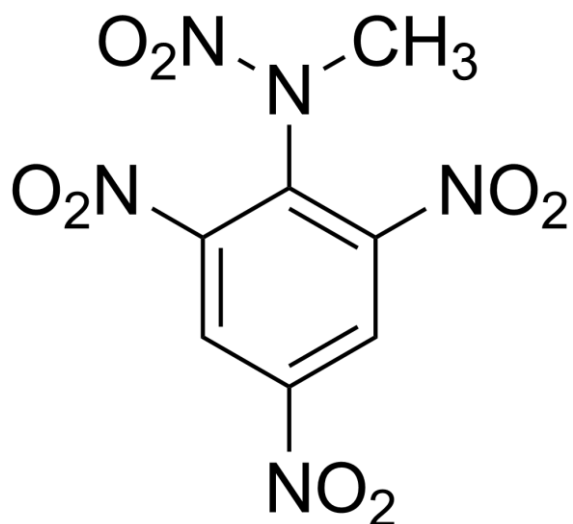
Trotil se primjenjuje za punjenje artiljerijskih zrna, bombi, mina i torpeda u lijevanom i prešanom stanju. [3]



Slika 10: Trotil

(Izvor :<https://xplosives.net/wp/sekundaersprengstoffe/trinitrotoluol-tnt/>)

### 2.2.2 Tetril



Slika 11: Strukturna formula tetrila

(Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/236049206\\_fig3\\_Figure-2-Scheme2-Structure-of-tetryl-and-its-degradation-products-N-methylpicram](https://www.researchgate.net/figure/236049206_fig3_Figure-2-Scheme2-Structure-of-tetryl-and-its-degradation-products-N-methylpicram))

Tablica 6: Svojstva tetrila (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_7H_5N_5O_8$
Molekularna masa	287.1
Energija formiranja	+35.3 kcal/kg = +147.6 kJ/kg
Entalpija formiranja	+16.7 kcal/kg = +69.7 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-47.4%
Sadržaj dušika	24.39%
Volumen plinovitih produkata detonacije	861 l/kg
Toplina eksplozije	996 kcal/kg = 4166 kJ/kg
Specifična energija	123 mt/kg = 1208 kJ/kg
Gustoća	1.73 g/cm <sup>3</sup>
Točka skrućivanja	129.5°C = 265°F
Toplina spajanja	19.1 kcal/kg = 80 kJ/kg
Test u olovnom bloku	410 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	7570 m/s = 24800 ft/s
Točka deflagracije	185°C = 365°F
Osjetljivost na udar	0.3 kp m = 353 Nm
Osjetljivost na trenje	36 kp = 353 N
Test kritičkog dijametra u čeličnoj cijevi	6 mm

Tetril su prvi opisali W. Michler i C. Meyer 1879. godine. 1886. godine P. van Romburgh i K. H. Mertens proučavali su njegova svojstva i dokazali strukturu. Nije se koristio kao eksploziv sve do Prvog svjetskog rata.[2]

Tetril je otrovan, netopiv je u vodi, slabo topljiv u alkoholu, eteru i benzenu i lakše je topljiv u acetonu. Dobiva se otapanjem mono i dimetilanilina u sumpornoj kiselini i dodavanjem te otopine u dušičnu kiselinu, uz hlađenje. Moćan eksploziv, s zadovoljavajućom snagom iniciranja koja se koristi za proizvodnju primarnih i sekundarnih naboja za detonatorske kapsule. Zahvaljujući relativno visokoj točki taljenja, koristi se prešan. [1]

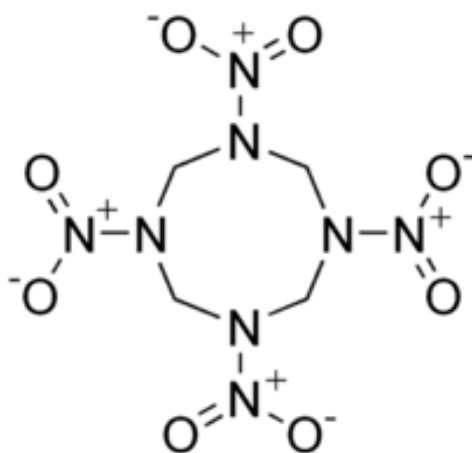




Slika 12: Tetril

(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

### 2.2.3 Heksogen



Slika 13: Strukturna formula heksogena

(Izvor: [https://www.revolvy.com/topic/HMX-1&item\\_type=topic](https://www.revolvy.com/topic/HMX-1&item_type=topic))

Tablica 7: Svojstva heksogena (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_3H_6N_6O_6$
Molekularna masa	222.1
Energija formiranja	+401.8 kJ/kg
Entalpija formiranja	+301.4 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-21.6%
Sadržaj dušika	37.84%
Volumen plinovitih produkata detonacije	903 l/kg
Toplina eksplozije	5647 kJ/kg
Specifična energija	1375 kJ/kg
Gustoća	1.82 g/cm <sup>3</sup>
Talište	204°C
Toplina spajanja	161 kJ/kg
Test u olovnom bloku	480 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	8750 m/s
Osjetljivost na udar	7.5 N m
Osjetljivost na trenje	120 N
Test kritičkog dijametra u čeličnoj cijevi	8 mm

Heksogen je topiv u acetonu, netopiv u vodi i slabo topljiv u eteru i etanolu. Na povišenim temperaturama se otapa u cikloheksanonu, nitrobenzenu i glikolu. Njegova snaga je visoka zbog visoke gustoće i visoke brzine detonacije. Relativno je neosjetljiv (u usporedbi s pentitrom, koji je eksploziv slične snage) i vrlo je stabilan.[1]

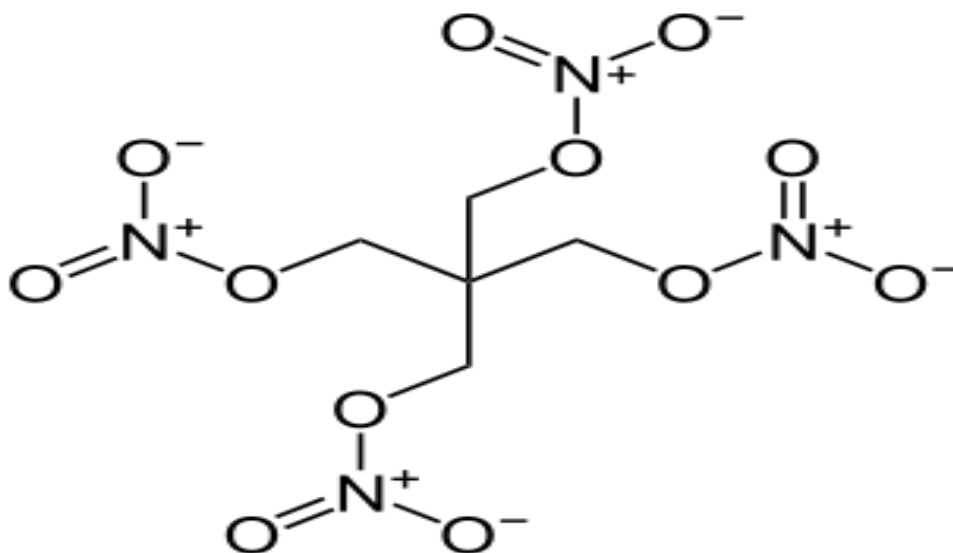
Dobiva se nitracijom urotropina. Urotropin je kristalno bijelo tijelo. Higroskopian je i dobro se otapa u vodi. Ima više načina za dobivanje heksogena. Prva faza je nitriranje dodavanjem dušične kiseline u vodenu otopinu urotropina na niskoj temperaturi. Tako se dobiva nitrat urotropina. U drugoj fazi se sipa nitrat u koncentriranu dušičnu kiselinu uz dobro hlađenje i dobiva se heksogen. Potom se vrši taloženje i njegovo odvajanje od kiseline, kuhanje s vodom u autoklavu pod pritiskom, sušenje i pakiranje. Za dobivanje čistog heksogena pročišćavanje se vrši kristalizacijom iz acetona. Zbog visoke cijene i velike osjetljivosti još nema široku

primjenu. Suh se ne smije transportirati, nego s 25% vode ili u flegmatiziranom stanju. Nakon toga se na mjestu uporabe mora ponovno sušiti. Heksogen se u smjesi s 50-70% trotila upotrebljava za izradu punjenja gdje je potreban snažan efekt (protutenkovske mine). Čist se upotrebljava samo za sekundarna punjenja detonatorskih kapsula.[3]



Slika 14: Heksogen  
(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

#### 2.2.4 Pentrit



Slika 15: Strukturna formula pentrita  
(Izvor: <http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2006/Macgee/Web%20Project/glossary.htm>)

Tablica 8: Svojstva pentrita (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_5H_8N_4O_{12}$
Molekularna masa	316.1
Energija formiranja	-385.0 kcal/kg = -1610.7 kJ/kg
Entalpija formiranja	-407.4 kcal/kg = -1704.7 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-10.1%
Sadržaj dušika	17.72%
Volumen plinovitih produkata detonacije	780 l/kg
Toplina eksplozije	1398 kcal/kg = 5850 kJ/kg
Specifična energija	123 mt/kg = 1205 kJ/kg
Gustoća	1.76 g/cm <sup>3</sup>
Talište	141.3°C = 286.3°F
Toplina spajanja	36.4 kcal/kg = 152 kJ/kg
Specifična toplina	0.26 kcal/kg = 1.09 kJ/kg
Test u olovnom bloku	523 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	8400m/s = 27600 ft/s
Točka deflagracije	202°C = 396 F
Osjetljivost na udar	0.3 kp m = 3 N m
Osjetljivost na trenje	6 kp = 60 N
Test kritičkog dijametra u čeličnoj cijevi	6 mm

Pentrit se počinje koristiti kao eksploziv 1894. godine ,kada je bio predložen kao dodatak bezdimnim barutima kako bi se povećala zapaljivost i lakoća izgaranja. Pentrit nije korišten na praktičnoj osnovi sve do Prvog svjetskog rata. [2]

Vrlo je stabilan, netopiv u vodi, slabo topljiv u alkoholu, eteru i benzenu, i topiv u acetonu i metil acetatu. Pripravlja se dodavanjem pentaeritrola u koncentriranu dušičnu kiselinu uz učinkovito miješanje i hlađenje, nakon toga dolazi do formiranja kristala. Jedan je od najmoćnijih eksploziva. Koristi se u izradi detonirajućeg štapina i u punjenju detonatorskih kapsula. Ako se flegmatizira prešanjem i dodavanjem voska može se koristiti i za projekte manjeg kalibra. [1]

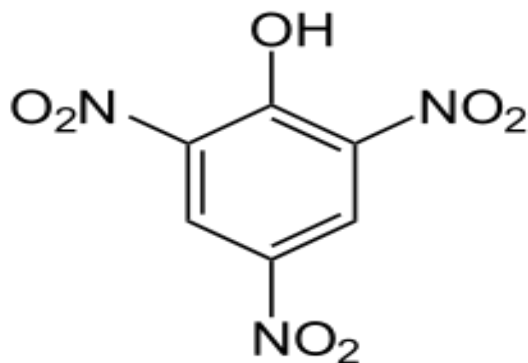
Flegmatizira se parafinom, voskom ili vazelinom. Nije higroskopan i ne topi se u vodi, ali se dobro topi u acetonu. Na metale ne djeluje i kemijski je stabilan ukoliko je čist. Kemijska stabilnost mu se smanjuje ako nije očišćen od kiseline [3]



Slika 16: Pentrit

(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

### 2.2.5 Pikrinska kiselina



Slika 17: Strukturna formula pikrinske kiseline (Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/236049206\\_fig3\\_Figure-2-Scheme2-Structure-of-tetryl-and-its-degradation-products-N-methylpicramid](https://www.researchgate.net/figure/236049206_fig3_Figure-2-Scheme2-Structure-of-tetryl-and-its-degradation-products-N-methylpicramid))

Tablica 9: Svojstva pirinske kiseline (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_6H_3N_3O_7$
Molekularna masa	229.1
Energija formiranja	-242.5 kcal/kg = -1014.5 kJ/kg
Entalpija formiranja	-259.3 kcal/kg = -1084.8 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-45.4%
Sadržaj dušika	18.34%
Volumen plinovitih produkata detonacije	826 l/kg
Toplina eksplozije	(H <sub>2</sub> O tekući) 822 kcal/kg = 3437 kJ/kg (H <sub>2</sub> O plin) 801 kcal/kg = 3350 kJ/kg
Specifična energija	101 mt/kg = 995 kJ/kg
Gustoća	1.767 g/cm <sup>3</sup>
Točka skrućivanja	122.5°C = 252.5°F
Toplina spajanja	18.2 kcal/kg = 76.2 kJ/kg
Specifična toplina	0.254 kcal/kg = 1.065 kJ/kg
Test u olovnom bloku	315 cm <sup>3</sup> /10 g
Brzina detonacije	7350 m/s
Točka deflagracije	300°C = 570 °F
Osjetljivost na udar	0.75 kp m = 7.4 N m
Osjetljivost na trenje	Do 353 N
Test kritičkog dijametra u čeličnoj cijevi	4 mm

Pikrinsku kiselinu je prvi pripremio P. Wouluff reakcijom dušične kiseline i indiga. Pikrinsku kiselinu je proučavalo mnogo kemičara al njezin pravi identitet odredio je A. Laurent 1841. g. E. Trumpin 1885. je prvi predložio njeno korištenje za eksplozivne svrhe. Velika Britanija prva ju je koristila u vojnoj industriji, a nakon nje i ostale zemlje. Pikrinska kiselina korištena je sve do oko 1900. godine nakon čega je postupno zamjenjuje TNT. [2]

Pirinska kiselina je toksična, topljiva u toploj vodi i lako topiva u alkoholu, eteru, benzenu i acetonu. Eksplozivna snaga nešto je bolja od TNT-a- Pripravljena je otapanjem fenola u sumpornoj kiselini i naknadnom nitracijom dobivene kiseline

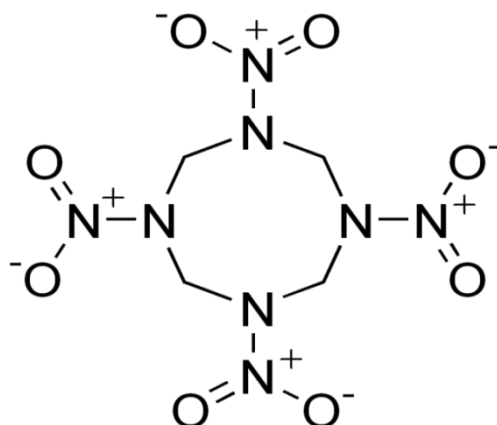
dušičnom kiselinom ili daljnjom nitracijom dinitrofenola . Sirovi produkt je pročišćen ispiranjem u vodi. [1]

Pikrinska kiselina je kemijski stabilna, razlaže se tek na temperaturi preko 160 ° C. Točka samozapaljenja pikrinske kiseline je između 300 i 320 ° C. Ako se zapali gori brže od trotila crnim gustim dimom. Povećanjem temperature osjetljivost joj se povećava, a povećanjem gustoće prešanja smanjuje. Pri normalnim uvjetima osjetljivija je na inicijaciju od trotila. Danas se sve manje primjenjuje zbog štetnog djelovanja na ljudski organizam i jer se u kombinaciji s metalima stvaraju pikrati. [3]



Slika 18: Pikrinska kiselina (Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

## 2.2.6 Oktogen



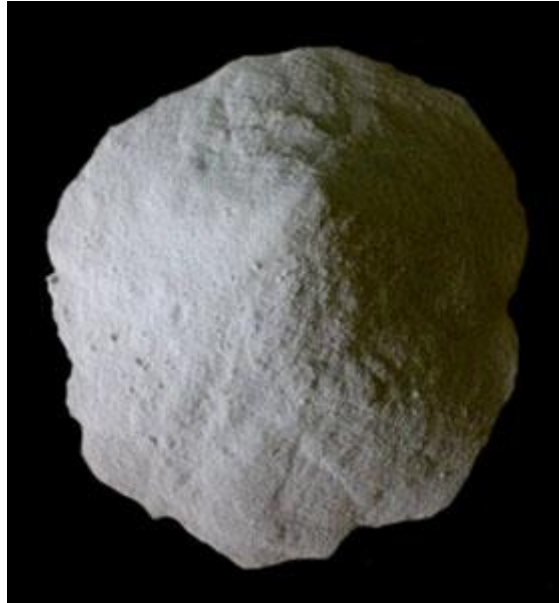
Slika 19: Strukturna formula oktogena  
(Izvor: <https://www.shutterstock.com/image-vector/explosive-compounds-2d-chemical-structures-set-136016789>)

Tablica 10: Svojstva oktogena (Izvor: [1])

Empirijska formula	$C_4H_8N_8O_8$
Molekularna masa	296.2
Energija formiranja	+84.5 kcal/kg = +353.6 kJ/kg
Entalpija formiranja	+60.5 kcal/kg = +253.3 kJ/kg
Ravnoteža kisika	-21.6%
Sadržaj dušika	37.83%
Volumen plinovitih produkata detonacije	902 l/kg
Toplina eksplozije	1255 kcal/kg = 5249 kJ/kg
Toplina detonacije	1480 kcal/kg = 6197 kJ/kg
Specifična energija	139 mt/kg = 1367 kJ/kg
Gustoća $\beta$ -modifikacije	1.96 g/m <sup>3</sup>
Talište	275°C = 527°F
Specifična toplina	0.3 kcal/kg pri 80°C
Test u olovnom bloku	480 cm <sup>3</sup> /10g
Brzina detonacije	9100m/s = 29800 ft/s
Točka deflagracije	287°C = 549 °F
Osjetljivost na udar	0.75 kp m = 549 °F
Osjetljivost na trenje	12 kp = 120 N
Test kritičkog dijametra u čeličnoj cijevi	8mm



Oktogen je bijeli kristalni prah koji se pojavljuje u četiri modifikacije, od kojih samo  $\beta$ -modifikacija ima visoku gustoću a time i brzinu detonacije. Netopiv je u vodi, a topljivost u drugim otapalima mu nalikuje na topljivost hekogena. Oktogen je nastao kao nusproizvod iz proizvodnje heksogena Bachmannovim postupkom. Najčešće se koristi za izradu plastičnih eksploziva [1]

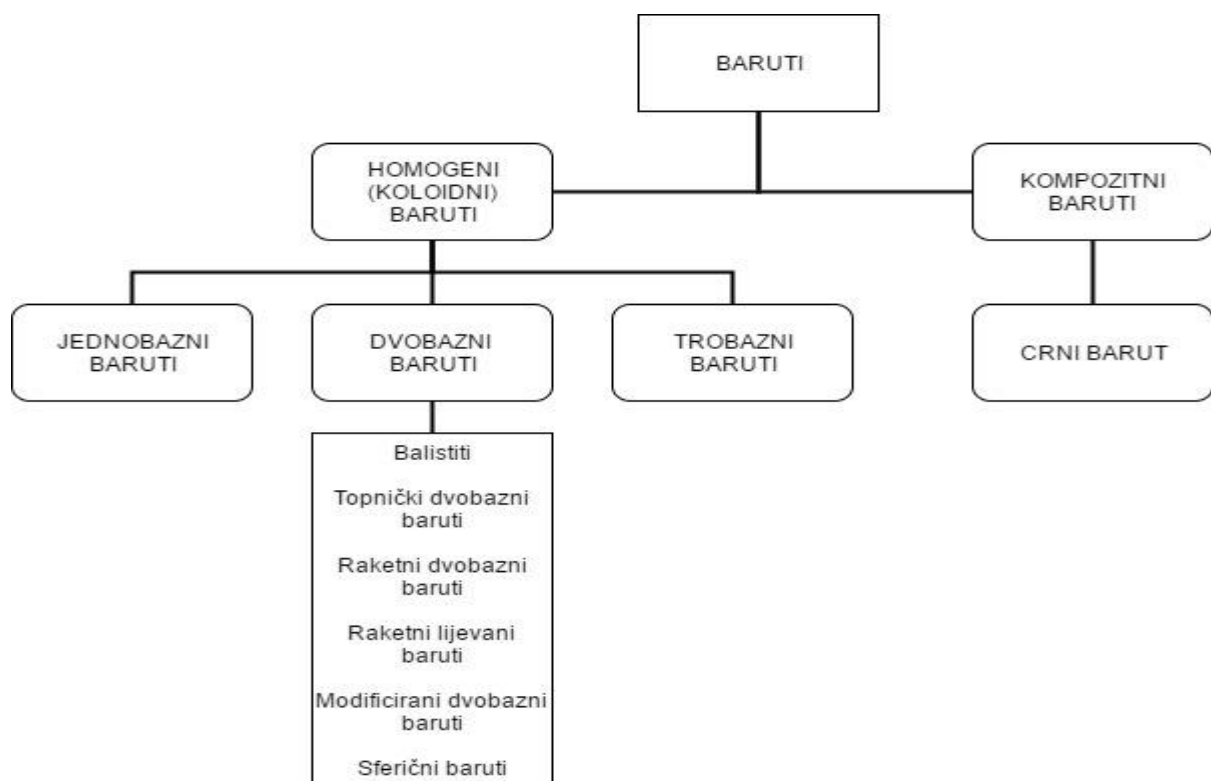


Slika 20: Oktogen  
(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva> )

### 2.3. Baruti

Baruti su eksplozivne tvari za koje je karakteristično izgaranje kao osnovni oblik kemijske pretvorbe u plinovite proizvode, koji se koriste za izbacivanje projektila iz cijevi oružja i za pogon raketnih projektila. Zato se svrstavaju u potisne ili pogonske eksplozivne tvari (PET). Prvi barut je crni barut., a prvi dokaz o poznavanju crnog baruta može se pripisati franjevačkom svećeniku Rogeru Baconu. U djelu „ O čudesnoj moći umijeća i prirode“, iz 1242. godine, na jednom mjestu kaže: „Uzmi sedam dijelova salitre, pet dijelova grančica od lijeske i pet dijelova sumpora pa ćeš pozvati prasak i razaranje...“. Zamijene li se grančice lijeske s drvenim ugljenom očito

je da se radi o crnom barutu kojemu je sastav: 41,2 % salitre (kalijeve nitrata), 29,4 % drvenog ugljena i 29,4 % sumpora. Primjena crnog baruta kao naboja za izbacivanje projektila iz cijevi oružja počinje potkraj 14. stoljeća. Sve do polovice 19. stoljeća crni barut ostaje jedini poznati barut. Godine 1832. Bracannot otkriva da potapanjem škroba ili drvene strugotine u koncentriranu dušičnu kiselinu nastaje bijela tvar topljiva u mješavini etiletera i etanola, koja se lako pali i izgara. Ta tvar nazvana je koloidin. Nekoliko godina nakon otkrića da se obradom celuloze dušičnom kiselinom dobiva snažna goriva tvar pojavila se i ideja o korištenju nitroceluloze kao zamjene za crni barut. Tada počinje i razvoj koloidnih nitroceluloznih barute koje svrstavamo u jednobazne barute. Drugi tip koloidnih malodimnih baruta pronađen je 1888. godine u laboratorijima Alfreda Nobela. To je bio balistit kojeg svrstavamo u dvobazne barute zato što se enitroceluloza otapa u nitroglicerinu. Kasnije su se razvili različiti topnički i raketni dvobazni baruti pa i sferični dvobazni baruti. Dodavanjem nitroguanidina razvili su se trobazni baruti, a poslije Drugog svjetskog rata počeli su se osvajati i kompozitni baruti, koji su heterogena mješavina anorganskih soli bogatih kisikom (oksidant) i asfalta, prirodne gume ili sintetičkih polimernih materijala koji su istovremeno vezivna i goriva supstanca. [6]



Slika 21: Podjela baruta (Izvor: [6])

### 2.3.1 Jednobazni baruti

Jednobazni nitrocelulozni (NC) baruti izrađeni su isključivo od nitroceluloze kao osnovne sastavnice. Dobivaju se otapanjem visoko nitrirane nitroceluloze u pogodnom otapalu, pri čemu nastaje koloidna masa koja se može mehanički obrađivati u željeni oblik barutnih zrnaca. Upotrebjeno otapalo nije kemijski vezano s nitrocelulozom te se nakon mehaničke obrade uklanja iskuhavanjem i sušenjem. Osim nitroceluloze jednobazni baruti u sastavu imaju i stabilizator kojemu je uloga usporiti proces termičke dekompozicije nitroceluloze, tj. usporiti proces starenja baruta i produljiti mu vijek upotrebljivosti. Kao stabilizator se obično rabi difenilamin. Neki američki jednobazni baruti u sastavu imaju dinitrotoluen i dibutilftalat, kojemu je uloga smanjivanje topline izgaranja i higroskopsnosti baruta. Radi dotjerivanja nekih balističkih značajki (npr. povećanja progresivnog izgaranja) jednobazni baruti mogu sadržavati i aditive kakvi su centralit, kamfor i sl. Osjetljivost na udar ovisi o sastavu baruta, odnosno o sadržaju dušika u nitrocelulozi te o veličini barutnih zrna. Bitan utjecaj na osjetljivost na udar ima i površinska obrada baruta. Primjerice barutna zrna polirana sa 3% centralita imaju osjetljivost na udar dvostruko manju nego ista takva nepolirana zrna. Mogu detonirati ako se iniciraju snažnim inicijalnim nabojem, kao što je 50 -100 grama brizantnog eksploziva. Pritom brzina detonacije, ovisno o veličini barutnih zrna, njihovoj gustoći i uvjetima izvedbe pokusa, može iznositi i do 7200 m/s. Isto tako ako se zapali količina veća od 50 tona jednobaznog baruta, izgaranje će prijeći u detonaciju. Pri proizvodnji sadržaj vlage u njima obično je dotjeran na 1,1 do 1,6 %. S vremenom mogu apsorbirati vlagu iz zraka ili se sušiti pa se tako mogu poremetiti i njegova balistička svojstva. Da bi se spriječila apsorpcija vlage iz zraka, jednobazni se baruti moraju čuvati u hermetičkoj ambalaži. Kako bi im smanjili higroskopsnost, u Americi im dodaju do 10% dinitrotoluenai do 5% dibutilftalata. Sunčano svjetlo izaziva promjene mehaničkih svojstava i boje jednobaznih baruta. Te su promjene posljedica reakcija lagane termičke razgradnje nitroceluloze. Sve to uzrokuje starenje baruta. Vijek trajanja im može biti i do tridesetak godina. [6]

Osnovne sirovine za izradu jednobaznih baruta su: nitroceluloza, difenilamin, centralit, dinitrotoluen, dibutilftalat, etileter, etanol, grafit i neki drugi aditivi. Kod različitih jednobaznih baruta sastav varira sukladno potrebnim svojstvima koje mora

zadovoljiti što prvenstveno ovisi o njegovoj primjeni za različite vrste bilo pješačkog ili topničkog streljiva. [6]

Jednobazni baruti se rabe kao barutna punjenja kod streljačkog i topničkog streljiva do kalibra 57 mm. Amerikanci i Francuzi barut primjenjuju i kod topničkog streljiva većih kalibara. Potrebne se balističke performancije pritom postižu oblikom i dimenzijama barutnih zrna. [6]

### **2.3.2 Dvobazni baruti**

Homogeni dvobazni baruti izrađeni su od dviju aktivnih sastavnica: nitroceluloze i nitroglicerina (ili dietilenglikoldinitrata). U takve barute dodaju se i različiti aditivi ovisno o tipu i namjeni baruta. To su stabilizatori (centralit ili difenilamin), želatinizatori za olakšavanje ekstruzija barutnog tijesta (triacetin, dietilftalat, dibutilftalat i sl.), modifikatori balističkih svojstava (olovni stearat, olovni salicilat, olovni acetilsalicilat, dinitrofenilhidrazin i sl.) te modifikatori barutnog potencijala (aluminij u prahu, magnezij u prahu, kalijev perklorat, heksogen, oktogen i dr.). Kod dvobaznih je baruta je nitroceluloza želatinizirana tekućom energetsom sastavnicom -nitroglicerinom, a rjeđe dietilenglikoldinitratom. Nitroglicerina, gusta uljasta tekućina na sobnoj temperaturi ima sposobnost prodiranja u vlaknastu strukturu nitroceluloze želatinizirajući je pritom. Ukopan se sadržaj nitroglicerina u barutu može kretati samo do granice zasićenja nitroceluloze, negdje oko 43%. Iznad te granice nitroglicerina se više ne apsorbira u nitrocelulozi. Između nitroglicerina i nitroceluloze ne stvaraju se dovoljno čvrste kemijske veze tako da je nitroglicerina dovoljno pokretljiv u barutnoj masi i s vremenom može iz njezine unutrašnjosti prodirati na površinu [6]

Dvobazni baruti balistitnog tipa u načelu imaju oko 40% nitroglicerina, 3% aditiva i oko 57% nitroceluloze. Zbog visokog sadržaja nitroglicerina ti baruti imaju vrlo visoku toplinu izgaranja (oko 5000 kJ/kg), odnosno visoku temperaturu izgaranja (iznad 3500 K), posljedica je čega izrazita erozija cijevi oružja pri njihovoj primjeni. Osim toga ovi baruti imaju izraženiji temperaturni koeficijent brzine izgaranja, tj. promjenu

brzine izgaranja s temperaturom nego jednobazni baruti. Na temperaturama višim od 5000 brzina izgaranja raste toliko da može izazvati naglo povećanje tlaka u cijevi oružja, pa čak i rasprskavanje cijevi. Na niskim temperaturama pak može nastupiti eksudacija i kondenzacija nitroglicerina na površini baruta, što se može nepovoljno odraziti na sigurnost. S druge strane zbog visokog sadržaja nitroglicerina i razmjerno niskog sadržaja stabilizatora ovi baruti spadaju u skupinu manje stabilnih baruta pa im je vijek uporabljivosti od 12 do 15 godina. Kada se pripale plamenom, balistiti izgaraju svijetlo žućkastim plamenom. [6]

### **2.3.2.1 Sastav i značajke topničkih dvobaznih baruta**

S obzirom na sastav, odnosno vrijednosti topline izgaranja, topnički se dvobazni baruti dijele na hladne i tople topničke barute. Hladni topnički dvobazni baruti (NGH) imaju toplinu izgaranja pri stalnom volumenu do 3500 kJ/kg. Uglavnom se rabe kao barutna punjenja streljiva za topnička oružja koja imaju dužu i užljebljenu cijev. Topli topnički dvobazni baruti (NGT) imaju toplinu izgaranja pri stalnom volumenu veću od 3500 kJ/kg. Rabe se prvenstveno kao barutna punjenja ne rotirajućih projektila koja se ispaljuju iz ne užljebljenih topničkih cijevi. [6]

### **2.3.2.1 Sastavi značajke sferičnih dvobaznih baruta**

Tipičan je sastav sferičnih dvobaznih baruta :

- nitroceluloza oko 80 “%
- nitroglicerina od 8 do 12 %,
- difenilamin kao stabilizator od 0,75 do 1,5%,
- kalijev nitrat kao aditiv od 1 do 1,5 %
- natrijev sulfat kao aditiv do 0,5 %
- dibutilftalat kao flegmatizator i sredstvo za olakšavanje mehaničkog tretmana barutne mase od 3,5 do 7,5%
- etilacetat i drugi esteri octene kiseline kao otapala. [6]

### 2.3.2.2 Primjena dvobaznih baruta

Dvobazni baruti balistiti prvenstveno se koriste kod oružja s glatkom i kratkom cijevi kao što su različiti minobacači. Topnički dvobazni baruti primjenjuju se kao što sam naziv govori kod različitih topova i haubica. Dvobazni raketni baruti imaju široku primjenu kao pogonsko eksplozivno punjenje za raketne motore različitih dimenzija i namjena. Neki primjeri dvobaznih raketnih baruta proizvedenih postupkom ekstruzije:

- za nevođene rakete tipa zrak-zrak i zrak-zemlja kalibra 37, 57, 68 i 100mm,
- za rakete zemlja-zemlja koji se lansiraju iz višecijevnih lansera kalibra 122, 128, 130, 150 i 240 mm,
- za protuoklopne rakete kao što su SS10, MILAN, KOBRA 9M14, MALJUTKA..
- za vođene rakete zemlja-zrak tipa SAM,

Lijevani dvobazni raketni baruti se pak primjenjuju kao pogonska punjenja raketa većih dimenzija kakve su npr : HONEST JOHN X-202E2 (584 mm), treći stupanj rakete MINUTEMAN-M571A (965 mm), drugi stupanj rakete POLARIS A3X260A3 (1371 mm), prvi stupanj rakete POSEJDON C3PC3-1 (1897 mm) i dr.

Sferični dvobazni baruti zbog svojih balističkih svojstava primjenjuju se isključivo kod streljiva manjih kalibara od 5, 56 do 30 mm, zatim kao pripala kod topničkog streljiva i raketnih motora (zamjena za crni barut) te za elaboriranje temeljnih i dodatnih naboja za minobacače (zamjena za balistitne barute).[6]

### 2.3.3 Trobazni baruti

Trobazni baruti osim nitroceluloze i nitroglicerina imaju i nitroguanidin kao treću aktivnu sastavnicu. Pojavljuju se u Njemačkoj pred početak Drugog svjetskog rata kao pogonska punjenja kod streljiva topničkog oružja velikog dometa i velike početne brzine projektila. Osnovna je značajka tih baruta u usporedbi s ostalim smanjena toplina izgaranja i temperatura produkata izgaranja, a time smanjena i erozija cijevi.

### 2.3.4 Kompozitni raketni baruti

U usporedbi s homogenim barutima, kod kojih nitroglicerini i nitroceluloza kao aktivne sastavnice u svojim molekulama imaju atoma kisika (O) i goriva (C i H), kod kompozitnih su baruta gorive sastavnice (nositelji atoma C, H, Al) i oksidanti (nositelji atoma O) fizički odvojenih tj. nalaze se u različitim molekulama. Tek u barutu te sastavnice bivaju čvrsto povezane vezivnom sastavnicom (vezivom).

Osnovne su značajke raketnih kompozitnih baruta u usporedbi s raketnim dvobaznim barutima:

- visoke energetske značajke, tj. visok specifični impuls,
- veća gustoća barutnog bloka,
- dobra mehanička svojstva u širokom temperaturnom opsegu, dobra kemijska stabilnost,
- razmjerno jednostavna i sigurna tehnologija proizvodnje.

Većina se kompozitnih baruta temelji na amonijevuperkloratu ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ) ili kalijevu perkloratu ( $\text{KClO}_4$ ) kao oksidansima te na različitim vrstama polimernih materijala (poliuretani, poliesteri, polivinilkloridi, polietilen, polibutadieni i sl.) kao vezivnoj a ujedno i gorivoj sastavnici. Kao treća sastavnica kompozitnih raketnih goriva pojavljuju se kovine u prahu (aluminij, litij, berilij, magnezij) izgaranjem kojih se oslobađa velika količina topline a time povećava i specifični impuls. Svojstva im ovise prvenstveno o njihovom sastavu, tj. vrsti i udjelu pojedinih sastavnica. Primjerice vrsta i udio polimera utječu na fizikalno kemijska i mehanička svojstva baruta, vrsta i udio oksidansa i kovina u prahu utječu na vrijednost specifičnog impulsa, vrsta oksidansa i veličina njegovih čestica utječu na brzinu izgaranja itd. Kompozitni se baruti primjenjuju kao pogonsko punjenje raketnih motora različitih dimenzija i namjene. S obzirom na mogućnost reguliranja svojstava baruta sastavom i udjelom pojedinih sastavnica primjenjuju se kod raketa različitih tipova i namjene kao što su: MARC 30B2 (50,8 mm), CHEROKEE TE-146 (134 mm), FALKON TX-58-18 (146 mm),

FALKON TX-143-25 (211 mm), JAVELIN-LPC923 (228 mm), APOLO TE-380 (508 mm), SARGEANT TX-12 (812 mm). SURVEYER (938 mm), UA-1207 (3048 mm) i mnogi drugi. [6]

### **2.3.5 Crni barut**

Crni barut homogenizirana je mješavina kalijevog nitrata, sumpora i drvenog ugljena. Standardni je sastav crnog baruta 75 % kalijevog nitrata, 15 % sumpora i 10 % drvenog ugljena. Vrlo je osjetljiv na mehaničke impulse a osjetljivost mu je na udar i trenje u razini osjetljivosti brizantnih eksploziva heksogena i oktogena. Posebice ga karakterizira velika osjetljivost na plamen i iskru. Vrlo sitne čestice veoma su osjetljive na iniciranje statičkim elektricitetom. Zbog takvih svojstava rad crnim barutom zahtijeva primjenu strogih mjera pirotehničke sigurnosti. Crni je barut vrlo higroskopan. Za razliku od koloidnih baruta nije podložan procesima kemijske razgradnje pa mu je stoga uporabljivost praktički neograničen ako se čuva u hermetičkim prostorima. Pri ugradnji crnog baruta u sklopove streljiva sadržaj vlage u barutu mora biti manji od 1 %. Inače sadržaj vlage u crnom barutu ne smije premašiti 1,5 %. . Brzina izgaranja ovisna je o njegovoj gustoći koja se kreće od 1,72 -1,77 g/cm<sup>3</sup>. Danas se koristi u izradi sporogorećih štapina, kao pripala potisnih eksploziva, pri izradi nekih pirotehničkih smjesa i kod topnikog udara.





Slika 22: Crni barut  
(Izvor: <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

### **3. UVJETI KOJIMA TREBAJU ODGOVARATI VOJNI EKSPLOZIVI**

Vojnim eksplozivima se postavljaju uglavnom ovi uvjeti:

- Da sadrže veliku količinu energije, kako bi se mogao postići što veći materijalni učinak zrna na cilju.
- Da su sigurni pri rukovanju i uporabi. To znači da i pri neopreznom rukovanju eksploziv ne smije djelovati razorno ni kemijski štetno na ljudski organizam.
- Da su neosjetljivi na udar, trenje i slučajne poticaje. Ovaj se uvjet postavlja radi toga da eksploziv u zrnju, dok je u cijevi vatrenog oruđa, ne bi detonirao uslijed velikog pritiska -ubrzanje, a isto tako ni izvan cijevi-pri čuvanju-uslijed neke slučajne iskre ili potresa.
- Da im je stabilnost što veća, što znači da tijekom dužeg čuvanja ne mijenjaju kemijske i fizičke osobine. Praktične promjene temperature i atmosferski

utjecaju ne smiju uzrokovati raspadanje eksploziva, jer bi se ovim umanjilo njihovo djelovanje.

- Da pod utjecajem inicijalnih eksploziva, odnosno sredstva za inicijaciju, potpuno detoniraju.
- Da kemijski ne djeluju na metale s kojima su u dodiru.
- Da se rade iz domaćih jeftinih i lako dostupnih sirovina, makar bili i slabije kvalitete, jer se samo tako može postići masovna i ekonomična proizvodnja.

Pored ovih općih, eksplozivima se postavljaju i posebni uvjeti, kao npr.:

- Da nisu higroskopni, netopivi u vodi, da se lako tope, da su neosjetljivi na udar puščanog zrna, da produkti detonacije rudarskih eksploziva nisu lako zapaljivi i otrovni.

Međutim, nijedan eksploziv ne može idealno zadovoljiti sve iznijete uvjete, te se kod nekih uvjeta moraju činiti ustupci. Pro tome se treba uvijek rukovoditi namjenom eksploziva. Npr. neki eksplozivi koji se ne mogu upotrijebiti za punjenje artiljerijskih zrna, mogu se koristiti za punjenje mina, za rušenje, za rudarske svrhe, za punjenje kazetnih bombi itd ... Zadaća je stručnjaka da uzme sve momente u obzir i razumno ocjeni koji se ustupci mogu učiniti. [3]

#### **4. OPASNO DJELOVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI NA LJUDE**

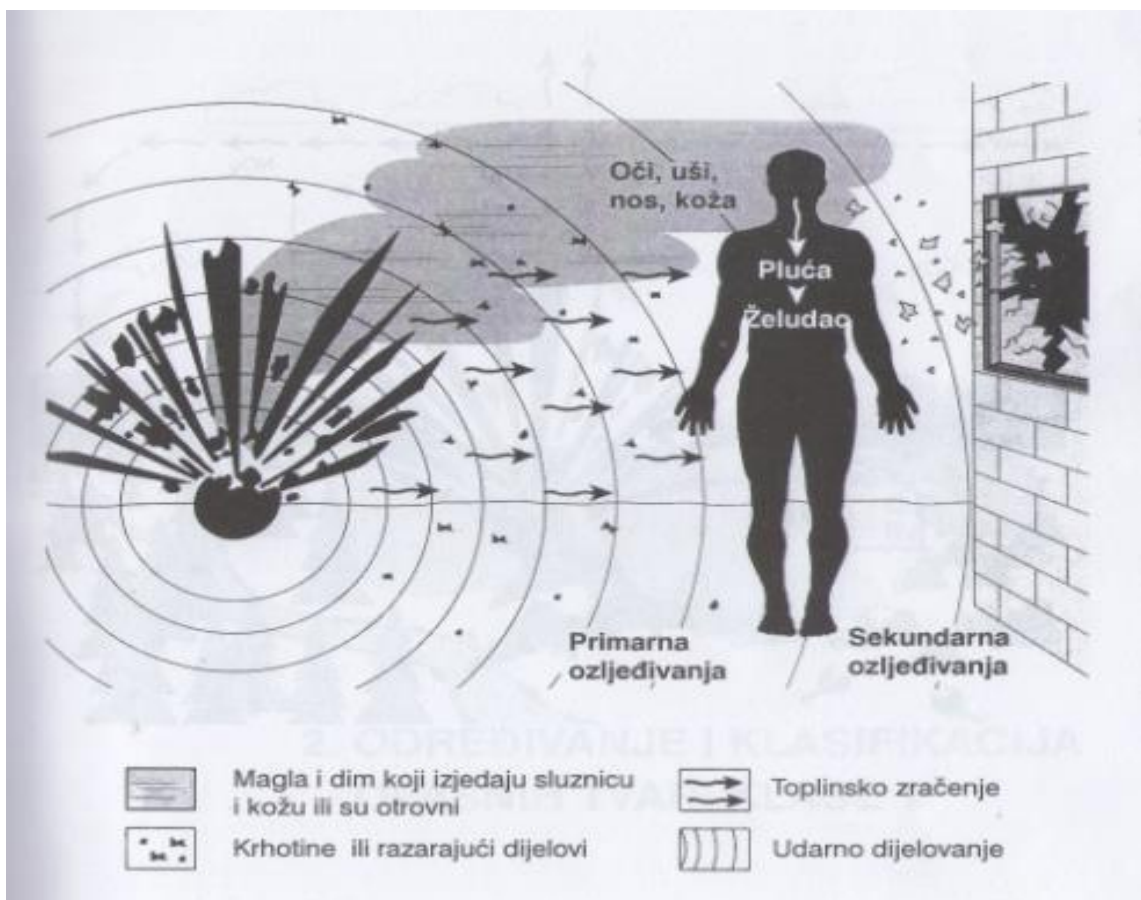
Pri nekontroliranom i opasnom djelovanju eksplozivnih tvari i drugih opasnih tvari poput streljiva, štete koje mogu nastati na ljude i životinje su:

- Ozljede od potisnog udara
- Ozljede od krhotina, razarajućih i udarnih dijelova
- Spaljivanje
- Oštećenje sluznica i kože, otrovanje udisanjem otrovnog dima i magle koji se stvaraju
- Oštećenje očiju i kože nadraživanjem

- Naknadno ozljeđivanje krhotinama raspucanog stakla i dijelova građevina i okoliša
- Trovanje zbog pogrešnog rukovanja otrovnim eksplozivnim tvarima

Najveća ozljeđivanja su ponajprije ovisna o

- Vrsti tvari ili predmeta
- Veličini predmeta, količini eksploziva u njemu i načinu izrade predmeta
- Ukupnoj količini eksplozivne tvari ili drugih opasnih tvari
- Udaljenosti od mjesta eksplozije i negativnog djelovanja
- Stvaranju dima i magle

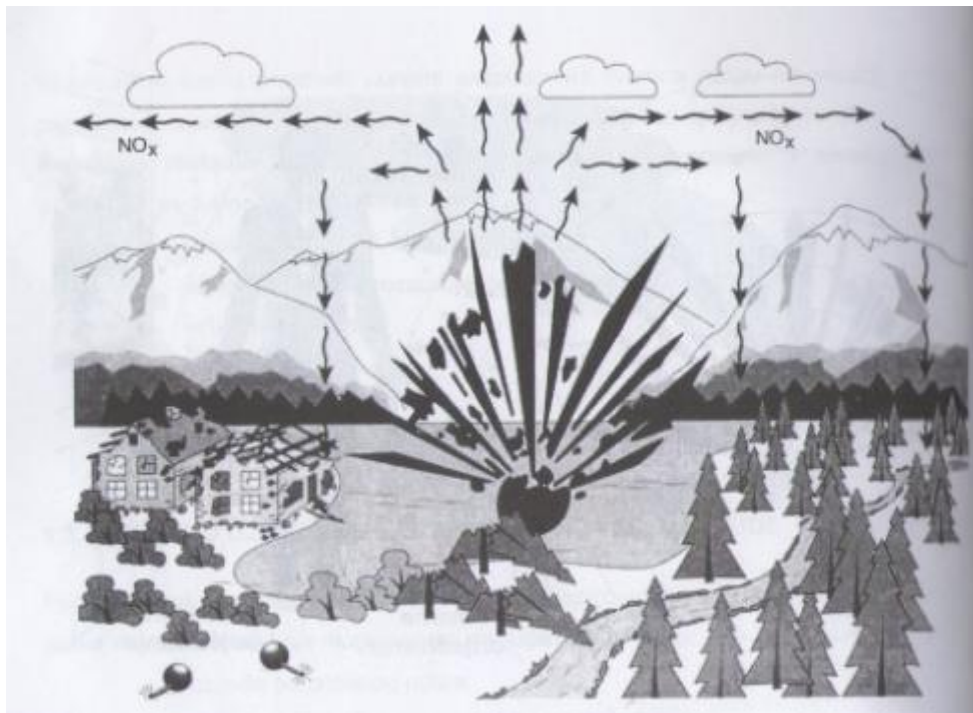


Slika 23: Djelovanje eksplozije na čovjeka (Izvor: [8])

## 5. OPASNO DJELOVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI NA OKOLIŠ

Opasno djelovanje eksplozivnih tvari i predmeta s eksplozivnim punjenjem može biti:

- Lako do teško razaranje građevina
- Zasipanje okoline omotačima eksplozivnih predmeta
- Ugrožavanje okoliša otrovnim eksplozivnim tvarima
- Opasnost od zapaljenja vrućim dijelovima municije ili pakiranja
- Izjedanje korozivnim tvarima udisanjem dimova i para
- Onečišćenje velikim količinama stvorenih negativnih produkata kao što su ugljikov monoksid i dušikov oksid



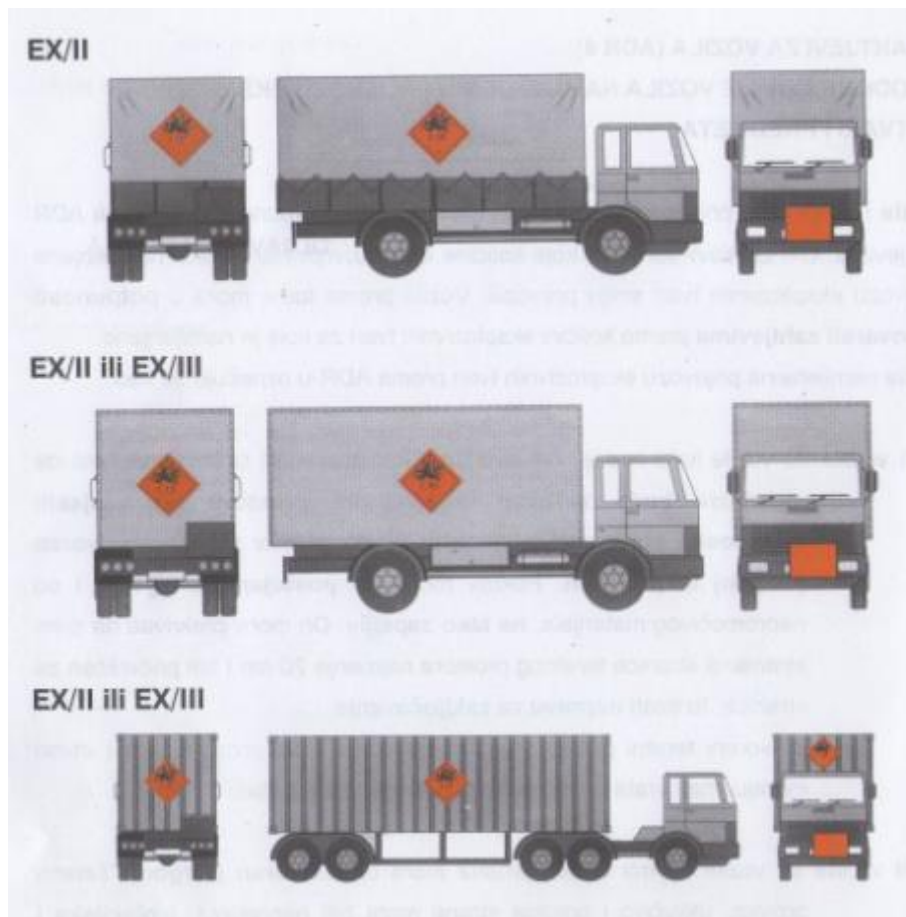
Slika 24: Djelovanje eksplozije na okoliš (Izvor: [8])

## 5. VOZILA ZA PRIJEVOZ EKSPLOZIVNIH TVARI CESTOM

Vozila namijenjena prijevozu eksplozivnih tvari moraju u potpunosti odgovarati ADR zahtjevima. Ovi zahtjevi određuju koje količine eksplozivnih tvari vozila namijenjena prijevozu eksplozivnih tvari smiju prevoziti. Vozilo mora u potpunosti odgovarati zahtjevima prema količini eksplozivnih tvari za koje je namijenjeno. Vozila namijenjena prijevozu eksplozivnih tvari prema ADR-u označuju se kao:

EX/II vozila su vozila koja moraju biti izrađena, konstruirana i opremljena tako da eksploziv bude zaštićen u teretnom prostoru od vanjskih opasnosti i vremenskih utjecaja. Teretni prostor mora biti zatvoren ili prekriven. Pokrov mora biti postojan na trganje i od nepromočivog materijala, ne lako zapaljiv. On mora prekrivati na svim stranama stranice teretnog prostora najmanje 20 cm i biti pričvršćen za stranice, te imati napravu za zaključavanje. Zatvoreni teretni prostor ne smije imati prozore, a svi otvori moraju imati vrata ili pokrov koje je moguće zaključati.

EX/III vozila su vozila kojima teretni prostor mora biti zatvoren. Teretni prostor, uključivo i prednja strana mora biti neprekinut. Izolacijska i toplotna otpornost tijela teretnog prostora mora biti najmanje jednakovrijedna stranici od metalne vanjske površine i vatrootporne drvene ploče debljine 10 mm ili to tijelo mora biti izrađeno tako da vatra ne smije prodrijeti u unutrašnjost u 15 min od početka požara nijedno mjesto u unutrašnjosti se ne smije zagrijati više od 120°C, ako dođe do požara na vozilu. Sva vrata teretnog prostora moraju se dati zaključati, te moraju biti postavljena i konstruirana tako da se njihova „krila“ preklapaju.



Slika 25: Vozila za prijevoz eksplozivnih tvari cestom (Izvor: [8])

Vrsta vozila namijenjena prijevozu eksplozivnih tvari, to jest EX/II i EX/III vozila mogu biti:

- Teretna vozila
- Prikolice
- Poluprikolice
- Vučna vozila (tegljači)- vučno vozilo smije vući samo jedno priključno vozilo

## **6. OSOBNA ZAŠTITNA OPREMA U PROIZVODNJI EKSPLOZIVA**

Zaposlenici u proizvodnji eksplozivnih tvari moraju imati odjeću, obuću, opremu i ostala sredstva osobne zaštite predviđena u radnim propisima. Zaštitna odjeća mora biti izrađena od materijala sukladno opasnostima na radnom mjestu. Odijela moraju biti pogodna za lako skidanje, a dugmad na odijelima ne smiju biti metalna ili celuloidna. Zaštitna radna odjeća mora se održavati u ispravnom stanju, mora biti čista i uredna. Održavanje i pranje zaštitne radne odjeće koja dolazi u dodir s eksplozivnim ili otrovnim tvarima mora biti organizirano u krugu poduzeća, izvan opasnog dijela pogona. Iznošenje takve nečiste radne odjeće izvan kruga poduzeća zabranjeno je. Zaštitna oprema mora se čuvati izvan radne prostorije, na mjestu koje je za to određeno. [9]

## **7. UNIŠTAVANJE EKSPLOZIVNIH SREDSTVA**

Način i zahtjevi za mjesto uništavanja neupotrebljivih eksplozivnih tvari vojne i civilne namjene propisani su odredbama „Pravilnika o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari“ a neupotrebljive su radi: isteka roka uporabe, korozije, neispravnosti, zastarjelosti, nakon procesa delaboracije ili remonta i ne mogu se dovesti u stanje daljnje uporabe, nisu eksplodirale nakon uporabe, ne postoji nikakva potreba za navedenim tvarima, odnosno, moraju se uništiti iz opravdanih razloga. Uništavati eksplozivnih tvari mogu samo pravne ili fizičke osobe koje imaju odobrenje za proizvodnju ili za uporabu eksplozivnih tvari. [9]

Eksplozivne tvari uništavaju se u skladu s uputom proizvođača, na temelju stručne prakse te na temelju odredbi „Pravilnika o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari“, na mjestima gdje je dozvoljena upotreba odnosno uništavanje eksplozivnih tvari. Uništavanje se mora obaviti tako da ne ugrožava živote i zdravlje ljudi, njihovu imovinu i okoliš. Izgradnja mjesta za uništavanje kao i uporaba specijalnih uređaja za uništavanje temelji se na posebnim propisima. S obzirom na vrstu eksplozivnih tvari,

propisuje se uništavanje eksplozivnih tvari isključivo u srodnim grupama kada god je to moguće.[9]

Preporuča se delaboracija sredstava koje imaju pogonsko punjenje kada god je to moguće, na elemente različitih svojstava radi uništavanja u odvojenim grupama (npr. rakete za obranu od tuče, pirotehnička sredstva, artiljerijski raketni projektili – odvajanje i spaljivanje u posebnim grupama raketnog goriva, plastičnih dijelova sa sustavom samouništenja, različitih pirotehničkih efekata, papirnate ambalaže, te npr. uništavanje detonacijom bojnih glava i eksplozivnih efekata i sl.) [9]

Za uništavanje eksplozivnih tvari moraju biti ispunjeni zakonom propisani uvjeti:

- odgovarajuća sigurnost i zaštita okoliša od produkata izgaranja ili detonacije, zračnog udarnog vala, letećih komada, zvučnih i seizmičkih učinaka, otrovnih plinova i isparavanja,
- suglasnost vlasnika zemljišta,
- o načinu, količini, mjestu i vremenu uništavanja potrebno je izvijestiti policijsku upravu nadležnu prema mjestu uništavanja eksplozivnih tvari najmanje 24 sata prije termina određenog za uništavanje,
- obavijest lokalnim sredstvima priopćavanja,
- uništavanje obavlja stručno i osposobljeno osoblje za rad na lokaciji uništavanja,
- odgovarajuća i ispravna oprema za rad,
- uz lokaciju uništavanja moraju se nalaziti sredstva za gašenje početnog požara, primjerena predviđenom postupku uništavanja.[9]

Skupno uništavanje eksplozivnih tvari spaljivanjem na otvorenom prostoru obavlja se na sljedeći način:

- mjesto(a) za spaljivanje ne smije se nalaziti blizu šume, načelno je kružnog oblika (promjera 10 m), a prostor u krugu od 50 m mora biti očišćen od niskog raslinja,
- oko užeg prostora spaljivanja baruta (u slučaju da postoji opasnost) iskopa se kanal širine 0.5 m, koji služi kao prepreka prenošenju plamena na širi prostor,
- barut predviđen za spaljivanje raspoređuje se na uređenom mjestu ravnomjerno po čitavoj površini uz nasipavanje staze za pripaljivanje širine do



20 cm, visine 2 – 3 cm, a dužine 5 – 10 m, u pravcu suprotnom od smjera puhanja vjetra,

- ukoliko ne postoji zaklon, udaljenost zaposlenika za vrijeme paljenja treba biti najmanje 200 m.[9]

Detonatorske kapsle ne uništavaju se spaljivanjem, jer je moguća detonacija cjelokupnog sadržaja kapsula zagrijanih iznad temperature od 150 °C.

Po završetku spaljivanja obavlja se detaljan pregled mjesta spaljivanja, s ciljem utvrđivanja potpunosti procesa. Ekipa ostaje na terenu sve dok postoji tinjanje ili žar na lokaciji spaljivanja eksplozivnih tvari.

Skupno uništavanje eksplozivnih tvari detonacijom na otvorenom prostoru obavlja se na sljedeći način:

- mjesto(a) za uništavanje mora se nalaziti udaljeno od naseljenih mjesta najmanje 1.500 m. U posebnim okolnostima i uz suglasnost nadležnih tijela udaljenost može biti manja,
- uži prostor uništavanja mora biti označen i osiguran,
- zaklon za osoblje mora biti udaljen najmanje 200 m od mjesta uništavanja
- zaklon za palitelja mora biti udaljen najmanje 150 m od mjesta uništavanja,
- zaklon za čuvanje dnevne potrebe sredstava za aktiviranje treba biti na najmanje 150 m od fugasa,
- po jednoj fugasi predviđa se najviše do 50 kg čistog eksploziva (TNT eq). Za uništavanje složenih sredstava i UbS koja sadrže eksplozivne tvari potrebno je poznavanje mase čistog eksploziva u specificiranom sredstvu, radi određivanja broja sredstava ili UbS-a za uništavanje u jednoj fugasi. [9]

Sama operacija skupnog uništavanja odvija se u sljedećim fazama:

- kopanje fugasa: fugase su iskopane jame dubine 80-100 cm, dok je dužina i širina fugase prilagođena sredstvima koja se uništavaju. Za istodobno detoniranje, maksimalni broj fugasa je 10, a koje moraju biti međusobno udaljene najmanje 10 m, uz obaveznu uporabu detonatorskih kapsula s različitim vrijednostima usporenja za iniciranje fugasa.
- slaganje eksplozivnih tvari u fugase: pri slaganju eksplozivnih tvari u fugase, vodi se računa da se na dno fugase slažu eksplozivne tvari s debljim

košuljicama i manjim sadržajem eksplozivnog punjenja, a na vrh fugase se stavljaju eksplozivne tvari koje lagano primaju inicijaciju i te daju dovoljno snažan impuls za cjelovit sadržaj fugase.

- priprema sustava za inicijaciju: sustav za paljenje fugasa je električni, tipično serijska mreža koja povezuje fugase,
- Kao sigurnosna mjera, postavlja se kopča za dezaktiviranje fugasa, za slučaj da izostane detonacija. Po kompletiranju naboja za paljenje, zatrpava se fugasa, najprije pažljivo rukama, a potom se lopatom nanosi sloj zemlje,
- paljenje fugasa: po odlasku osoblja u zaklon, električni vodiči inicijalnog sustava spajaju se na uređaj za paljenje, provjerava se ispravnost mreže te se nakon signala aktivira inicijalno punjenje,
- pregled terena nakon uništavanja: po završenom uništavanju, teren se detaljno pretražuje na daljinama do 350 m od fugasa. Osoblju koje pretražuje teren nije dopušteno dirati odbačene dijelove eksplozivnih tvari, već se poziva specijalista-stručnjak odnosno upravitelj radova. Ako je moguće, odbačeni dijelovi se prikupljaju, te se formira posebna fugasa, koja se uništava s povećanom količinom inicijalnog punjenja. Ako je opasno pomicati dijelove, uz propisane mjere opreza oni se uništavaju na mjestu gdje su pronađeni.[9]

Crni barut i neke pirotehničke tvari mogu se uništavati potapanjem u vodu (tj. razlaganjem kalijevog nitrata) ili spaljivanjem uz pridržavanje svih propisanih mjera zaštite, ako nije drugačije navedeno uputama proizvođača. Detonatorske (električne i neelektrične) kapsule tretiraju se kao najosjetljivije eksplozivne tvari. Mogu se uništavati u fugasama, odvojeno od drugih eksplozivnih tvari. Ukoliko su u originalnom pakiranju tada se ne vade iz njega, a ako su u rasutom stanju tada se slažu u kutije i raspoređuju tako da sa sigurnošću prihvate detonaciju. U fugasi se odjednom može uništiti najviše jedan originalni sanduk (kutija) ili najviše 1000 komada kapsla. Električne detonatorske kapsule se prije uništavanja pripremaju tako, da se odgovarajućim alatom s njih odsijecaju električni vodovi (jedan po jedan, na dužinu 5 – 10 mm). Zatim se kapsle slažu u kutije na način da nisu rastresene, radi boljeg prijenosa detonacije. Radna mjesta za ovu pripremu moraju biti međusobno udaljena najmanje 20 m.[9]

Za vrijeme rada, poduzimaju se i sljedeće mjere sigurnosti:

- uništavanje eksplozivnih tvari obavljaju stručni i ovlaštene zaposlenici osposobljeni za rad s eksplozivnim tvarima. Odgovorna osoba i upravitelj radova moraju imati iskustvo u postupcima uništavanja eksplozivnih tvari,
- prije donošenja eksploziva na mjesto uništavanja, prostor u promjeru minimalno 100 m označava se sa crvenim zastavicama i ograničava se pristup nezaposlenima,
- broj osoba prilikom radova treba svesti na minimum, ograničiti radnu grupu ili grupe koje izvode te poslove pod vodstvom upravitelja radova,
- s radilišta se uklanjaju svi alati, strojevi, kablovi i slično, (sva nepotrebna oprema) izvan područja djelovanja eksplozivnih tvari,
- radna grupa treba biti opremljena ispravnom potrebnom opremom,
- fugase odnosno mjesta za spaljivanje pripremaju se prema elaboratu,
- ni pod kojim uvjetom ne smije se paliti vatra na mjestu uništavanja ili u njegovoj blizini, koristiti svjetiljke s otvorenim plamenom, a pušenje za vrijeme rada nije dozvoljeno,
- nakon što su mjestu uništavanja pripremljena, tehničko osoblje mora pregledati sav preostali eksplozivni materijal, a prazni omoti se moraju odstraniti s mjesta uništavanja. Prazni omoti se otpremaju na odlaganje ili uništenje,
- prije početka uništavanja ili odlaganja treba se uvjeriti da u omotima i transportnoj ambalaži nema preostalih eksplozivnih tvari,
- tehničko osoblje prije početka uništavanja mora obaviti osiguranje područja oko mjesta miniranja zatvaranjem prometa i postavljanjem stražara da bi se spriječio pristup u to područje; mora se voditi briga i o svim osobama koje rade u i oko prostora uništavanja i provjeriti da su za vrijeme aktiviranja sustava na sigurnom i zaštićenom mjestu,
- zvučni signali upozorenja moraju biti poznati svim osobama koje rade u blizini mjesta uništavanja,
- ceste koje vode do područja uništavanja moraju biti osigurane,
- dok se izvodi uništavanje eksplozivnih tvari ni pod kojim uvjetima nije dopušteno nalaziti se na otvorenom nezaštićenom području,
- budući da detonacija eksplozivnog naboja može izazvati štetne plinove i velike količine prašine potrebno je u skloništu pričekati da se sav dim, prašina i

- plinovi razidu. Osim što su dim i plinovi štetni, otežavaju utvrđivanje i opažanje neeksplozivnih eksplozivnih tvari, napuklina, šupljina i drugih opasnih mjesta,
- ako nije došlo do aktiviranja svih fugas, rukovoditelj radova čeka u skloništu najmanje 20 minuta tek nakon toga obilazi mjesto iniciranja i utvrđuje razlog eventualnog zatajenja,
  - jedan zaposlenik smije nositi samo jedno pakiranje eksplozivnih tvari, težine do maksimalno 30 kg bruto. Ako je pakiranje teže od 30 kg nose ga dva zaposlenika. Ako prijenos obavlja više ljudi, a nose pojedinačno, moraju se kretati na razmaku od 10 m, a ako nose po dvojica na razmaku od 20 m,
  - rad na polju za uništavanje odvija se u grupama do četiri zaposlenika. Odgovorna osoba nadzire punjenje fugas i postavljanje inicijalnog punjenja,
  - u slučaju da se treba koristiti i detonirajući štapin, odrezivanje se provodi laganim kretanjem čistog oštrog noža na drvenoj podlozi. Pri tom se kolut detonirajućeg štapina mora razvući u pravcu 25 m od mjesta rezanja,
  - povezivanje fugas se izvodi serijskom vezom,
  - električne upaljače postavlja stručna osoba, određena od upravitelja radova,
  - nakon izvedene detonacije rukovoditelj radova pregledava mjesto te utvrđuje uspješnost uništavanja odnosno da li ima neeksplozivnih sredstava; potom se daje znak o prestanku opasnosti nakon čega radnici mogu izaći iz zaklona i vratiti se na svoja radna mjesta,
  - prilikom postavljanja upaljača u fugase, na mjestu postavljanja ne smije biti nitko osim stručne osobe i upravitelja radova,
  - kada su inicijalna punjenja postavljena daje se prvi signal za opasnost. Na taj znak obustavlja se rad u ugroženoj zoni i zaposlenici se sklanjaju u zaklon. Stražari zatvaraju ugroženo područje, upozoravaju na opasnost i ne dozvoljavaju pristup dok uništavanje nije završeno,
  - stražari (preko odjeće imaju navučene transparentne narančaste bluže) moraju biti upućeni u svoje dužnosti. Vizualnu signalizaciju obavljaju crvenim zastavicama, a glasovnu radio i mobilnom vezom,
  - zvučni signali upozorenja koji se rabe pri uništavanju daju se sirenom, a moraju se čuti na udaljenosti do 300 metara od mjesta uništavana
  - zvučni signal mora imati zvučnu razinu dobrog prijema odnosno čujnosti koja je za 10 dB viša od razine buke u okolini ali ne smije dostizati prag bola.

Zvučni signal mora biti dobro prepoznatljiv glede trajanja impulsa i intervala između impulsa te se jasno razlikovati od drugih zvučnih znakova u okolini, Po završetku rada (uništavanja) svake vrste eksplozivnih tvari, mora se detaljno pregledati lokaciju uništavanja, te zapisnički utvrditi da li je uništenje eksplozivnih tvari izvršeno u potpunosti, ili postoje ostaci koji mogu ugroziti okoliš. Nesagorjele ili neinicirane tvari treba u ponovnom postupku uništiti u potpunosti. U zoni uništavanja treba postaviti dežurstvo od najmanje 120 minuta po završetku rada, radi sprječavanja mogućeg iniciranja požarišta od eventualnog dogorijevanja ili tinjanja ostataka uništavanja. [9]

## ZAKLJUČAK

Eksplziv je kemijski spoj ili smjesa koja se pod vanjskim mehaničkim ili toplinskim impulsima mijenja u plin. U vrlo kratkom vremenu nastaju velike količine plina i toplinske energije. Eksplozija je egzotermna reakcija pri kojoj dolazi do naglog povećanja volumena i oslobađanja energije na „nasilan“ način, uz stvaranje visoke temperature i oslobađanja plinova. Detonacija eksploziva je vrlo brza reakcija koja razvija visoki tlak, seizmičke valove, toplinu i plinove.

Danas se u svijetu proizvodi puno eksplozivnih tvari, kako i za vojne tako iza gospodarske svrhe. Vojni eksplozivi i njihova proizvodnja su pod velikom tajnom a njihovi podaci za opću i privrednu upotrebu su nedostupni i nepotpuni. Eksplozivi koji se upotrebljavaju u vojne svrhe povezana su najčešće sa rušenjem, uništavanjem i ubijanjem. Ukoliko se ne pridržavamo zakona propisa i smjernica o proizvodnji, radu i rukovanju eksplozivima može doći do mnogih opasnosti po život ljudi i sigurnost okoliša. Citat iz knjige M. Pleše „Fizika i kemija eksplozivnih tvari“ najbolje nam opisuje tu situaciju, a taj citat je „Sve je počelo eksplozijom, nemojmo dopustiti da njime i završi sve. Izučavajući fiziku i kemiju eksplozivnih tvari učinili smo prvi korak.“

## LITERATURA

- [1] Meyer R., Köher J., Homburg A.: „Explosives, Sixth, Completely Revised Edition“, Wiley-VCH VerlagGmbH, Weinheim, (2007.), ISBN 978-3-527-31656-4
- [2] AMC Pamphlet: „Engineering design handbook – Explosives series properties of explosives of military interest“, Headquarters, United States army materiel command, Washington. D. C. (1971.)
- [3] Marinković J.: „Baruti i eksplozivi“, vojno delo, Beograd, (1959.)
- [4] Colarič J.: „Eksplozivne materije – priručnik za poznavanje, uskladištenje, transport i primenu eksplozivnih materija“, Novinsko-izdavačko preduzeće, tehnička knjiga, Beograd (1965.)
- [5] Belšak D.: „Miniranje invarnost“ Izobraževalna skupnost za gradbeništvo Slovenije in Zavod SR Slovenije za Šolstvo, Ljubljana 1978.
- [6] Pleše M.: „Fizika i kemija eksplozivnih tvari“, Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Oružane snage RH, Hrvatsko vojno učilište Petar Zrinski, Zagreb (2008.) ISBN 978-953-193-049-9
- [7] Todorovski Đ, Uvalić I.; „Sigurnost i zaštita pri uništavanju vojnih eksplozivnih sredstva“, stručni rad (2016.) UDK 623.365:331.45
- [8] Mekovec I.: „Prijevoz eksplozivnih tvari cestom“ Zagreb (2003.) ISBN 953-99222-2-4
- [9] Narodne novine, Pravilnik o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari, Ministarstvo unutarnjih poslova  
[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009\\_05\\_55\\_1270.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_05_55_1270.html) ( pristupio: 06.06.2017)
- [10] Tehnika miniranja u rudarstvu i građevinarstvu, skripta, Zagreb 2009

# PRILOZI

## Popis slika

Slika 1: Strukturna formula živinog fulminata .....	3
Slika 2: Živin fulminat.....	5
Slika 3: Strukturna formula olovo azida .....	5
Slika 4: Olovo azid .....	7
Slika 5: Strukturna formula olovo trinitrorezorcinata .....	8
Slika 6: Olovo trinitrorezorcinat.....	9
Slika 7: Strukturna formula tetrazena .....	10
Slika 8: Tetrzen.....	11
Slika 9: Strukturna formula trotila.....	12
Slika 10: Trotil.....	14
Slika 11: Strukturna formula tetrila.....	14
Slika 12: Tetril.....	16
Slika 13: Strukturna formula heksogena .....	16
Slika 14: Hekosgen.....	18
Slika 15: Strukturna formula pentrita .....	18
Slika 16: Pentrit .....	20
Slika 17: Strukturna formula pikrinske kiseline .....	20
Slika 18: Pikrinska kiselina .....	22
Slika 19: Strukturna formula oktogena.....	23
Slika 20: Oktogen .....	24
Slika 21: Podjela baruta.....	25
Slika 22: Crni barut .....	32
Slika 23: Djelovanje eksplozije na čovjeka .....	34
Slika 24: Djelovanje eksplozije na okoliš .....	35
Slika 25: Vozila za prijevoz eksplozivnih tvari cestom .....	37



## Popis tablica

Tablica 1: Svojstva živinog fulminata .....	3
Tablica 2: Svojstva olovo azida .....	6
Tablica 3: Svojstva olovo trinitrorezorcinata .....	8
Tablica 4: Svojstva tetrazena.....	10
Tablica 5: Svojstva trotila.....	12
Tablica 6: Svojstva tetrila.....	15
Tablica 7: Svojstva heksogena .....	17
Tablica 8: Svojstva pentrita.....	19
Tablica 9: Svojstva pirinske kiseline .....	21
Tablica 10: Svojstva oktogena.....	23