

# MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE VATROGASACA OD EKSPLOZIVNIH SREDSTAVA PRI INTERVENCIJI

---

**Spudić, Matija**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**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:128:257789>

*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

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti zaštite

Matija Spudić

**MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
VATROGASACA OD EKSPLOZIVNIH  
SREDSTAVA PRI INTERVENCIJI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Matija Spudić

**SAFETY MEASURES AND PROTECTION  
OF FIREFIGHTERS FROM EXPLOSIVES  
DURING INTERVENTION**

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Matija Spudić

**MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
VATROGASACA OD EKSPLOZIVNIH  
SREDSTAVA PRI INTERVENCIJI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

mr.sc. Đorđi Todorovski, dipl.ing.

Karlovac, 2021.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
Karlovac University of Applied Sciences

## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Stručni / specijalistički studij: SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2021.

## ZADATAK ZAVRŠNOG ZADATKA

**Student:** Matija Spudić

**Matični broj:** 0248058552

**Naslov:** Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca od eksplozivnih sredstava pri intervenciji

**Opis zadatka:**

- pojam, podjela, izgaranje i detonacija eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava
- značajke glavnih predstavnika eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava
- općenito o mjestima gdje prijeti opasnost od eksplozije uzrokovane požarom (objekti, minska polja, firme)
- propisane sigurnosne udaljenosti pri eventualnoj eksploziji eksplozivnih sredstava
- mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca od eksplozivnih sredstava pri intervenciji.

Zadatak zadan:  
05/2021.

Rok predaje rada:  
08/2021.

Predviđeni datum obrane:  
09/2021.

Mentor:  
mr.sc. Đorđi Todorovski, dipl.ing.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:  
dr.sc. Zvonimir Matusinović, dipl.ing.

## **PREDGOVOR**

Ovim putem htio bih se zahvaliti mentoru mr.sc. Đorđi Todorovski, dipl.ing. na ukazanom povjerenju i svesrdnoj pomoći tijekom pisanja rada. Također bih se zahvalio i mentoru iz stručne prakse gospodinu Jasminu Kranjčecu i ostalim vatrogascima iz JVP Ivanić Grad koji su izdvojili svoje dragocjeno vrijeme kako bi mi pomogli u pisanju ovoga rada. Naravno zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i svim suradnicima koji su na bilo koji način doprinjeli.

Matija Spudić

## SAŽETAK

U ovome radu obradit ću temu mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca od eksplozivnih sredstava pri intervenciji. Objasnit ću pojam, podjelu, izgaranje i detonaciju eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava, značajke glavnih predstavnika eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava, općenito o mjestima gdje prijeti opasnost od eksplozije uzrokovane požarom (objekti, minska polja, firme), propisane sigurnosne udaljenosti pri eventualnoj eksploziji eksplozivnih sredstava te mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca od eksplozivnih sredstava pri intervenciji.

Ključne riječi: eksplozivna sredstva, eksplozivne tvari, propisane sigurnosne udaljenosti, zaštita vatrogasaca.

## SUMMARY

The final work will explain safety measures and protection of firefighters from explosives during intervention. I will explain concept, division, combustion and detonation of explosives and explosive substances, characteristics of the main representatives of explosives. In general about places where there is a danger of explosion caused by fire (facilities, minefields, companies), prescribed safety distances in the event of explosion from explosives and the safety measures and protection of firefighters from explosives during intervention.

Keywords: explosives, explosive substances, prescribed safety distances, safety for firefighters.

# SADRŽAJ

ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD .....	1
1.1. Predmet i cilj rada.....	1
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja .....	1
2. EKSPLOZIVNE TVARI I EKSPLOZIVNA SREDSTVA .....	2
2.1. Pojam eksplozivnih tvari.....	2
2.2. Podjela eksplozivnih tvari .....	4
2.2. Izgaranje i detonacija eksplozivnih tvari i sredstava .....	7
2.2.1. Eksplozija eksplozivnih tvari i sredstava.....	9
3. GLAVNI PREDSTAVNICI EKSPLOZIVNIH TVARI.....	14
3.1. Inicijalni eksplozivi .....	14
3.1.1. Živin fulminat ( $C_2N_2O_2Hg$ ).....	14
3.1.2. Olovni azid ( $Pb(N_3)_2$ ) .....	15
3.1.3. Tetrazen ( $C_2H_8N_{10}O$ ) .....	17
3.1.4. Dijazodinitrofenol ( $C_6H_2O_5N_4$ ).....	17
3.1.5. Olovo-trinitrorezorcinat ( $C_6H_3N_3O_9Pb$ ).....	18
3.2. Brizantni eksplozivi.....	20
3.2.1. Trotil - TNT ( $C_7H_5N_3O_6$ ) .....	20
3.2.2. Tetril ( $C_7H_5N_5O_8$ ) .....	21
3.2.3. Heksogen ( $C_3H_3N_6O_6$ ) .....	22
3.2.4. Pentrit ( $C_5H_8N_4O_{12}$ ).....	23
3.2.5. Oktogen ( $C_4H_8N_8O_8$ ).....	23



3.3. Baruti.....	24
3.4. Pirotehničke smjese .....	25
4. GLAVNI PREDSTAVNICI EKSPLOZIVNIH SREDSTAVA .....	27
4.1. Klasična eksplozivna sredstva.....	27
4.2. Zrakoplovna eksplozivna sredstva .....	31
4.3. Mornarička eksplozivna sredstva .....	33
5. MJESTA OPASNOSTI OD EKSPLOZIJE UZROKOVANA POŽAROM.....	34
5.1. Objekti OSRH.....	34
5.1.1. Objekt tipa M .....	35
5.1.2. Objekt tipa S .....	36
5.1.3. Objekti tipa PU i U .....	37
5.2. Skladišta MUP-a.....	38
5.2.1. Priručno i privremeno skladište.....	39
5.3. Firme za proizvodnju i/ili remont eksplozivnih sredstava .....	40
5.4. Firme za razminiranje i miniranje.....	41
5.5. Prodavaonice pirotehničkih sredstava i naoružanja .....	42
5.6. Minsko polje .....	43
6. PROPISANE SIGURNOSNE UDALJENOSTI KOD EKSPLOZIJA ES .....	44
6.1. Pirotehnička sigurnosna udaljenost.....	45
6.1.1. Sigurnosna- detonacijska udaljenost - D .....	45
6.1.2. Sigurnosna požarna udaljenost - Dz.....	46
6.1.3. Sigurnosna udaljenost zračnog udarnog vala i sigurnosna seizmačka udaljenost - D .....	47
6.1.4. Sigurnosna udaljenost od razlijetanja krhotina, fragmenata i neeksploziviranih projektila - D .....	48
7. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITA VATROGASACA OD ES PRI INTERVENCIJI. 49	
7.1. Postupak vatrogasaca prilikom prijave za intervenciju.....	52
7.2.1. Intervencija u slučaju prodavaonice pirotehničkih sredstava - vježba.....	53

8. ZAKLJUČAK.....	59
9. LITERATURA.....	60
10. PRILOZI.....	63
10.1. Popis slika.....	63
10.2. Popis tablica.....	64
10.3. Popis simbola (korištenih kratica).....	64

# **1. UVOD**

Vatrogasci rade u vrlo raznolikim uvjetima. Pri gašenju požara i drugim akcijama izloženi su mnogim štetnim utjecajima. Najčešće su izloženi opasnosti od plamena, dima, otrovnih para, urušavanja objekata, pada predmeta i kemikalija. U akcijama su gotovo stalno izloženi raznim vremenskim utjecajima sunce, kiša, snijeg. Da bi se ti štetni utjecaji smanjili, primjenjuju se tehnička i osobna zaštitna sredstva (zaštićene ljestve, razna užad, zaštitna odjeća, zaštitne cipele, kacige i drugo), ovisno o specifičnosti događaja. Vatrogasci moraju raditi vrlo brzo i usklađeno s drugim pripadnicima postrojbe. To su i fizički zahtjevni poslovi, jer treba rukovati vatrogasnom opremom i sredstvima, moraju se penjati i ulaziti na različita i nepristupačna mjesta. Ovaj rad će obuhvatiti informacije o eksplozivnim sredstvima, skladištima gdje se skladište eksplozivne tvari i eksplozivna sredstva, te mjere i zaštite vatrogasaca pri intervenciji istih, iako nema neke velike zaštite kod ovakvih intervencija uvijek se mogu poduzet preventivne mjere.

## **1.1. Predmet i cilj rada**

Predmet ovog rada su eksplozivna sredstva koja se nalaze u skladištima, prodavaonicama i minskom polju, te mogu predstavljati veliku opasnost u slučaju nesreće. Cilj ovog rada su mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca od eksplozivnih sredstava pri intervenciji.

## **1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja**

Korištena je stručna literatura, internet stranice, te za eksperimentalni dio koristio sam svu moguću pomoć od stručnih vatrogasaca iz JVP Ivanić Grad, bez kojih ovaj zadatak ne bi bilo moguće izvršiti.

## 2. EKSPLOZIVNE TVARI I EKSPLOZIVNA SREDSTVA

### 2.1. Pojam eksplozivnih tvari

Eksplozivne tvari mogu biti snažne (inicirajući i brizantni eksplozivi), slabe (baruti) i pirotehničke smjese. Eksplozivne tvari se pod vanjskim utjecajem raspadaju, dajući pri tome plinove na visokoj temperaturi i pritisku koji potiskuju ili razaraju okolne materijale. Ovako se mogu ponašati i neki plinovi (metan, butan), pare (benzin, eter) i prašina pomiješani sa zrakom u određenim omjerima, pa se i oni smatraju eksplozivnim tvarima. (slika 1.)



Sl. 1. Primjer eksplozivnih tvari [1]

Eksplozivno sredstvo je svaki predmet (uređaj ili naprava) koji u sebi sadrži ET, te koje pod djelovanjem vanjskih utjecaja (impulsa) može ostvariti predviđen cilj. Eksplozivna sredstva obično se sastoje od eksplozivnih tvari i metalnih obloga ili košuljica od čelika, nekog drugog metala ili plastične mase. Obloga štiti eksplozivnu tvar za vrijeme čuvanja i transporta. Pri djelovanju eksplozivnih sredstava obloga se kida u komade koji pospešuju djelovanje eksplozivne tvari. (slika 2.)

Ako analiziramo funkcioniranje svih eksplozivnih sredstava – ubojitih sredstava (streljiva, minsko-eksplozivnih sredstava, morskih mina i torpeda ili raketa), zaključit ćemo da su eksplozivne tvari koje su laborirane u tim sredstvima, u stvari funkcionalni nositelji, odnosno služe za:

- izbacivanje projektila iz cijevi pješačkog, haubičkog ili topničkog naoružanja
- pokretanje (pogon) raznih raketnih sustava
- iniciranje drugih eksplozivnih tvari, te
- rasprskavanje košuljice projektila, zrakoplovnih bombi, morskih mina i torpeda ili osiguranje nekog drugog efekta na cilju. [2]



Sl. 2. Primjer eksplozivnog sredstva [3]

## 2.2. Podjela eksplozivnih tvari

Podjela eksplozivnih tvari može se izvršiti u više aspekata kao što su: (slika 3.)

- podjela s obzirom na agregatno stanje (plinovito, kruto i tekuće)
- podjela s obzirom na kemijski sastav (čisti kemijski spoj, smjese od senzibilizatora za lakše aktiviranje...)
- podjela s obzirom na namjenu (izbacivanje projektila iz cijevi pješačkog, haubičkog ili topničkog naoružanja, pokretanje (pogon) raznih raketnih sustava, iniciranje drugih eksplozivnih tvari, te raspršivanje košuljice projektila, zrakoplovnih bombi, morskih mina i torpeda ili osiguranje nekog drugog efekta na cilju).



Sl. 3. Podjela eksplozivnih tvari [4]

Podjela eksplozivnih sredstava izvršena tako da je podijeljena prema međunarodnoj ADR i NATO podjeli u šest skupina opasnosti koje se kod prijevoza sredstva za prevoženje označavaju dopunskim pločama. Skupine opasnosti 1.1, 1.2 i 1.3 dijele istu oznaku koja simbolizira raspršivanje eksplozivnog sredstva, a skupine opasnosti 1.4, 1.5 i 1.6 zadržavaju oznake sa istaknutim brojem skupine opasnosti. (slika 4.)



Sl. 4. Oznake sa istaknutim brojem skupine opasnosti eksplozivnih sredstava [5]

Skupine opasnosti eksplozivnih sredstava su sljedeće: [6]

**1.1** - eksplozivna sredstva koja imaju svojstvo detoniranja u masi ako se bilo koja tvar ili predmet iz mase aktivira, detonacija se odvija gotovo istovremeno u cijeloj masi (eksplozivi za rušenje, protuoklopne mine, zrakoplovne bombe).

**1.2** - eksplozivna sredstva koja kod detonacije stvaraju dijelove koji se razlijeću, ali ne postoji opasnost od eksplozije cjelokupne mase (topnički projektili, bojne glave raketa do 155 mm).

**1.3** - eksplozivna sredstva kod kojih postoji opasnost od snažnog požara koji može biti popraćen manjim detonacijama i razlijetanjem dijelova ali ne postoji opasnost od eksplozije cjelokupne mase (topnički i raketni baruti na gomili, u ambalaži ili u streljivu).

**1.4** - eksplozivna sredstva koja predstavljaju malu opasnost od detonacije u slučaju zapaljenja, učinci možebitne eksplozije su ograničeni na pojedinačno pakiranje i nema razlijetanja dijelova, vanjski plamen ne može izazvati detonaciju cjelokupne mase (pješačko i dimno streljivo).

**1.5** - vrlo neosjetljiva eksplozivna sredstva kod kojih postoji opasnost od detonacije cjelokupne mase. Ne smiju detonirati pri pokusu s vanjskom vatrom. Izražena je

opasnost od zračnog udarnog vala i uzgredne opasnosti od dijelova velike brzine i/ili toplinskog djelovanja (neke vrste amonij-nitratnih eksploziva).

**1.6** - ekstremno neosjetljiva eksplozivna sredstva kod kojih ne postoji opasnost od detonacije cjelokupne mase i neznatna je vjerojatnost akcidentalne inicijacije ili prijenosa eksplozije (neke vrste inertnih eksplozivnih sredstava).

Eksplozivna sredstva se još mogu podijeliti na kompaktilne skupine spojivosti. Pomoću ove podjele moguće je utvrditi koja se eksplozivna sredstva mogu prevoziti zajedno u istom prijevoznom sredstvu ili skladištiti u istom skladišnom prostoru. [6] (Tablica 1.)

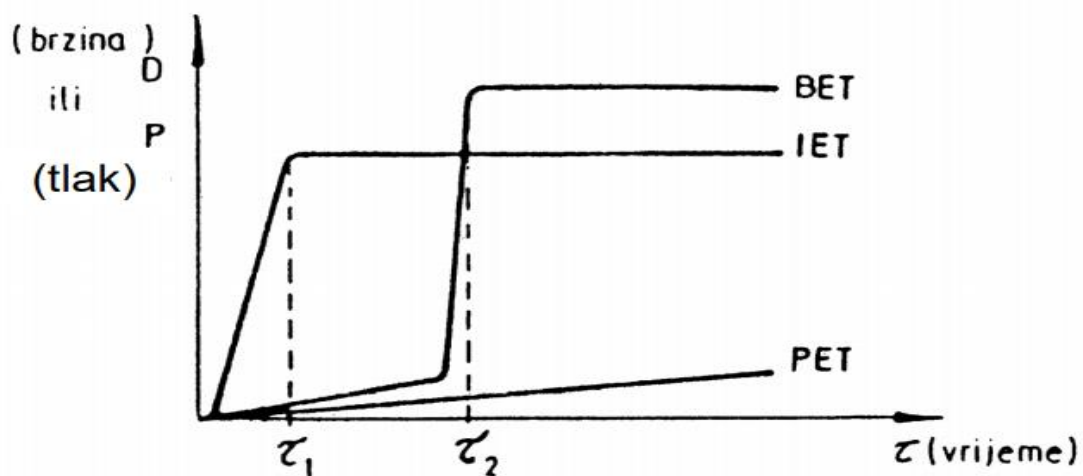
Tablica 1. Skupine spojivosti eksplozivnih sredstava [6]

Skupina A	Primarne eksplozivne tvari (početno, inicijalno djelovanje).
Skupina B	Predmeti koji sadrže primarnu eksplozivnu tvar.
Skupina C	Propelantne (potisne) eksplozivne tvari ili druge deflagracijske eksplozivne tvari ili predmeti koji sadrže takve tvari.
Skupina D	Sekundarne detonirajuće eksplozivne tvari ili predmeti punjeni eksplozivnim tvarima, bez mogućnosti inicijacije i bez punjenja propelantom, ili predmeti koji sadrže primarne eksplozivne tvari.
Skupina E	Predmeti koji sadrže sekundarne detonirajuće eksplozivne tvari bez sredstva za inicijaciju sa pogonskim punjenjem (ne sadrže zapaljive tekućine ili gel).
Skupina F	Predmeti koji sadrže sekundarne detonirajuće eksplozivne tvari s vlastitom inicijacijom sa pogonskim punjenjem (ne sadrže zapaljive tekućine ili gel) ili bez pogonskog punjenja.
Skupina G	Pirotehničke tvari ili predmeti koji sadrže pirotehničke tvari ili predmeti koji sadrže i eksplozivnu i pirotehničku tvar (osim predmeta koji se aktiviraju vodom ili koji sadrže bijeli fosfor, fosfide, zapaljive tekućine ili gel).
Skupina H	Predmeti koji sadrže eksplozivnu tvar i bijeli fosfor.
Skupina J	Predmeti koji sadrže eksplozivnu tvar i zapaljivu tekućinu ili gel.
Skupina K	Predmeti koji sadrže eksplozivnu tvar i otrovnu kemijsku tvar.
Skupina L	Eksplozivne tvari i predmeti koji sadrže eksplozivne tvari i koje predstavljaju naročit rizik.
Skupina N	Predmeti koji sadrže ekstremno neosjetljive detonirajuće tvari.
Skupina S	Tvari i predmeti tako pakirani da je opasno djelovanje koje se javlja kod akcidenta ograničeno unutar pakovanja, učinci ne predstavljaju posebnu opasnost po okolinu.



## 2.2. Izgaranje i detonacija eksplozivnih tvari i sredstava

Izgaranje je takav oblik pretvorbe kod kojeg se energija aktivacije predaje od sloja na sloj putem provodljivosti, difuzije i zračenja toplinske energije. Izgaranje eksplozivnih tvari po vanjskom se obliku ne razlikuje od izgaranja goriva, ali ipak između izgaranja goriva i izgaranja eksplozivnih tvari postoji bitna razlika. Pri izgaranju goriva proces se odvija pomoću kisika iz zraka, tako da dotok kisika izvana treba biti kontinuiran i često o tom dotoku ovisi i sama brzina izgaranja. Pri izgaranju eksplozivnih tvari, proces se odvija potpuno autonomno i nije potrebno osiguravanje kisika iz vanjske sredine, a brzina izgaranja ovisi ponajprije o tlaku koji vlada u vanjskoj sredini. (slika 5.)



Sl. 5. Stupanj stabilnosti izgaranja eksplozivnih tvari [7]

BET - brizantne eksplozivne tvari, koriste se u građevinarstvu, rudarstvu, punjenju topova, mina, bombi, torpeda i sl.

IET - Inicijalne eksplozivne tvari, koriste se za punjenje detonatora koji služe za aktivaciju brizantnih eksploziva, u najkraćem vremenu postižu veliku detonacijsku brzinu i veliki tlak, u odnosu na BET i PET.

PET - potisne eksplozivne tvari, koriste se za pokretanje raketnog pogona i sl.

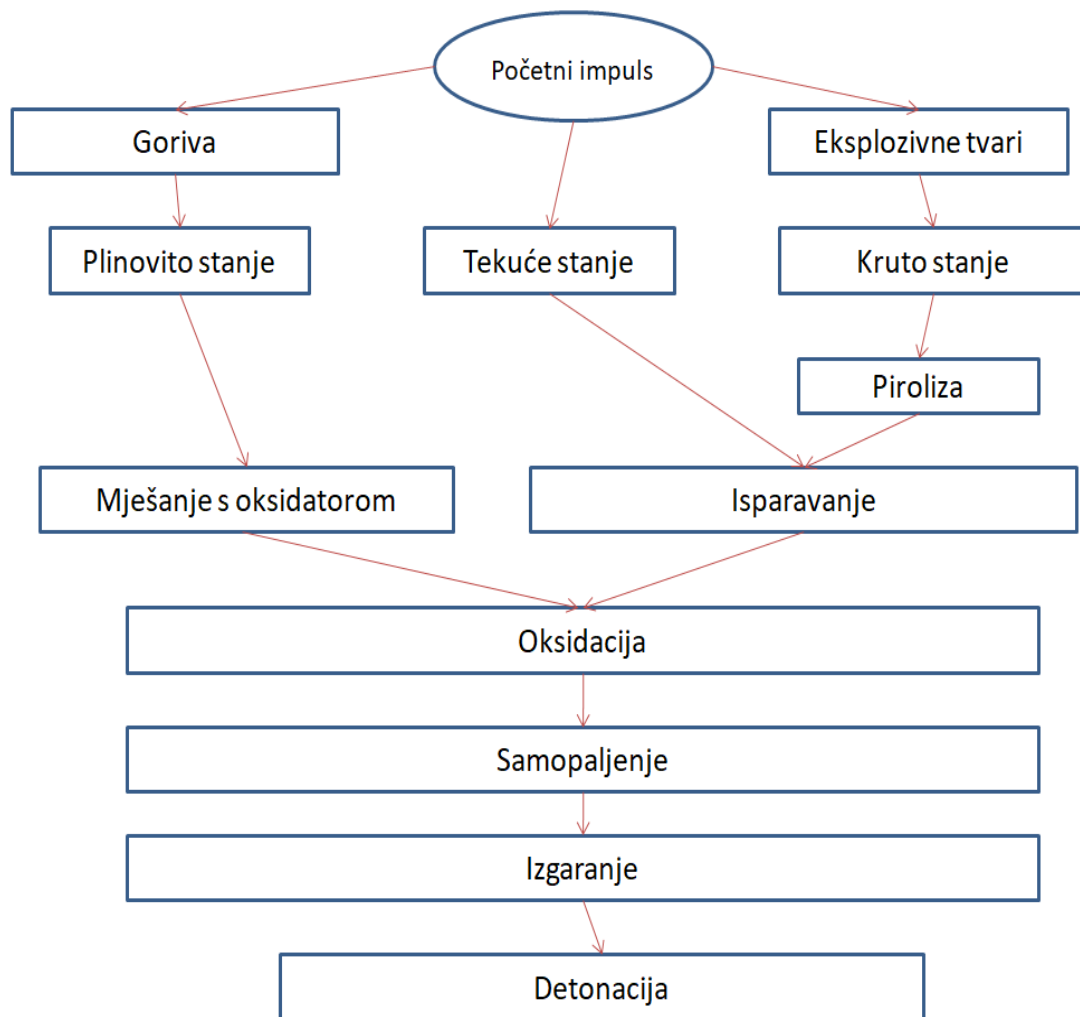
Eksplozivne tvari ovisno o vrsti, načinu iniciranja i drugih faktora, mogu izgarati na tri načina: obično, eksplozivno i detonacijsko.

**Obično** - svaki eksploziv (osim inicijalnih), ako se zapali plamenom, a nalazi se na otvorenom prostoru, izgara plamenom, slično ostalim gorivim tvarima. Nastali plinovi šire se neometano, a u zoni izgaranja standardna atmosfera je oko 8 atm. Obično izgaranje može prijeći u detonaciju ako se plamenom zapale veće količine brizantnih eksploziva.

**Eksplozivno** - kad se eksploziv zapali plamenom, a izgaranje se odvija u zatvorenom prostoru, nastali plinovi povećavaju tlak. Zbog povećanja tlaka izgaranje se ubrzava. Prilikom eksplozivnog izgaranja formiraju se dva fronta, udarnog vala i plamena, koji se kreću u smjeru izgaranja eksploziva. Nastali plinovi kreću se u suprotnom smjeru od smjera eksploziva. Rad nastalih plinova je posljedica njihovog širenja, pa je karakter eksplozivnog izgaranja potiskujući.

**Detonacijsko** - kod inicijalnih eksploziva do detonacije dolazi zbog iniciranja posebnih vrsta eksploziva, zbog udara ili trenja. Brizantni eksplozivi detoniraju kad se njihovo raspadanje izazove eksplozivnim impulsom. Prilikom detonacije brzina izgaranja je jednaka od početka do kraja, a zavisi od vrste eksploziva, njegove gustoće i nekih drugih manje važnih utjecaja. Front plamena i front udarnog vala spojeni su u front detonacijskog vala.

Eksplozivne tvari su kemijski spojevi ili smjese koje imaju sposobnost da pod utjecajem vanjskog energetskog impulsa detoniraju, odnosno da se kemijski razlažu u vrlo kratkom vremenskom razdoblju i pritom oslobađaju znatnu količinu plinova i topline. Trenutačno oslobađanje energije i produkata reakcije pri visokom tlaku za vrijeme brze kemijske reakcije prouzrokuje nastanak tlačnih valova. Ti su valovi nazvani detonacijskim ili udarnim valovima. Trenutno je poznat veliki broj eksploziva koji se razlikuju po sastavu, fizičko-kemijskim i eksplozivnim svojstvima, stoga se nameće potreba za racionalnom klasifikacijom eksploziva. [8] (Slika 6.)



Sl. 6. Shema nastanka detonacije [8]

### 2.2.1. Eksplozija eksplozivnih tvari i sredstava

Eksplozija je dovoljno brz proces pretvaranja fizičkog, kemijskog ili nuklearnog sustava iz jednog u drugo stanje. Taj je proces praćen prelaskom elementarnih čestica potencijalne u kinetičku energiju, odnosno u mehanički rad. Rad koji se obavlja pri eksploziji uvjetovan je brzom ekspanzijom plinova koji su postojali ili su stvoreni za vrijeme eksplozije. [9]

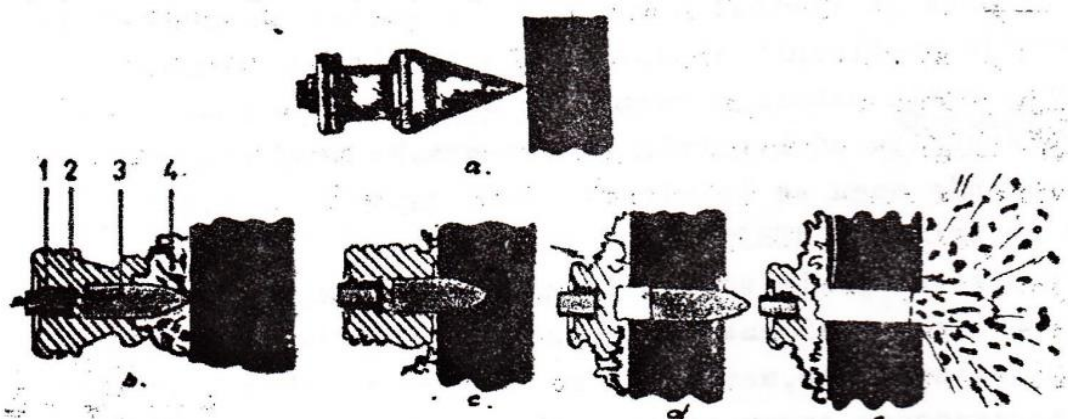
Ovisno od obilježja izazvane reakcije, eksplozije mogu biti:

**Fizička eksplozija** - intenzivnim fizičkim pojavama tvari trenutno prelaze iz jednog fizičkog stanja u drugo, kao što su:

- eksplozija pregrijanog parnog kotla
- udar meteora (usljed naglog kočenja kinetička energija pretvara se u toplinsku
- užarenje, topljenje i isparenje)
- prskanje boce pod tlakom
- električno pražnjenje visokog napona - gromovi
- vulkani, (npr. vulkan Krakatau 1883.g. načinio valove od 40 m)
- stvaranje novih zvijezda. [9]

Ove eksplozije imaju vrlo ograničenu primjenu i zanimljive su sa stajališta specijalnih znanstvenih istraživanja.

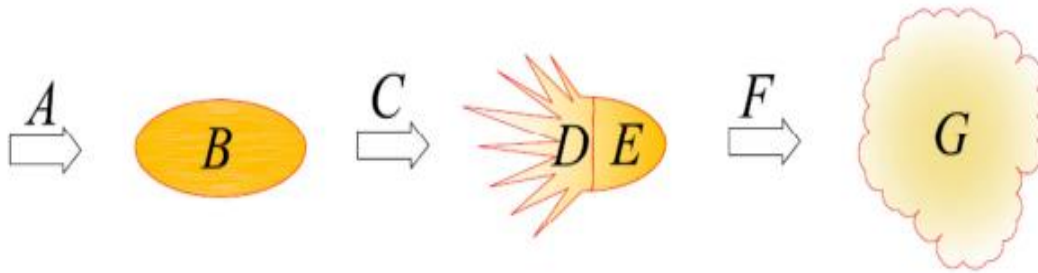
Fizičku eksploziju objasnio bi na primjeru gdje imamo potkalibarno zrno od visoko kvalitetne legure iz grupe "STELITA" koje se ne rasprskava pri udaru u oklop već se rasprskava nakon proboja samog oklopa, odnosno zagrijana jezgra eksplodira. (Slika 7.)



Sl. 7. Fizička eksplozija bez eksploziva [10]

1- traser; 2 - košuljica; 3 - jezgra; 4 - balistička kapa

**Kemijska eksplozija** - to je samorasprostrirujući proces kemijskih reakcija kroz eksplozivne tvari. Zahvaljujući velikoj brzini odvijanja tih reakcija, proces se praktički odvija u volumenu same eksplozivne tvari. (slika 8.) Uslijed odvijanja egzotermnih reakcija oslobađa se toplina, koja zagrijava plinovite produkte koji su pod vrlo velikim tlakom. [11]

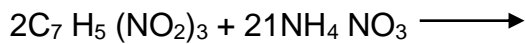


Sl. 8. Shema eksplozije [11]

A - inicijalni impuls (udar, plamen, toplina, trenje); B - neporemećena eksplozivna tvar; C - kemijski proces pretvorbe; D - plinoviti produkti; E - neporemećena eksplozivna tvar; F - ekspanzija plinovitih produkata; G - plinoviti produkti u ekspanziji

Do trenutka eksplozije, energija eksplozije sadržana je u potencijalnom obliku molekula eksplozivnih tvari, točnije u elektronskim ljuskama tih molekula. Energija koja se oslobađa prilikom eksplozije je posljedica raspada molekula eksplozivnih tvari i pregrupiranja oslobođenih atoma u nove molekule odnosno u nova termodinamička stabilnija jedinjenja. Višak energije oslobađa se kao detonacijska toplina ( $Q_v$ ).

Kemijska eksplozija može se objasniti na primjeru gospodarskog eksploziva, točnije razvijanju kemijskih procesa između amonijum nitrata i TNT-a gdje imamo određene faze:



- (I faza raspad molekula TNT)  $14C+10H+6N+12O$ +molekule AN
- (II faza oksidacija atoma TNT u molekule)  $12CO+2C+5H_2 +Q_1 + AN$
- (III faza – pod utjecajem energije aktiviranja raspad AN)  $12CO + 2C + 5H_2 + 3N_2 + Q + 84H + 42N + 63O$
- (IV faza – stvaranje novih molekula od AN)  $12CO + 2C + 5H_2 + 3N_2 + Q_1 + 42H_2O + 21N_2 + 10,5O_2 + Q_2$
- (V faza – konačno sagorijavanje nesagorelih plinova TNT-a (CO,C,H)  $12CO_2 + 2CO_2 + 5H_2O + 3N_2 +Q_1 + Q_3 +42H_2O+ 21N_2 + Q_2$

Ukupno oslobođena toplina:  $Q_v = Q_1 + Q_2 + Q_3$  KJ

Također eksplozivne tvari, a posebice vojne moraju biti vrlo stabilne uz što veću egzotermnost. Eksplozivne tvari ne smiju biti osjetljive na mehaničke utjecaje (trenje, plamen, iskra i sl.).

Kemijske reakcije poprimaju eksplozivni karakter ako su ispunjeni određeni uvjeti kao što su:

- odvijanje procesa velikom brzinom
- proces je praćen oslobađanjem toplinske energije i oslobađanjem plinova
- izazvani proces se mora samorasprostrirati po cijelom eksplozivnom području.

**Nuklearna eksplozija** - nastaje kao rezultat veoma brzog oslobađanja energije uslijed nekontrolirane nuklearne reakcije, a reakcija može biti nuklearna fisija, nuklearna fuzija ili kombinacija. Također nuklearna eksplozija se može objasniti pomoću rada nuklearnog oružja. Rad nuklearnog oružja se bazira na principu nuklearne fisije. Postoje dva osnovna tipa nuklearnih oružja.

Prva su oružja koja proizvode svoju eksplozivnu energiju samo putem reakcija nuklearne fisije. Ta oružja su uobičajeno poznata kao atomska bomba ili A-bomba. (slika 9.) U fisijskom oružju, masa fisibilnog materijala (obogaćeni uranij ili plutonij) je sklopljena u superkritičnu masu (količina materijala potrebna da započne eksponencijalni rast nuklearne lančane reakcije), bilo izbacivanjem jednog dijela subkritičnog materijala prema drugom, ili kompresijom subkritične mase kemijskim eksplozivima, prilikom čega se ubrizgavaju neutroni i reakcija počinje.

Glavni izazov u svim konstrukcijama nuklearnog oružja je osiguravanje da se značajan dio goriva iskoristi prije nego što oružje uništi samo sebe. Količina energije koju oslobode fisijske bombe može imati opseg između ekvivalenata manjih od tone TNT-a prema gore, do oko 500 000 tona (500 kilotona) TNT-a. [12]



Sl. 9. Prikaz nuklearne eksplozije [12]

### 3. GLAVNI PREDSTAVNICI EKSPLOZIVNIH TVARI

#### 3.1. Inicijalni eksplozivi

Inicijalni eksplozivi - sa najslabijim impulsima trenja, plamena, iskre, udara, gnječenja, zagrijavanja primaju režim detonacije. U skupini inicijalnih eksploziva su živin fulminat, olovni azid, olovo-trinitrorezorcinat, tetrazen i dijazodinitrofenol.

Osnovna namjena inicijalnih eksploziva je pobuđivanje procesa detonacije osnovnog eksplozivnog naboja, tj. paljenje brizantnog eksploziva.

##### 3.1.1. Živin fulminat ( $C_2N_2O_2Hg$ )

Živin fulminat dobiva se rastvaranjem metalne žive u dušičnoj kiselini. Iz te otopine se dodavanjem etil-alkohola taloži živin fulminat.

Živin fulminat je bijeli ili slabo žućkasti kristalni prah (slika 10.), temperatura paljenja je između 160-165°C. Slabo je topljiv u vodi, u organskim otapalima nešto bolje. Podložan je kemijskim promjenama pod utjecajem povišene temperature. Razgrađuje se na temperaturi od 50 do 100°C, dok duljim zagrijavanjem na 100°C detonira.

U vlažnoj atmosferi reagira s većinom metala, a s aluminijem reagira vrlo burno, što je bitno pri izboru materijala za izradu detonatorske kapsule. Detonatorske kapsule u kojima je primarni eksploziv živin fulminat izrađene su od bakra i njegovih legura, kapsule sa živinim fulminatom su crvenkaste boje (boje bakra), i po tome se vizualno razlikuju od azidnih.

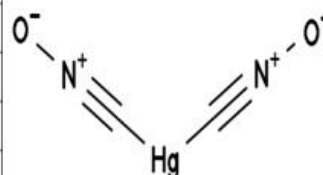
Živin fulminat je najosjetljiviji eksploziv na udar, trenje i plamen. U dodiru s vlagom znatno mu opadaju eksplozivna svojstva (sa 5% vlage djelomično se aktivira na udar, sa 15% ne može detonirati, a sa 25-30% smatra se sigurnim za čuvanje i skladištenje). S obzirom na osjetljivost prema vlazi, njegova primjena je sve rjeđa kao i zbog jakog korozivnog djelovanja na cijevi oružja.



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. [13]

Značajke živinog fulminata su:

Empirijska formula	$C_2N_2O_2Hg$
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



Sl. 10. Svojstva, izgled i struktura živinog fulminata [14]

### 3.1.2. Olovni azid ( $Pb(N_3)_2$ )

Olovni azid se dobiva redukcijom iz vodene otopine natrij azida i olovnog nitrata. Tako dobiven, osobito je osjetljiv na udar i trenje. (slika 11.) Da bi mu se smanjila osjetljivost, u fazi taloženja dodaje se dekstrin ili parafin koji ga u izvjesnoj mjeri flegmatiziraju (smanjuju mu preveliku osjetljivost koja nije pogodna za rukovanje).

Olovni azid izgledom podsjeća na kristalni prah bijele do svijetlo- žute boje, netopljiv je u vodi, potpuno suh ne reagira s metalima, dok vlažan osobito reagira s bakrom tvoreći bakreni azid koji je jako osjetljivna udar i trenje. [13]


Olovni azid je dva i pol puta manje osjetljiv na udar, a 5-10 puta ima veću moć iniciranja brizantnih eksploziva od živina fulminata. Teže se inicira plamenom, a upravo zbog toga se u kapsulama na sloj olovnog azida preša sloj olovnog stifinata koji je neusporedivo osjetljiviji na plamen. Uloga olovnog stifinata je istovremeno

čuvanje olovnog azida od utjecaja ugljičnog dioksida i povećavanje njegove osjetljivosti na plamen.

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 prekrystalizacija 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. [13]

Posebno je toksičan natrijev azid koji se koristi kao polazna sirovina pri njegovoj proizvodnji, te se mora zaštititi koža djelatnika.

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	

Sl. 11. Svojstva i izgled olovnog azida [14]

### 3.1.3. Tetrazen ( $C_2H_8N_{10}O$ )

Po osjetljivosti na udar sličan je fulminatu žive, ali mu s porastom vlage osjetljivost ne opada. Veoma je osjetljiv na plamen, pa se upotrebljava u zapaljivim smjesama inicijalnih kapsula umjesto živina fulminata. Tetrazen je klasificiran kao inicijalni eksploziv, ali njegov vlastiti inicijalni učinak je slab. To su igličasti kristali od bezbojne do svijetložute boje. (slika 12.) Zbog osjetljivosti prema udarnom valu koji nastaje djelovanjem drugih eksploziva, kao i zbog slabe inicirajuće sposobnosti nije pogodan i ne upotrebljava se za laboraciju detonatorskih kapsula.

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. [13]

Empirijska formula	$C_2H_8N_{10}O$
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



Sl. 12. Svojstva, struktura i izgled tetrazena [14]

### 3.1.4. Dijazodinitrofenol ( $C_6H_2O_5N_4$ )

U drugim zemljama je, također, poznat pod nazivom DDNF, a dobiva se djelovanjem dušične (azotne) kiseline na aminodinitrofenol. Tvori žute kristale u čistom obliku, međutim boja nečistih oblika može varirati od tamno žute do zelene, pa sve do tamno smeđe. (slika 13.) Topljiv je u octenoj kiselini, acetonu, koncentriranoj klorovodičnoj kiselini, većini nepolarnih otapala i slabo je topljiv u vodi.

DDNF se može osjetiti potapanjem u vodu, jer u vodi ne reagira na normalnoj temperaturi. Manje je osjetljiv na udar, ali snažniji od živinog fulminata i gotovo jednako snažan kao olovni azid. Osjetljivost DDNF-a na trenje mnogo je manja od osjetljivosti živinog fulminata i olovnog azida.

Po svojim kemijskim i fizičkim svojstvima dosta je sličan živinu fulminatu, ali je od njega postojaniji na povišenim temperaturama i vlazi. Upotrebljava se u novije vrijeme kao inicijalno sredstvo koje dobro zamjenjuje živin fulminat i olovni azid. U SAD-u i Japanu primjenjuje se za ratna sredstva namijenjena tropskim uvjetima eksploatacije i čuvanja zbog veće postojanosti od živinog fulminata. DDNF se često koristi kao inicirajući eksploziv u uređajima za nanošenje pogonskog goriva i zamjena je za olovni stifnat u onome što se naziva zelenim ili netoksičnim temeljnim eksplozivnim sastavima. [13]



Sl. 13. Dijazodinitrofenol [14]

### 3.1.5. Olovo-trinitrorezorcinat ( $C_6H_3N_3O_9Pb$ )


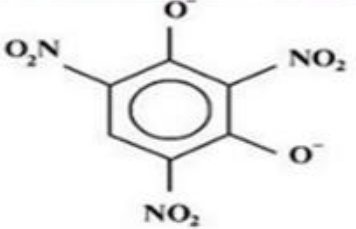
Tricinat je kristalna tvar narančastožute boje. Praktički je netopiv u vodi i slabo topiv u acetonu i etanolu, a u kloroformu, benzenu i toluenu je netopljiv. Uglavnom se koristi kao inicijalni eksploziv u obliku smjese s olovnim azidom. Otporan je na utjecaj ugljičnog dioksida, a po osjetljivosti na plamen zauzima drugo mjesto, odmah poslije živina fulminata. Manje je osjetljiv na udar od ostalih inicijalnih eksploziva. Najveća opasnost u primjeni jest u njegovom svojstvu da se lako nabija statičkim

elektricitetom. Brzina detonacije mu je 5200 m/s. Najosjetljiviji je na iskrnu ili plamen, a manje je osjetljiv na početni impuls udara ili trenja. Osjetljivost olovo trinitrorezorcinata smanjuje se povećanjem vlage kristala. (slika 14.)

Dobiva se tako da se u vodenu otopinu stifeninske kiselina doda soda bikarbona, iz toga će se dobiti natrijev stifenat. 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. [15]

Ubraja se u najslabije inicijalne eksplozive i zbog toga se ne upotrebljava samostalno nego kao:

- komponenta u smjesama inicijalnih kapsula za dobivanje većeg plamena kod pripale barutne municije
- dodatak olovnom azidu u detonatorskim kapsulama
- dodatak pirotehničkim smjesama za paljenje čvrstog raketnog goriva.

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	

Sl. 14. Svojstva, izgled i struktura olovo-trinitrorezorcinata [14]

## 3.2. Brizantni eksplozivi

Brizantni eksplozivi imaju znatno veću postojanost na vanjske utjecaje, gore lagano bez detonacije, detoniraju se pod utjecajem detonacijskog vala od inicijalnih eksploziva, imaju znatno veću razarajuću snagu od inicijalnih eksploziva.

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 nitrospojeve aromatičnog reda, poput trotila, pikrinske kiseline i tetrila. 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. [2]

Brizantni eksplozivi se mogu podijeliti prema:

- agregatnom stanju: čvrsti, plinoviti i plastični
- kemijskim karakteristikama: jedinjena i smjese
- području namjene: vojni i gospodarski.

### 3.2.1. Trotil - TNT ( $C_7H_5N_3O_6$ )

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 ispiru 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.

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. Trotil se primjenjuje za punjenje topničkih granata, bombi, mina i torpeda u lijevanom i prešanom stanju. [2] (slika 15.)



Sl. 15. Trotil u praškastom stanju [14]

### 3.2.2. Tetril ( $C_7H_5N_5O_8$ )

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. [2] (slika 16.)



Sl. 16. Izgled i struktura tetrila [14]

### 3.2.3. Heksogen (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>)

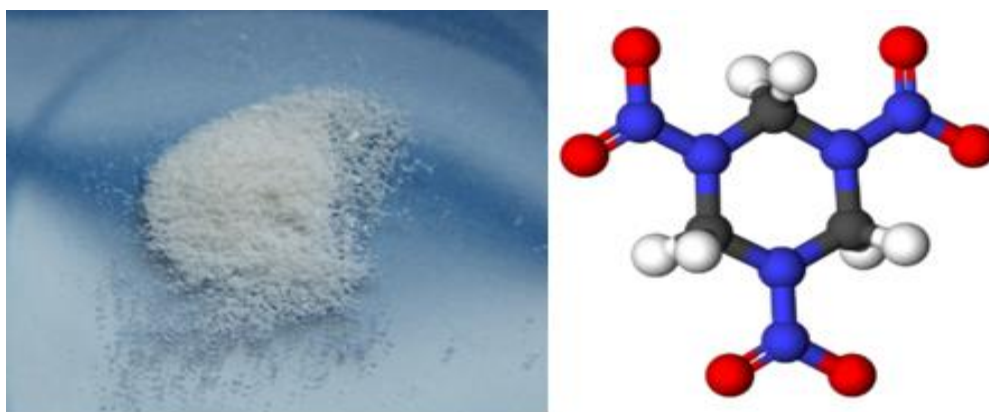
Heksogen je topiv u acetonu, netopiv u vodi i slabo topljiv u eteru i etanolu. Na povišenim temperaturama se otapa u cikloheksanonu, nitrobenzenu i glikolu.

Njegova snaga je visoka zbog visoke gustoće i visoke brzine detonacije. Relativno je neosjetljiv (u usporedbi s pentritom, koji je eksploziv slične snage) i vrlo je stabilan.

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. (slika 17.)

Zbog visoke cijene i velike osjetljivosti još nema široku primjenu. 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. [16]



Sl. 17. Izgled i struktura heksogena [14]



### 3.2.4. Pentrit ( $C_5H_8N_4O_{12}$ )

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. [16] (slika 18.)



Sl. 18. Pentrit kao gotov eksploziv i u praškastom stanju [14]

### 3.2.5. Oktogen ( $C_4H_8N_8O_8$ )

Oktogen je bijeli kristalni prah koji se pojavljuje u četiri modifikacije, od kojih samo  $\beta$  modifikacija ima visoku gustoću a time i brzinu detonacije. (slika 19.) Netopiv je u vodi, a topljivost u drugim otapalima mu nalikuje na topljivost heksogena. Oktogen je nastao kao nusproizvod iz proizvodnje heksogena Bachmannovim postupkom. Najčešće se koristi za izradu plastičnih eksploziva. U smjesi sa TNT-om čini oktol.

Primjenju se kod bušotina nafte, u perforacijama prolaza u visokim pećima, u kazetnim avio-bombama itd. [2]



Sl. 19. Oktogen u prahu i u granati [14]

### 3.3. Baruti

Barute prema vrsti možemo podijeliti na:

- homogene (jednobazni, dvobazni i trobazni)
- kompozitni (crni barut i kompozitni raketni barut). (slika 20.)



Sl. 20. Primjer kompozitnog baruta [17]

Baruti su eksplozivne tvari kod kojih je osnovni oblik kemijskog razlaganja/sagorijevanja izazvano pripalnim impulsom. Kod kompozitnih baruta najznačajniji predstavnik je crni barut, koji se u današnje vrijeme koristi za izradu topničkih udara, pripala čvrstog raketnog goriva, kod izrada pirotehničkih smjesa, itd... Kompozitni

raketni baruti se u današnje vrijeme intenzivno razvijaju, posebno kao gorivo raketnih projektila.

Kako bi se ispitala stabilnost odnosno postojanost baruta koriste se metode u laboratoriju kao što su:

- tekućinska kromatografija
- mikrokalorimetar
- grijanje na 100°C.

Za sve ove metode prvo je ispitivanje 10 godina nakon proizvodnje, a nakon prvog ispitivanja svako sljedeće se provodi nakon svakih 5 godina.

### **3.4. Pirotehničke smjese**

Pirotehnika je stvaranje i iskorištavanje posebnih učinaka i proizvoda koji nastaju pri egzotermnim reakcijama među sastojcima pirotehničke smjese. Takva smjesa uključuje gorivi sastojak (magnezij, aluminij, drugi metali u prahu, itd.), oksidans (nitrati, oksidi, i sl.), vezivni sastojak (prirodne i sintetske smole, dekstrini) te aditive i konzervanse, koji pri izgaranju daju poseban učinak.

U početku su se pirotehničke smjese rabile ponajprije u vojne svrhe. No s vremenom su se počele primjenjivati i u druge svrhe.

S obzirom na namjenu, odnosno učinak koji stvaraju, pirotehničke smjese mogu se rabiti kao:

- osvjetljavajuće smjese (signalne naprave)
- foto smjese (stari fotoaparati)
- trasirajuće smjese (streljivo za praćenje-tragači) (slika 21.)
- zapaljive smjese (petarde)
- dimne smjese (maskirni i obojeni dim).



Sl. 21. Pirotehnička smjesa u streljivu za praćenje i signalnim napravama [18]

## 4. GLAVNI PREDSTAVNICI EKSPLOZIVNIH SREDSTAVA

Eksplozivno sredstvo je svaki predmet (uređaj ili naprava) koji u sebi sadrži eksplozivnu tvar, te koje pod djelovanjem vanjskih utjecaja (impulsa) može ostvariti predviđen cilj. Podjela eksplozivnih sredstava:

- klasična
- zrakoplovna
- mornarička. [10]

### 4.1. Klasična eksplozivna sredstva

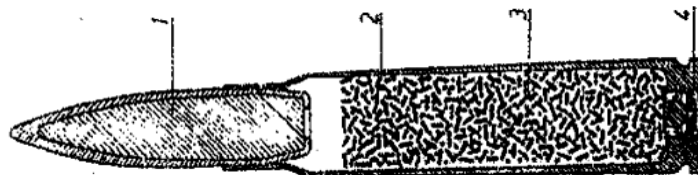
U najopćiju podjelu klasičnih eksplozivnih sredstava spadaju:

- pješačko, topničko i haubičko streljivo
- mine za minobacače, netrzajuće oruđe, ručne bacače
- tromblonske mine
- artificije
- minkoeksplozivna sredstva (MES).

**Pješačko streljivo** prema obliku zrna može biti:

- s ovalnim vrhom i donjim cilindričnim dijelom
- sa šiljastim vrhom i donjim cilindričnim dijelom
- sa šiljastim vrhom, cilindričnim srednjim i konusnim zadnjim duflom.

Prema namjeni zrna se koriste za uništavanje živih ciljeva, tehničkih sredstava i za korekciju paljbe. Elementi pješačkog streljiva su: (slika 22.)



Sl. 22. Elementi pješačkog streljiva [10]

1 - zrno; 2 - čahura; 3 - barutno punjenje; 4 - inicijalna kapsula

**Topnički ili haubički metak** je skup elemenata i mehanizama, čija pravovremena i sigurna međusobna funkcija omogućava da se iz cijevi oruđa izbacii projektil i postigne određeni učinak na cilju. Podjela takvog streljiva: sjedinjeni, polusjedinjeni i (slika 23.) dvodijelni metak. [10]



Sl. 23. Primjer dvodijelnog metka [7]

**Protupješačke nagazne mine** služe za onesposobljavanje i uništavanje žive sile. (slika 24.) Kada osoba nagazi na eksplozivnu minu u istom trenutku se događa njezina aktivacija, potom eksplozivno punjenje mine detonira stvarajući eksplozivni udar koji se širi iznimnom brzinom. Kada udar dođe do površine svoju snagu prenosi na objekte na površini, odnosno na obuću i nogu žrtve. U većini slučajeva kada se mina aktivira rezultira raznošenjem žrtvine noge.

**Protupješačke potezne (rasprskavajuće) mine** su daleko opasnije i smrtonosnije od nagaznih zato što se šrapneli raspršuju po velikom području te potencijalno mogu ozlijediti više osoba. (slika 24.) Šrapneli ovog tipa mina mogu onesposobiti i neka oklopljena vozila koja imaju kotače (bušenje guma) te slabiji oklop (oštećivanje unutarnjih komponenti i ozljeđivanje putnika).



Sl. 24. Protupješačka nagazna i potezna (rasprskavajuća) mina [20]

**Protuoklopne mine (PO)** su mine koje su namijenjene za uništavanje i onesposobljavanje oklopnih i drugih neprijateljskih vozila. (slika 25.)



Sl. 25. Protuoklopne mine [20]

**Tromblonske mine** su streljivo koje se ispaljuje pješačkim oružjem koje imaju tromblon. (slika 26.) Namjena tromblonskih mina je:

- za uništavanje žive sile
- za uništavanje TTS-a
- za zadimljavanje terena i prostora
- za osvjetljavanje terena i prostora.

Glavni dijelovi tromblonskih mina su:

- upaljač
- košuljica (tijelo mine)
- eksplozivno (ili neko drugo) punjenje
- stabilizator
- pogonsko punjenje (tromblonski meci 7,62 i 7,9 mm). [10]



Sl. 26. Tromblonske mine [21]

Kao što je već prije spomenuto eksplozivna sredstva su jako opasna, pa upravo zato i postoje sigurnosne udaljenosti koje su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Sigurnosne udaljenosti od eksplozivnih sredstava [22]

Red. br.	Vrste eksplozivnih sredstava	Udaljenost razlijetanja fragmenata eksplozivnih sredstava (m)
		pri detonaciji na površini
1	Ručne bombe, mine za ručne bacače, tromblonske mine, RPG, protupješačke mine	100
2	Topnički projektili kalibra do 76 mm	500
3	Topnički projektili kalibra od 76 do 105 mm	600
4	Topnički projektili kalibra od 105 do 122 mm	800
5	Topnički projektili kalibra od 122 do 155 mm	1200
6	Topnički projektili kalibra većeg od 155 mm	1500
7	Zrakoplovne bombe mase do 500 kg	2000
8	Zrakoplovne bombe mase veće od 500 kg	2500



## 4.2. Zrakoplovna eksplozivna sredstva

Zrakoplovna eksplozivna sredstva se dijele na:

- bombardersko naoružanje
- raketno naoružanje
- razorne bombe.

**Bombardersko naoružanje** služi za uništavanje žive sile, uništavanje oklopnih i drugih vozila, te uništenje objekata. (slika 27.) Aerosolne bombe osnovno se pune visokokaloričnim tekućim gorivom. Kod udara bombe o cilj dolazi do aktiviranja osnovnog punjena koje prelazi u parno stanje i formira aerosolni oblak. Tlak produkata unutar eksplozije je dovoljan za uništenje objekata koji bi se inače uništavali prostorno-detonirajućim bombama. [10]



Sl. 27. Bombardersko naoružanje [23]

**Raketno naoružanje** je vrlo efikasno sredstvo za uništenje ciljeva na kopnu i vodi, ali i za gađanje ciljeva u zraku na malim udaljenostima. (slika 28.)



Sl. 28. Raketno naoružanje [23]

**Razorne bombe** služe za razaranje ciljeva na bojišnici i ciljeva operativnog i strateškog značaja. (slika 29.) Bombe ovog tipa se pune TNT + smjesa (TNT i heksogena), 45-65% u odnosu na ukupnu masu.



Sl. 29. Razorna bomba [23]

### 4.3. Mornarička eksplozivna sredstva

Mornarička eksplozivna sredstva su u biti pomorske mine, a te mine služe za uništavanje brodova i podmornica. (slika 30.) Mogu se postavljati u dubinu ili mogu biti plutajuće.



Sl. 30. Pomorske mine [7]

## **5. MJESTA OPASNOSTI OD EKSPLOZIJE UZROKOVANA POŽAROM**

Mjesta gdje prijeti opasnost od eksplozije eksplozivnih sredstava su upravo:

- objekti (skladišta) oružanih snaga Republike Hrvatske (OSRH)
- objekti (skladišta) ministarstva unutarnjih poslova (MUP)
- firme za proizvodnju i remont
- firme za razminiranje i miniranje
- prodavaonicama pirotehnike
- minsko polje.

### **5.1. Objekti OSRH**

Tipovi objekata su M, S, PU i U.

Eksplozivna sredstva kod OSRH skladište se na sljedeće načine:

- na otvorenom prostoru, na vozilima i na paljbenom položaju vježbališta
- u skladišnim objektima, postrojbjenim skladištima i priručnim skladištima.

Objekt za čuvanje eksplozivnih sredstava mora biti:

- izgrađen od nezapaljivih tvari
- vrata se moraju otvarati prema van, bez pragova
- osim punih, moraju biti i rešetkasta vrata
- na prozorima mora biti postavljena kovna mreža
- stakla na prozorima moraju biti obojena bijelom bojom
- drveni dijelovi moraju biti premazani nezapaljivom bojom
- građa objekta mora biti prilagođena paletnom sustavu
- osigurana mogućnost provjetravanja
- toplinska izolacija sprječava odstupanje dnevne temperature od 5°C i da relativna vlažnost ne prelazi 75%
- svi metalni dijelovi moraju biti uzemljeni. [24]

### 5.1.1. Objekt tipa M

Nedostatci objekta tipa M su:

- smetnja stupova
- mala vrata
- velika opasnost za okoliš u slučaju eksplozije (do 20 km, ovisno o vrsti eksplozivnih sredstava).

Prednosti:

- dobri klimatski uvjeti za čuvanje ES
- može se primijeniti paletni sustav, ali uz prethodnu adaptaciju.

Protupožarna zaštita samog objekta je slaba jer ima lagani krov, plafon je od drvene konstrukcije, vrata su drvena i nisu otporna na požar. Užareni predmeti i neeksplozirani projektili veće mase mogu lako probiti krov i izazvati novi požar. Požar okolnog drveća lako se prenosi na ove objekte. [24] (slika 31.)

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava, te mogućnost nastanka velikog požara (požar okoliša). Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 31. Objekt tipa M [24]

### 5.1.2. Objekt tipa S

Karakteristično je za te objekte što im je pod u razini platforme ispred objekta i imaju gabaritna vrata kroz koja mogu nesmetano prolaziti vozila i viličari. (slika 32.)

Nedostatci:

- kod izravnog pogotka u raketiranju mogući su veliki gubitci
- premještanje eksplozivnih sredstava u ratu je bilo obavezno
- objekti nisu osigurani od diverzanata
- velika ugroženost okoliša u slučaju eksplozije.

Prednosti:

- dobri klimatski uvjeti za čuvanje eksplozivnih sredstava
- primjenjiv paletni sustav
- moguć rad viličara između susjednih skladišnih objekata.

Protupožarna zaštita objekta je slaba jer je lagani krov, vrata mogu bit drvene ili limene konstrukcije koja nije otporna na požar. Neeksplozirani projektili ili predmeti veće mase mogu probiti krov i izazvati novi požar. Okolni požar se lako prenosi na ove objekte. [24]

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava, te mogućnost nastanka velikog požara (požar okoliša). Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 32. Objekt tipa S [24]

### 5.1.3. Objekti tipa PU i U

Objekti ove vrste su najbolji, najjeftiniji i najviše se koriste. Kod dobrog održavanja okoliša oko tih objekata (redovito košenje trave, sječa grana, te odmah iznošenje istih izvan kruga) vanjski nadolazeći požar ne bi smio izazvati požar ili eksploziju eksplozivnih tvari i sredstava koji se čuvaju u njima. (slika 33.)

Objekti tipa PU i U trenutno nemaju nedostataka.

Prednosti objekata su:

- nema prijenosa eksplozije na druge objekte
- ugroza okoliša je neznatna (do 750 m ispred objekta)
- vrlo dobra otpornost na raketiranje
- vrlo dobri klimatski uvjeti za čuvanje eksplozivnih sredstava.

Protupožarna zaštita je jako dobra jer objekti imaju lučno armiranu-betonsku konstrukciju, nasuti su zemljom 0,5 m do 1 m i oslanjaju se na brdo. Ispred vratiju se nalazi zaštitni zemljani nasip, a sama vrata su od metala. Zbog jakog krova užareni predmeti, neeksplozivni projektili i predmeti veće mase ne mogu probiti krov i izazvati novi požar ili eksploziju. Također požar okolnog drveća ne može se prenijeti na objekte. [24]

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava. Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 33. Skladište U-20 i PU [24]

## 5.2. Skladišta MUP-a

Skladišta MUP-a mogu biti:

- centralna (podzemna i nadzemna)
- priručna (zidana i kontenjer)
- privremena.

Nadzemna skladišta su razvrstana u sljedeće podskupine:

- nepokretna za trajni smještaj
- pokretna
- pokretna - drvene kutije za intervencije policije.

Određeni tip skladišta mora biti izgrađen sukladno zahtjevima koje propisuju zakoni i pravila.

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava, te mogućnost nastanka velikog požara (požar okoliša). Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.

Na određenim mjestima (ulaz u krug skladišta, ulaz u objekte, komunikacijski prostor i sl.) moraju biti oznake koje prikazuju:

- zabrane uporabe otvorenog plamena i iskrećeg alata
- zabrane pristupa nezaposlenima
- zabrane unošenja oružja
- obveze zaključavanja
- obveze zatvaranja protupožarnih vrata
- opasnosti od požara
- opasnosti od eksplozije
- mjesto se štiti video nadzorom.



### 5.2.1. Priručno i privremeno skladište

Priručna skladišta moraju ispunjavat sljedeće uvjete:

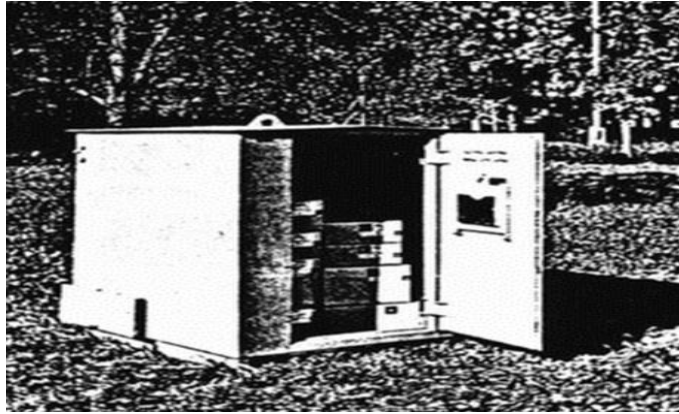
- prozori moraju bit maksimalne dimenzije 70x70 mm, te zaštićeni metalnom mrežom s vanjske strane
- vrata moraju biti zaštićena metalnom mrežom, te zaključana sa 2 ključa
- vanjski zidovi i strop moraju biti od tvrdog materijala (beton, kamen i sl.)
- skladišta moraju bit izgrađeni od negorivog materijala s minimalno specifikacijom otpornosti na vatru (REI 60 min). [7]

Ako priručna skladišta nemaju tjelesnu zaštitu moraju, ona moraju biti osigurana stalnom tehničkom zaštitom.

Minimalni zahtjevi tehničke zaštite za priručna skladišta su uvjeti V. kategorije (niži stupanj zaštite), a to podrazumijeva: ugrađenu mehaničku i tehničku zaštitu kojom se na licu mjesta zvučno ili svjetlosno signalizira neovlašten ulazak u štiićeni prostor i dojavljuje se nadležnoj osobi.

Uz priručna postoje i privremena skladišta. (slika 34.) To su skladišta za privremeno čuvanje eksplozivnih sredstava i tvari, a može biti prijenosni spremnik ili druga građevina koja ima odobrenje od Ministarstva unutarnjih poslova i 24-satnu tjelesnu ili tehničku zaštitu.

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava. Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 34. Privremeno skladište [7]

### 5.3. Firme za proizvodnju i/ili remont eksplozivnih sredstava

U firmama za proizvodnju i/ili remont eksplozivnih sredstava nažalost često dolazi do požara i eksplozije. (slika 35.) Osnovni razlozi su sama priroda posla, odnosno značajke eksplozivnih sredstava, a naročito značajke eksplozivnih tvari. U tehnološkom postupku remonta ili proizvodnje eksplozivnih sredstava moraju biti osigurani svi uvjeti za provedbu mjera pirotehničke sigurnosti (preventivne, ograničavajuće, posebne). U slučaju nastanka požara ili eksplozije u ovim firmama odmah se pozivaju vatrogasne postrojbe.

Mjere zaštite u takvim objektima su sljedeće:

- građevinske mjere zaštite od požara (aktivne i pasivne)
- stabilni sustavi za gašenje požara s automatskim radom (sprinkleri, CO<sub>2</sub>, drencher, FM-200, Novec 1230, bacači pjene i vode, itd.)
- stabilni sustavi za gašenje požara bez automatskog rada: hidrantska mreža (vanjska, unutarnja, suha), uređaji za gašenje vodom i pjenom koji se koriste zajedno s vatrogasnim vozilom. [24]

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava. Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 35. Remont i proizvodnja streljiva [7]

#### 5.4. Firme za razminiranje i miniranje

Za potrebe uništavanja pronađenih mina i neeksplozivnih granata pri razminiranju određenog područja, u neposrednoj blizini radilišta firme moraju osigurati odgovarajuće skladište za smještaj i čuvanje određene vrste i količine eksplozivnih sredstava. (slika 36.)

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava. Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.

Za privremeni smještaj i čuvanje eksplozivnih sredstava u neposrednoj blizini radilišta za razminiranje firme mogu osigurati sljedeće vrste skladišta:

- skladišni objekt eksplozivnih sredstava (zidani namjenski ili nenamjenski)
- prijenosni spremnik (kontejner) jedan ili više njih. [24]



Sl. 36. Radni prostor firme za razminiranje [20]

## 5.5. Prodavaonice pirotehničkih sredstava i naoružanja

Prodavaonice možemo svrstati u priručna skladišta, (slika 37.) odnosno prostore, gdje se mogu čuvati pirotehnička sredstva, druge eksplozivne tvari, eksplozivna sredstva i naoružanje uz uvjet da ukupna količina eksplozivne smjese ne prelazi 30 kg, odnosno da ukupna masa svih pirotehničkih sredstava ne prelazi 150 kg. [24]

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i opasnost zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava. Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 37. Prodavaonica pirotehničkih sredstava [25]

## 5.6. Minsko polje

Hrvatska je među zemljama s najvećim brojem mina u Europi, koje su postavljene tijekom Domovinskog rata (1991. - 1995. godina), no broj minski sumnjivih područja i mina smanjuje se iz godine u godinu. Prema podacima Hrvatskog centra za razminiranje (HCR) za 2014. godinu u Hrvatskoj je bilo približno 60 tisuća mina i nepoznati broj neeksploziviranih ubojnih sredstava na površini od 530 četvornih kilometara. [20] (slika 38.)

Do požara na minskom polju može doći zbog:

- prirode (udar groma, životinje)
- slučajno ili namjerno djelovanje čovjeka
- visokih temperatura ili požara šume.

Za ovakav tip objekta u slučaju požara, opasnosti za vatrogasce su razlijetanje fragmenata i zračnog udarnog vala od eksplozivnih sredstava, te mogućnost nastanka velikog požara (požar okoliša). Mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca su te da nema gašenja požara, već se moraju udaljiti na sigurnosnu udaljenost.



Sl. 38. Minsko polje [20]

## 6. PROPISANE SIGURNOSNE UDALJENOSTI KOD EKSPLOZIJA ES

Najpoznatije požarne opasnosti u objektima eksplozivnih sredstava su:

- neispravna električna instalacija
- neispravna gromobranska instalacija
- nepažnja pri rukovanju (iskrenje prilikom udara)
- uporaba nepropisnih alata
- nečist skldišni krug
- neadekvatna odjeća i obuća za rad u skladištu.

Potencijalne opasnosti koje nastaju zbog eksplozije u objektima su:

- opasnost od požara
- opasnost od eksplozije
- opasnost od trovanja
- opasnost od različitih događaja
- opasnost od navike.

U objektima se moraju poštivati kriteriji za razmještaj eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava upravo zato da bi se izbjegle gore navedene opasnosti. Kriteriji su sljedeći:

- skupina opasnosti i spojivosti
- raspršenost i visina stokiranja
- nosivost poda i slobodan prostor
- pirotehnička sigurnosna udaljenost. [24]

Propisane sigurnosne udaljenosti pri eventualnoj eksploziji eksplozivnih sredstava izračunavaju se pomoću proračuna pirotehničkih sigurnosnih udaljenosti koji se dijeli na unutarnje pirotehničke sigurnosne udaljenosti i vanjske pirotehničke sigurnosti.

## 6.1. Pirotehnička sigurnosna udaljenost

Razmještaj eksplozivnih tvari i sredstava po skladišnim objektima na temelju pirotehničke sigurnosne udaljenosti smatra se jednom od najvažnijih odluka za unutarnju i vanjsku pirotehničku sigurnost skladišta, odnosno za zaštitu ljudi, materijalnih dobara i okoliša. Odluka je obuhvaćena sa: [24]

- sigurnosno-detonacijska udaljenost
- sigurnosno-požarna udaljenost
- sigurnosna udaljenost zračnog udarnog vala
- sigurnosna seizmička udaljenost
- sigurnosna udaljenost od razlijetanja fragmenata, krhotina, projektila
- sigurnosna udaljenost pojasa lijevka.

### 6.1.1. Sigurnosna- detonacijska udaljenost - D

Formula za izračun sigurnosne detonacijske udaljenosti glasi:

$$D = k_d \cdot \sqrt[3]{P} \text{ (metar)}$$

$k_d$  - koeficijent sigurnosti

P - neto masa čistog eksploziva (kg).

Koeficijent sigurnosti ( $k_d$ ) ovisi o brizantnosti eksplozivnih tvari i položaja donatora i akceptora u sustavu. Za objekte koji su istodobno i donator i akceptor eksplozije ova se udaljenost ne izračunava. Detonacijska udaljenost od zračnog udarnog vala je 4 puta veća, a od razlijetanja neeksploziviranih projektila i krhotina 15-20 puta veća od ove. Ova je udaljenost veoma važna za određivanje mikrolokacije proizvodnih objekata i definiranje tehnološkog procesa proizvodnje eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava. Za proračun sigurnosno-detonacijske udaljenosti mjerodavan je skladišni objekt ili prostor s većom neto masom čistog eksploziva. [24]

### 6.1.2. Sigurnosna požarna udaljenost - Dz

Eksplzivne tvari koje se nalaze u eksplozivnih sredstvima nakon iniciranja daju egzotermne reakcije, koje se definiraju kao izgaranje ili eksplozija. Požar je najčešće posljedica eksplozije, ali se požarom također može izazvati eksplozija eksplozivnih sredstava.

Izgaranje je karakteristična pojava za barut. Proces gorenja baruta teče razmjerno brzo uz oslobađanje topline, koja u određenu trenutku može prijeći u eksploziju–detonaciju ako barut izgara u zatvorenom prostoru.

Prilikom izgaranja baruta kalorični su učinci razmjerno veliki i ovise o više čimbenika:

- vrsti i granulaciji baruta
- obliku stoka baruta i njegovoj ukupnoj masi
- konstrukciji skladišnog objekta, koja također može pridonijeti zatvorenosti prostora u kojemu barut izgara.

Osoblje u pojasu čuvanja baruta mora biti zaštićeno tako da toplinski fluks bude ograničen na  $1.26 \text{ W/cm}^2$ . Odjeća za zaštitu od topline mora imati sposobnost zaštite od ozljeda tijela na opekline prvog stupnja ( $1.26 \text{ W/cm}^2$ , pri čemu čovjek pokušava pobjeći od vatre) kada se zapali maksimalna količina zapaljive tvari koja se upotrebljava u operaciji ili procesu. Odabrana zaštitna oprema mora osiguravati zaštitu od udisanja vrućih i toksičnih para kada se to očekuje u stvarnosti.

Osoblje koje gasi požar koji je zahvatio eksplozivne tvari i/ili eksplozivna sredstva, mora biti u cijelosti obaviješteno o specifičnim reakcijama, opasnostima i okolnostima eksplozivnih tvari i eksplozivnih sredstava koji su izvrgnuti toplini ili požaru i to prije nego što se približi mjestu požara.

Sigurnosna požarna udaljenost izračunava prema sljedećoj formuli:

$$D_z = k_z \cdot \sqrt[3]{P} \text{ (metar)}$$

$D_z$  - možemo objasniti kao maksimalnu udaljenost paljenja koja je mjerena od središta naboja do krajnje granice širenja zapaljivog djelovanja detonacije, kada se može očekivati najveći polumjer zapaljivog djelovanja zračnoga udarnog vala prilikom detonacije eksplozivnih sredstava u zraku.



$K_z$  - koeficijent zapaljivosti: 2,4 za TNT; 2,8 do nastanjenih zgrada i javnih prometnica; 1,9 do delaboradžnice, objekata za stanovanje, osiguranje i rad ljudstva skladišta te objekata "M" i "S".

P - neto masa čistog eksploziva (kg).

Za objekte "PU" i "U" požarna udaljenost ( $D_z$ ) se ne izračunava, oni mogu biti puni maksimalno i sa eksplozivnim sredstvima iz skupine opasnosti 1.3. ili 1.4.

Eksplozivna sredstva iz skupine 1.4. su neopasna izvan požarne udaljenosti ( $D_z$ ), tj. na minimalnoj udaljenosti 30 m do nastanjenih zgrada ili minimalno 15 m do delaboradžnice. [24]

6.1.3. Sigurnosna udaljenost zračnog udarnog vala i sigurnosna seizmačka udaljenost - D

$$D = k \cdot P^{1/3} \text{ (metar)} \longrightarrow P = (D/k)^3 \text{ (kg)} - \text{ za objekte s nasipom}$$

$$D = 3/2 \cdot k \cdot P^{1/3} \text{ (metar)} \longrightarrow P = (2D/3k)^3 \text{ (kg)} - \text{ za objekte bez nasipa}$$

D - sigurnosna udaljenost zračnog udarnog vala

k - koeficijent

k = 2 za udaljenost od skladišnih objekata eksplozivnih tvari i sredstava

k = 5 za udaljenost od prometnica

k = 8 za udaljenost od vojarni

k = 15 za udaljenost od naseljenih mjesta

k = 30 za udaljenost od bolnica, vrtića;

P - neto mase čistog eksploziva (kg).

Sigurnosna seizmička udaljenost se izračunava prema formuli:

$$P_{ps} = k_s \beta \sqrt[3]{P} \text{ (m)}$$

$k_s$  - ovisi o vrsti zemljane mase

$\beta$  - koeficijent koji ovisi o pokazatelju djelovanja detonacije  $Z$  (koeficijent začepljenja)

#### 6.1.4. Sigurnosna udaljenost od razlijetanja krhotina, fragmenata i neeksplozivnih projektila - D

To je najmanja udaljenost za zaštitu od fragmenata na kojoj fragmenti i dijelovi objekta ili procesne opreme, neće prijeći opasnu gustoću fragmenata koja iznosi jedan opasni fragment na 55 m<sup>2</sup>. Ova sigurnosna udaljenost ne izračunava se za eksplozivna sredstva iz 1.2., nego se primjenjuju podatci o doletu opasnih fragmenata i krhotina koji se utvrđuju pri određivanju skupine opasnosti (pokusom). Zbog širokog asortimana eksplozivnih sredstava u skupini 1.2., ta se eksplozivna sredstva razvrstavaju u podskupine u skladu sa stupnjem opasnosti, to jest sa maksimalnim doletom opasnih fragmenata i krhotina s obzirom na nastanjene zgrade ( $k=30$ ). [24]

Sigurnosna udaljenost pojasa lijevka - DI

$$DI = k_I \sqrt[3]{P} = 0,5 \sqrt[3]{P} \text{ (m)}$$

DI - polumjer lijevka

$k_I$  - koeficijent polumjera lijevka (kreće se 0,3–0,7. Odnosno 0,5 za eksplozivna sredstva s krutim omotačem i 0,67 bez krutog omotača).

## 7. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITA VATROGASACA OD ES PRI INTERVENCIJI

Zbog lakšeg prepoznavanje požarnih skupina izrađeni su simboli kako bi osoblje koje se bori protiv požara prilikom približavanja mjestu znalo o kojim opasnostima se radi.

### Požarna skupina eksplozivnih sredstava 1.

Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine eksplozivnih sredstava suzbija se tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima i bez čekanja posebnih instrukcija. (slika 39.) Ako se, tijekom razvojne faze, požar ne može kontrolirati, mjesto požara se odmah evakuira. Uglavnom, eksplozivna sredstva koja nemaju svoja sredstva inicijacije i paljenja mogu biti izložena vatri nekoliko minuta prije nego što eksplodiraju. Upaljači, pogonska punjenja i raketni motori izuzetno su osjetljivi na požar. [24]

Potpuno razvijen požar se ne suzbija osim ako se ne zna:

- koja vrsta eksplozivnih sredstava je uskladištena na mjestu požara
- koliko dugo ta eksplozivna sredstva mogu biti izložena vatri prije nego što eksplodiraju
- koliko dugo su ta eksplozivna sredstva izložena vatri.

Ukoliko vatrogasne snage ne mogu suzbiti požar, one se moraju od mjesta požara držati dovoljno daleko da ne budu izložene opasnosti. Ukoliko je to moguće, te bi snage trebalo skloniti na zaštićenu lokaciju sa koje bi suzbijale požare koji se prošire u blizini prvobitnog požara. Ukoliko im ne stoji na raspolaganju nikakva zaštićena lokacija, snage za borbu protiv požara bi trebalo povući sa mjesta požara na dovoljno udaljenu lokaciju. Preporučuje se udaljenost kao što je razdaljina od radionica za eksploziv ( $K_z = 1.9$ ).

Nakon eksplozije vatrogasne snage mogu prići mjestu požara samo ako su eksplozivna sredstva potpuno uništena u eksploziji (masovnoj eksploziji) tako da još uvijek gore samo ostaci. [24]



Sl. 39. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 1. [24]

### Požarna skupina eksplozivnih sredstava 2.

Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine eksplozivnih sredstava suzbija se odmah tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima i bez čekanja posebnih instrukcija. (slika 40.) Eksplozivna sredstva pri požaru (klase 2) ne eksplodiraju odmah čim ih zahvati požar. Obično se eksplozije kod ovih požara mogu očekivati tek nakon što se eksplozivna sredstva zagriju određeno vrijeme (10 do 40 minuta).

Ako se takav požar ne može ugasiti prije nego što se mogu očekivati prve eksplozije, mjesto požara se napušta te se pokušaji u pogledu suzbijanja požara koncentriraju se na spriječavanje širenja požara. Požar se može suzbijati sa obližnje zaštićene lokacije ukoliko na toj lokaciji postoji zaštita od fragmenata i projektila. Potpuno razvijen požar se ne suzbija. Nastojanja u pogledu suzbijanja požara se ograničavaju na zaštitu okoline. Ako ne postoji adekvatna zaštićena lokacija, vatrogasne snage se povlače sa mjesta požara na dovoljno udaljenu lokaciju. Preporučuje se udaljenost kao što je razdaljina od radionica za eksploziv ( $K_z=1.9$ ). Vatrogasna oprema se održava u pripravnosti na zaštićenoj lokaciji. Na to mjesto, kada se evakuira, ne smije se ući ponovo sve dok požar traje, čak ni u cilju određivanja veličine požara. [24]



Sl. 40. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 2. [24]

### Požarna skupina eksplozivnih sredstava 3.

Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine eksplozivnih sredstava suzbija se odmah tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima bez čekanja posebnih instrukcija. (slika 41.) Ukoliko se u razvojnoj fazi, požar ne može kontrolirati, mjesto požara se odmah evakuira. Potpuno razvijeni požar se ne suzbija sa male udaljenosti zbog opasnosti od eksplozije i velike topline. Ukoliko na raspolaganju ne stoji odgovarajuća zaštićena lokacija, vatrogasne snage se povlače sa mjesta požara na dovoljno udaljenu lokaciju. Preporučuje se udaljenost kao što je udaljenost od radionica za eksploziv ( $K_z=1.9$ ). Ciljevi u pogledu suzbijanja požara se ograničavaju na gašenje i suzbijanje proširenih požara kako bi se spriječilo daljnje širenje. Kad god je to praktično moguće, požar se treba suzbijati sa položaja iza zaštićenih lokacija. [24]



Sl. 41. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 3. [24]

### Požarna skupina eksplozivnih sredstava 4.

Požari koji obuhvaćaju elemente ove požarne skupine eksplozivnih sredstava suzbijaju se u svim slučajevima i svim dostupnim sredstvima. (slika 42.) Poslije požara vatrogasne snage ne bi se trebale približavati mjestu požara na manjoj udaljenosti od 25 m. Poslije dužeg perioda eksplozivna sredstva mogu eksplodirati povremeno. Radi zaštite od fragmenata i projektila vatrogasne snage požar trebaju suzbijati sa zaštićene lokacije. [24]



Sl. 42. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 4. [24]

## 7.1. Postupak vatrogasaca prilikom dojave za intervenciju

U slučaju požara kod skladišta s eksplozivnim sredstvima dojava dolazi do vatrogasnog operativnog centra gdje se zaprima informacija o nesreći. (slika 43.)

Dežurni (centralist) vatrogasac uzbuđuje ostale vatrogasce putem svjetlosnog i zvučnog signala. U slučaju da je dojavu dobila samo vatrogasna postrojba, ona sama obavještava žurne službe da isključe plin, vodu i struju, kako bi se spriječila dodatne opasnosti. Dežurni vatrogasac informacije o nesreći predaje zapovjedniku vatrogasnog odjeljenja.



Sl. 43. Vatrogasni operativni centar [25]

Zapovjednik odjeljenja odlučuje s kojom opremom, tko sve od prisutnih vatrogasaca ide na mjesto nesreće i sa kojim vatrogasnim vozilima se ide na mjesto nesreće. Vrijeme od zaprimanja dojave do izlaska vatrogasaca na cestu koje uključuje opremanje vatrogasaca i izbor ljudstva iznosi maksimalno 60 sekundi.

Nakon formiranja gasnog vlaka i dolaska na intervenciju utvrđeno je da se radi o određenoj opasnosti te se postupa prema određenim zonama sigurnosti. Vatrogasci uz zbirne dogovore sa žurnim službama (vojska, policija, civilna zaštita) obavljaju evakuaciju ljudstva na sigurnu udaljenost odnosno na sigurnosnu lokaciju.

Kod intervencija gdje se nalaze eksplozivna sredstva u objektu ili na minskom polju nema gašenja, čak nema gašenja niti s kanaderom.

#### 7.2.1. Intervencija u slučaju prodavaonice pirotehničkih sredstava - vježba

U samom razgovoru s vatrogascima JVP Ivanić Grad predložio sam vježbu, odnosno detaljnije upute kako bi izgledala intervencija vatrogasaca u slučaju da dođe do nesreće na lokaciji Kloštar Ivanić gdje se u sklopu objekta nalazi prodavaonica pirotehničkih sredstava (označeno krugom crvene boje), bankomat, dućani, te na katu dom kulture. (slika 44.)



Sl. 44. Objekt s pirotehničkim sredstvima Kloštar Ivanić [25]

Prodavaonica Orion u Kloštru Ivaniću sadrži:

- pirotehnička sredstva (razred F I-IV, razrede P1 i T1)
- streljivo za start pištolje 6 mm, te streljivo za plinske pištolje 9 mm.

Prema propisima prodavaonica spada u priručna skladišta, pa prema tome u prodavaonici ne smije biti veća količina eksplozivne smjese od 30 kg, odnosno da masa svih pirotehničkih sredstava ne smije prelaziti preko 150 kg.

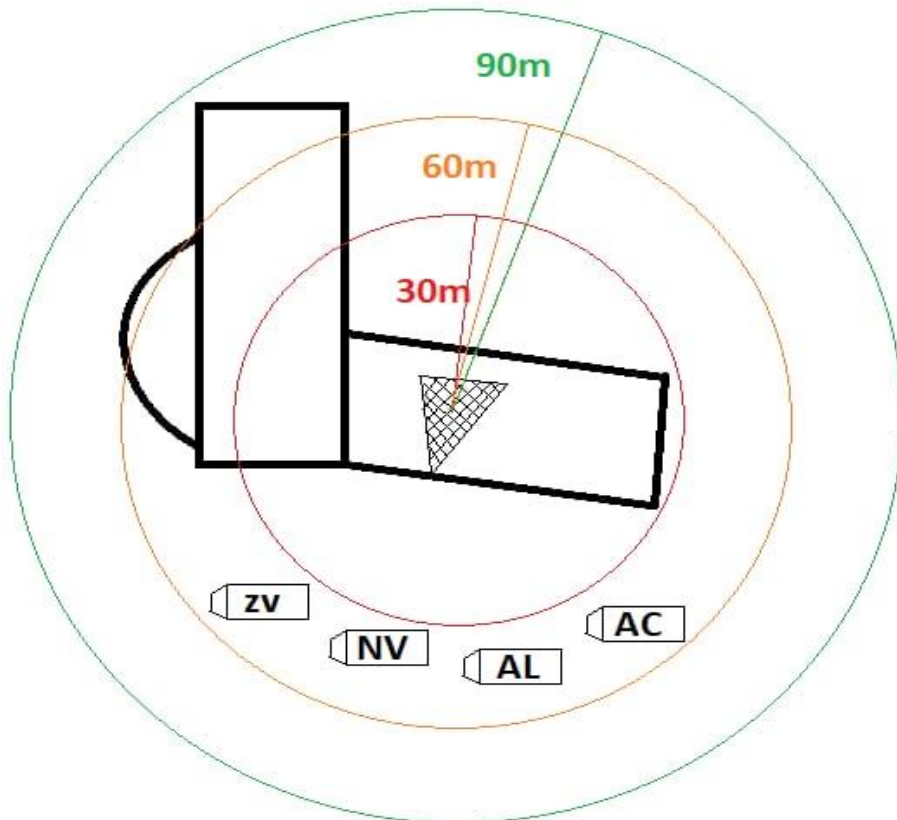
Prodavaonica je označena krugom crvene boje u slici 44., s lijeve strane se nalazi mini market, a s desne strane se nalaze pekara, još jedan mini market i bankomat. A na katu objekta se nalazi dom kulture Kloštar Ivanić. Vatrogascima iz JVP Ivanić Grad vremenski do objekta treba 5-7 minuta, ovisno o prometu.

Prodavaonica pirotehničkih sredstava prema elaboratu PPZ mora ispunjavat sljedeće uvjete:

- prilikom izgradnje skladišta eksplozivnih sredstava treba zadovoljiti graditeljske, tehničke, protupožarne i higijensko-tehničke zaštitne norme propisane Zakonom
- u skladištu nije dopušteno paliti vatru. Žigice, upaljači i druga zapaljiva sredstva oduzimaju se pri ulasku u tehnički dio skladišta. Pušenje se dopušta izvan tehničkog područja skladišta na uređenu i označenu mjestu, koje ne smije biti bliže od 30 m mjestu na kojem se rukuje eksplozivnih sredstvima
- električna instalacija mora biti u sigurnosnoj izvedbi i uvijek ispravna. Nakon završetka radnog vremena struja se isključuje u tehničkom dijelu skladišta
- uzemljenje i gromobranska instalacija redovito se provjeravaju najmanje jedanput na godinu i nakon udara groma, poplave ili potresa
- popis pripadne i postojeće protupožarne opreme
- uputu za slučaj protupožarne uzbune
- plan gašenja požara po požarnim sektorima
- provedbu općih i posebnih protupožarnih mjera
- protupožarna prosudba skladišta.



Kao što je već navedeno, u samoj prodavaonici se nalaze eksplozivna sredstva gdje nam je opasno područje 30 m, a pripremno područje 90 m. Prilikom ovakve intervencije vatrogasci skupa sa žurnim službama formiraju zone sigurnosti. (slika 45.)



Sl. 45. Primjer zona sigurnosti oko objekta s pirotehničkim sredstvima [25]

Zona 1 (opasna zona) - u ovom području do 30 m od objekta nalaze se samo vatrogasci i službe koje su najpotrebnije (hitna).

Zona 2 (zona djelovanja) - u ovoj zoni 60-90 m pomoću vatrogasne opreme hlade se objekti.

Zona 3 (zona sigurnosti) - na rubu zone 2 i zone 3 nalazi se policija koja je udaljila svo ljudstvo na sigurnosnu udaljenost od 90 m i zagrađuje prilaz kako publika ne bi ušla u bilo koju zonu.

Kako je navedeno u prijašnjem poglavlju, početak intervencije je isti. Dojava da gori prodavaonica pirotehničkih sredstava (Orion u Kloštar Ivaniću) dolazi do vatrogasne postaje, odnosno do dežurnog vatrogasca (centralista). Dežurni vatrogasac uzbuđuje ostale vatrogasce putem svjetlosne i zvučne signalizacije o nastaloj nesreći.

Zapovjednik formira postavu s kojom će izaći na mjesto nesreće, te bira koja će vozila uzeti sa sobom (gasni vlak) i koju opremu.

Po dojadi o požaru u zatvorenom prostoru koji sadrži pirotehnička sredstva, vatrogasna postrojba izlazi sa gasnim vlakom (zapovjedno vozilo, navalno vozilo, auto-ljestva, auto-cisterna) sa 8 članova.

Do dolaska na intervenciju dio pirotehničkih sredstava je već ispucao/eksplodirao uslijed topline koja se javlja u požaru, zbog ostatka neispucanih sredstava i opasnosti koje stvaraju, zapovjednik odjeljenja zapovijeda uklanjanje svih automobila (ako je potrebno radi lakšeg pristupa) i ostalih materijala koji bi mogli nastradati uslijed požara. Zatim postavlja sigurnosne zone i zapovijeda evakuaciju ljudi koji nisu do tada sami sigurnosno se udaljili na sigurnosnu udaljenost.

Zapovjednik zapovijeda hlađenje objekta i čuvanje okolnih prostora na način da se postavljaju obrambeni štitovi (vodeni štit i mlaznice) Obrambeni štit ne štiti vatrogasce od razlijetajućih fragmenata, niti služi za gašenje požara, obrambeni štit vatrogasci isključivo koriste za hlađenje objekata. A priključuje se na hidrantsku mrežu ili auto-cisternu pomoću vatrogasnog crijeva. (slika 46.)

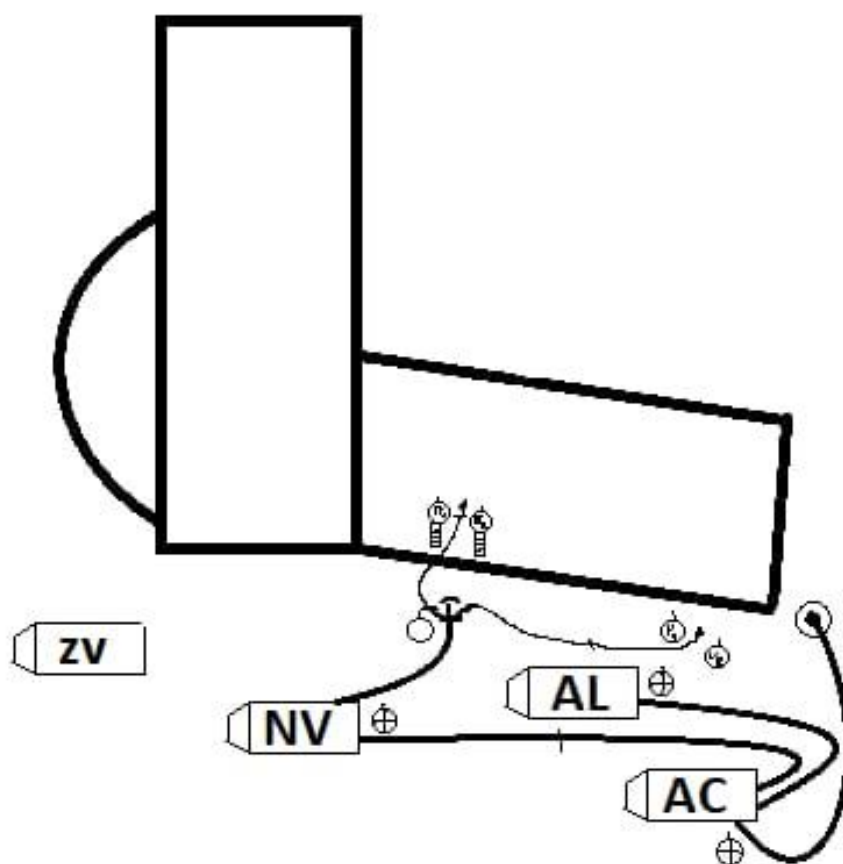


Sl. 46. Obrambeni štit [25]

Daljni tijek intervencije je da obrambeni štitovi hlade objekt (snižavaju temperaturu) u zoni 1, a u slučaju da je požar zahvatio i krovšte onda se približavaju auto-ljestve i na same ljestve koje su se približile krovštu postavljaju se obrambeni štitovi. Hlađenje traje sve dok ne eksplodira sav pirotehnički materijal.

Kada eksplodira sav pirotehnički materijal zapovjednik zapovijeda gašenje objekta. Gašenje izvode serijskim nastupom punjenje iz nadzemnog hidranta, a navalnim vozilom sa 5 članova rade unutarnju navalu i hlađenje susjedne prostorije. Auto-ljestvama vatrogasci kombinirano nastupaju gašenjem kroz krovšte zgrade uz pomoć navalne grupe iz auto-cisterne.

Nakon gašenja, policija nastavlja s očevidom, a posade gasnog vlaka vraćaju se u postrojbu, pune potrošene tekućine, čiste vozila i opremu, a voditelj odjeljenja piše izvještaj intervencije. (slika 47.)



Sl. 47. Primjer postupka intervencije kod objekta s pirotehničkim sredstvima [25]

## 8. ZAKLJUČAK

Razvojem znanosti, naročito u svezi kemije i fizike, došlo je do napretka eksplozivnih sredstava. Jedan dio eksplozivnih sredstava se skladišti dok je drugi dio još uvijek neeksplozivan u prirodi (minska polja).

Primjer skladišta eksplozivnih sredstava je upravo prodavaonica pirotehničkih sredstava, a ona kao takva mora zadovoljiti pravilnik o prostornim, tehničkim i sigurnosnim zahtjevima skladištenja. (NN 141/08, 65/10)

Kod intervencija eksplozivnih sredstava javljaju se opasnosti od razlijetanja fragmenata, opasnost od zračnog udarnog vala i u nekim slučajevima mogućnost proširenja požara, a upravo prvi u liniji obrane su vatrogasci. Glavne mjere sigurnosti i zaštite vatrogasaca pri intervenciji eksplozivnih sredstava su udaljavanje na sigurnosnu udaljenost i nema poduzimanja akcije gašenja požara.

Vatrogasci konstantno unapređuju svoje znanje i vještine. O tome nam govori informacija da vatrogasci komuniciraju na međunarodnoj razini s drugim vatrogasnim postrojbama putem seminara i raznih edukacija.

Smatram da bi trebalo više uložiti u sustave skladištenja kao što je sigurnije prostorno uređenje, bolja regulacija temperature i bolja protupožarna zaštita. Također smatram da bi trebalo više uložiti i u opremu vatrogasaca kako bi brže i lakše svladali nesreće.

## 9. LITERATURA

- [1] Eksplozivne tvari, <https://commons.wikimedia.org/wiki/>, pristupljeno 1.8.2021.
- [2] **Sučeska M.:** „*Eksplozije i eksplozivi, knjiga, Brodarski Institut*“, 1, (2001.), ISBN 953-6017-11-3.
- [3] Eksplozivno sredstvo, <https://hr.wikipedia.org/wiki/MRUD#/media/Datoteka:MRUD.JPG> , pristupljeno 1.8.2021.
- [4] **Pavelić Đ.:** „*Sigurna primjena eksploziva*“, Sigurnost 52 (2010), 1, 73-76, <https://hrcak.srce>, pristupljeno 3.8.2021.
- [5] Oznake za istaknute opasnosti eksplozivnih sredstava, <https://www.prometna-zona.com/opasni-tvari-u-prometu/>, pristupljeno 4.8.2021.
- [6] Skupine opasnosti eksplozivnih sredstava, <https://mmpi.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/ADR%202007%202.%20dio%20klasif..pdf>, pristupljeno 4.8. 2021.
- [7] **Todorovski Đ.:** Kolegij „Osnove sigurnosti i zaštite od eksplozivnih tvari“, PowerPoint prezentacija, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2021.
- [8] Eksploziv, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Eksploziv>, pristupljeno 4.8. 2021.
- [9] Eksplozije, <https://www.znrfak.ni.ac.rs/>, pristupljeno 5.8.2021.
- [10] SSNO, Municija TSI-I/1, knjiga I, deo I, Split, I, (1974.).
- [11] **Dobrilović M., Škrlec, V. Bohanek, V. Stanić, N. & Z. Ester(2008):** „*Disposability of the Energy Produced in Shock Tube, Proceedings of the 11th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials*“, Jan Ottis, Jiří Pachmáň (ur.), Pardubice, University of Pardubice, 493-499, (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni), <https://www.rgn.unizg.hr/hr/>, pristupljeno 7.8.2021.
- [12] Nuklearno oružje, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Nuklearno\\_oružje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Nuklearno_oružje), pristupljeno (5.8.2021.).

- [13] **Pleše M.:** „*Fizika i kemija eksplozivnih tvari*“, MORH, Oružane snage RH, Hrvatsko vojno učilište Petar Zrinski, Zagreb (2008.) ISBN 978-953-193-049-9.
- [14] AMC Pamphlet: „Engineering design handbook – Explosives series properties of explosives of military interest“, Headquarters, United States army materiel command, Washington. D. C. (1971.).
- [15] **Pavelić Đ.:** „*Opasnosti i zaštita pri rukovanju inicijalnim eksplozivima*“, Sigurnost, 54 (2012.), 1, 63–65, <https://hrcak.srce.hr/79203>, pristupljeno 10.8.2021.
- [16] **Bajić Z.:** „*Inicijalni i brizantni eksplozivi*“, Beograd, (2015.), ISBN 978-8686363534.
- [17] Kompozitni barut, <https://www.exportersindia.com/intimate-fine-india/>, pristupljeno 11.8. 2021.
- [18] Signalne naprave, <https://www.burzanautike.com/hr/sto-su-to-signalne-naprave/6325/59>, pristupljeno 6.8. 2021.
- [19] Metak 105 mm, <https://arconpartners.net/products/ammunition/large-caliber/105-mm-round-with-he-m1-projectile-and-m67-propelling-charge-he-for-105-mm-howitzers/>, pristupljeno 7.8. 2021.
- [20] Mine, <https://www.hck.hr/UserDocImages/publikacije/Priru%C4%8Dnici/Prirucnik%20-%20Mine.pdf>, <https://www.wikiwand.com/en/POMZ>, pristupljeno 6.8.2021.
- [21] Tromblonske mine, <https://aktualno.hr/u-kanti-za-otpad-pronadene-tromblonske-mine/>, pristupljeno 8.8.2021
- [22] **Todorovski Đ, Uvalić I.:** „*Sigurnost i zaštita pri uništavanju vojnih eksplozivnih sredstava*“, Sigurnost, 58 (2016.), 4, 319-331, <https://hrcak.srce.hr/79203>, pristupljeno 11.8.2021.
- [23] Zrakoplovna eksplozivna sredstva <https://hrvatski-vojniki.hr/konvencionalni-projektile-velike-razorne-moci-drugi-dio/>, <https://arconpartners.net/products/ammunition/aircraft-bombs/>, pristupljeno 11.8.2021.

[24] **Todorovski, Đ.:** *Skladištenje, čuvanje i održavanje ubojitih sredstava*“, priručnik, MORH, Zagreb, 1998.

[25] Vlastiti izvor



## 10. PRILOZI

### 10.1. Popis slika

Sl. 1. Primjer eksplozivnih tvari [1].....	2
Sl. 2. Primjer eksplozivnog sredstva [3].....	3
Sl. 3. Podjela eksplozivnih tvari [4] .....	4
Sl. 4. Oznake sa istaknutim brojem skupine opasnosti eksplozivnih sredstava [5].....	5
Sl. 5. Stupanj stabilnosti izgaranja eksplozivnih tvari [7].....	7
Sl. 6. Shema nastanka detonacije [8] .....	9
Sl. 7. Fizička eksplozija bez eksploziva [10] .....	10
Sl. 8. Shema eksplozije [11] .....	11
Sl. 9. Prikaz nuklearne eksplozije [12] .....	13
Sl. 10. Svojstva, izgled i struktura živinog fulminata [14] .....	15
Sl. 11. Svojstva i izgled olovnog azida [14].....	16
Sl. 12. Svojstva, struktura i izgled tetrazena [14] .....	17
Sl. 13. Dijazodinitrofenol [14].....	18
Sl. 14. Svojstva, izgled i struktura olovo-trinitrorezorcinata [14].....	19
Sl. 15. Trotil u praškastom stanju [14].....	21
Sl. 16. Izgled i struktura tetrila [14] .....	21
Sl. 17. Izgled i struktura heksogena [14].....	22
Sl. 18. Pentrit kao gotov eksploziv i u praškastom stanju [14] .....	23
Sl. 19. Oktogen u prahu i u granati [14] .....	24
Sl. 20. Primjer kompozitnog baruta [17].....	24
Sl. 21. Pirotehnička smjesa u streljivu za praćenje i signalnim napravama [18] .....	26
Sl. 22. Elementi pješačkog streljiva [10] .....	27
Sl. 23. Primjer dvodijelnog metka [7] .....	28
Sl. 24. Protupješačka nagazna i potezna (rasprskavajuća) mina [20] .....	29
Sl. 25. Protuoklopne mine [20].....	29
Sl. 26. Tromblonske mine [21] .....	30
Sl. 27. Bombardersko naoružanje [23].....	31
Sl. 28. Raketno naoružanje [23] .....	32
Sl. 29. Razorna bomba [23] .....	32
Sl. 30. Pomorske mine [7].....	33

Sl. 31. Objekt tipa M [24] .....	35
Sl. 32. Objekt tipa S [24] .....	36
Sl. 33. Skladište U-20 i PU [24] .....	37
Sl. 34. Privremeno skladište [7] .....	40
Sl. 35. Remont i proizvodnja streljiva [7] .....	41
Sl. 36. Radni prostor firme za razminiranje [20] .....	42
Sl. 37. Prodavaonica pirotehničkih sredstava [25] .....	42
Sl. 38. Minsko polje [20] .....	43
Sl. 39. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 1. [24] .....	50
Sl. 40. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 2. [24] .....	50
Sl. 41. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 3. [24] .....	51
Sl. 42. Oznaka za požarnu skupinu eksplozivnih sredstava 4. [24] .....	52
Sl. 43. Vatrogasni operativni centar [25] .....	52
Sl. 44. Objekt s pirotehničkim sredstvima Kloštar Ivanić [25] .....	53
Sl. 45. Primjer zona sigurnosti oko objekta s pirotehničkim sredstvima [25] .....	55
Sl. 46. Obrambeni štit [25] .....	57
Sl. 47. Primjer postupka intervencije kod objekta s pirotehničkim sredstvima [25] ...	58

## 10.2. Popis tablica

Tablica 1. Skupine spojivosti eksplozivnih sredstava [6] .....	6
Tablica 2. Sigurnosne udaljenosti od eksplozivnih sredstava [22] .....	30

## 10.3. Popis simbola (korištenih kratica)

ET - eksplozivne tvari

ES - eksplozivna sredstva

JVP - javna vatrogasna postrojba

OSRH - Oružane snage Republike Hrvatske

MUP - Ministarstvo unutarnjih poslova

MES - minskoeksplozivna sredstva

DDNF - dijazodinitrofenol

BET - brizantne eksplozivne tvari

IET - inicijalne eksplozivne tvari

PET - potisne eksplozivne tvari

ZV - zapovjedno vozilo

AL - auto-ljestve

AC - auto-cisterna

NV - navalno vozilo

CO<sub>2</sub> - ugljikov dioksid

PPZ - protupožarna zaštita

PU - poluukopani

U - ukopani