

# VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA POŽARA SKLADIŠTA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA ZA VATROMET

---

Lepčić, Ivan

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:128:242274>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



**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 REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivan Lepčić

**VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA  
POŽARA SKLADIŠTA PIROTEHNIČKIH  
SREDSTAVA ZA VATROMET**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Ivan Lepčić

**FIREFIGHTING INTERVENTION IN  
EXTINGUISHING FIRE AT  
PYROTECHNICS FIREWORKS  
WAREHOUSE**

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivan Lepčić

**VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA  
POŽARA SKLADIŠTA PIROTEHNIČKIH  
SREDSTAVA ZA VATROMET**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl. ing.

Karlovac, 2021



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

**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**

Specijalistički studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2021.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Ivan Lepčić

Matični broj: 0248077273

Naslov: Vatrogasna intervencija gašenja požara skladišta pirotehničkih sredstava za vatromet

Opis zadatka:

- općenito o eksplozivnim tvarima (definicija, podjela, namjena, značajke),
- detaljno o pirotehničkim smjesama (vrste, namjena, značajke),
- sagorijevanje eksplozivnih tvari – primjeri kemijskih reakcija, s naglaskom na pirotehničke smjese,
- trenutno važeći propisi o pirotehničkim sredstvima za vatromet,
- opis odabranog skladišta pirotehničkih sredstava za vatromet, elaborat i poduzete mjere zaštite od požara objekata,
- vatrogasna intervencija gašenja požara skladišta pirotehničkih sredstava za vatromet s naglaskom na mjerama sigurnosti i zaštite vatrogasaca.

Zadatak zadan:

07/2021

Rok predaje:

09/2021

Predviđeni datum obrane:

11/2021

Mentor:

mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl. ing.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

dr. sc. Zvonimir Matusinović, dipl. ing.

## PREDGOVOR

Želio bih se zahvaliti svim uvažanim profesorima specijalističkog diplomskog stručnog studija Sigurnosti i zaštite na prenesenom znanju i iskustvu, posebno u ovim uvjetima pandemije Covida 19, gdje su maksimalno izašli u susret studentima te time im uvelike pomogli.

Posebno se zahvaljujem profesoru i mentoru mr. sc. Đorđi Todorovskom, dipl. ing. koji je prilikom izrade završnog rada pružao stručnu pomoć i podršku.

Također, zahvalio bih se i Javnoj vatrogasnoj postrojbi Grada Križevaca na poticanju studiranja i materijalnoj pomoći, kao i zahvala svim kolegama vatrogascima koji su imali razumijevanja za moje odlaske na predavanja ili online predavanja koja su se održavala za vrijeme radnog vremena.

Najveća zahvala ide moj obitelji, a posebno zaručnici koja mi je cijelo vrijeme davala veliku podršku, a time i motivaciju.

Veliko HVALA svima od srca!

Ivan Lepčić

## SAŽETAK

Intervencije s eksplozivnim tvarima su zaista rijetke, ali ukoliko do njih dođe stavlja pred gasitelje i njihovog voditelja težak zadatak. U radu su opisana eksplozivna sredstva sa svojim svojstvima. Detaljnije su opisane eksplozivne tvari (inicijalni, brizantni, baruti) s njihovim najvažnijim predstavnicima koji se koriste. Pirotehničke smjese su opisane kao zasebna cjelina, jer se one uglavnom koriste u pirotehničkim sredstvima kojima se dobivaju zvučni efekti, svjetlosni efekti i dimni efekti. Načini sagorijevanja eksplozivnih tvari također su vrlo bitni podaci, kojima treba imati na umu prilikom gašenja. Navedena je sva trenutno važeća zakonska regulativa koja se odnosi na pirotehnička sredstva, jer oni reguliraju gotovo sve, od proizvodnje, manipulacije, skladištenja i krajnje potrošnje.

U radu je opisano jedno skladište pirotehničkih sredstava tvrtke Jorge Pirotehnika, koje se nalazi na požarnom području JVP-a Križevci, a koje se bavi uvozom, skladištenjem i prodajom pirotehničkih sredstava. Navedene su sve mjere zaštite od požara, kao i postupci vatrogasnih snaga koje dolaze na mjesto intervencije, odluke koje mora donijeti voditelj intervencije a da pri tome ne ugrozi živote vatrogasaca i okolnog stanovništva.

**KLJUČNE RIJEČI:** eksplozivna sredstva, eksplozivne tvari, pirotehnička sredstva, vatromet, intervencija, vatrogasci

## SUMMARY

Intervention with explosive substances is really rare, but if they occur, it puts a difficult task in front of firefighters and their leader. This paper describes explosives with their properties. Explosive substances (initial, explosive, gunpowder) with their most important representatives are described in more detail. Pyrotechnic mixtures are described as a separate unit, because they are mainly used in pyrotechnic devices that produce sound effects, light effects and smoke effects. Ways of burning explosives are also very important data, which should be kept in mind when extinguishing. All currently valid legal regulations related to pyrotechnic devices are listed, because they regulate almost everything, from production, manipulation, storage and final consumption.

This paper describes a warehouse of pyrotechnic devices of the company „Jorge Pirotehnika“, which is located in the fire area of fire brigade Krizevci, and which deals with the import, storage and sale of pyrotechnic devices. All fire protection measures are listed, as the actions of the fire brigade that arrive at the scene of intervention, the decisions that must be made by the intervention leader without endangering the lives of firefighters and the surrounding population.

**KEYWORDS:** explosives, explosive substances, pyrotechnic devices, fireworks, intervention, firefighters



# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD.....	1
2. OPASNE TVARI.....	3
2.1. Eksplozivna sredstva.....	4
2.2. Eksplozivne tvari .....	6
2.2.1. Inicijalni eksplozivi .....	6
2.2.2. Brizantni eksplozivi .....	11
2.2.3. Baruti .....	16
3. PIROTEHNIČKE SMJESE .....	23
3.1. Oksidansi .....	23
3.2. Goriva.....	26
3.3. Aditivi.....	29
4. SAGORIJEVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI .....	35
4.1. Deflagracija .....	37
4.2. Detonacija .....	38
5. TRENUTNO VAŽEĆI PROPISI PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA ZA VATROMET .....	40
5.1. Zakon o eksplozivnim tvarima te proizvodnji i prometu oružja (NN 141/20). 40	
5.2. Pravilnik o sigurnosnim zahtjevima za pirotehnička sredstva te uvjetima za njihovu podjelu.....	43
5.3. Pravilnik o sadržaju, izgledu i načinu vođenja upisnika o eksplozivnim tvarima .....	45
5.4. Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari.....	46
5.5. Pravilnik o tehničkim zahtjevima za eksplozivne tvari .....	47
6. JORGE PIROTEHNIKA D.O.O. ....	49
6.1. O tvrtki JORGE .....	49
6.2. Makro lokacija i mikrolokacija skladišta .....	49

6.3.	Opis skladišta eksplozivnih tvari.....	50
6.4.	Skladištenje i manipulacija eksplozivnih tvari.....	52
6.5.	Fizičko – tehničke mjere zaštite .....	54
6.6.	Mjere zaštite od požara .....	55
7.	VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA SKLADIŠTA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA .....	59
7.1.	Incidenti s pirotehničkim sredstvima.....	59
7.2.	Gašenje požara skladišta pirotehničkih sredstava .....	60
8.	ZAKLJUČAK .....	68
9.	LITERATURA.....	69
10.	PRILOZI .....	71
10.1.	Popis simbola (korištenih kratica):.....	71
10.2.	Popis slika: .....	71
10.3.	Popis tablica:.....	73

## 1. UVOD

U današnje vrijeme kada je upotreba pirotehničkih sredstava sve pristupačnija, te ne prolazi niti jedno zbivanje ili manifestacija bez upotrebe barem nekih pirotehničkih sredstava. U novogodišnje vrijeme najčešće se koriste petarde, dok se vatromet koristi gotovo kroz cijelu godinu.

Pirotehnička sredstva imaju široku namjenu, koriste se u zabavne, gospodarske i druge svrhe, a osnovna zadaća im je stvaranje efekta kao što su boja, dim i zvuk.

Pirotehnika je stvaranje i iskorištavanje posebnih učinaka i proizvoda koji nastaju pri egzotermnim reakcijama među sastojcima pirotehničke smjese. Obzirom na namjenu, odnosno učinak dijelimo ih na:

- sredstva za stvaranje dimnih efekata (maskirni i obojeni dim),
- sredstva za stvaranje plina i topline (termitne smjese),
- sredstva za stvaranje zvučnih učinaka (petarde, topovski udari, itd.),
- sredstva za stvaranje svjetlosnih učinaka (osvjetljavajuća sredstva, signalna sredstva, sredstva s obojenom svjetlošću, itd.).

Skladištenju pirotehničkih sredstava treba pridodati posebnu pozornost, gdje je od iznimne važnosti pridržavati se zakonskih propisa za uvjete i način skladištenja, manipulaciju i rukovanje pirotehnikom, mjerama i propisima za uklanjanje ili umanjivanje od opasnosti od požara. Za sigurno skladištenje i čuvanje pirotehničkih sredstava u skladištima jedan od glavnih uvjeta je provedba zaštite od požara. Zaštita od požara obuhvaća organiziranje i pripremu ljudi i sredstava za gašenje požara, provedbu pirotehničkih mjera zaštite od požara kao i pružanje prve pomoći u slučaju nastanka akcidenta, izradu elaborata zaštite od požara, te provedbu općih i posebnih mjera zaštite od požara.

U trenutku kada slučajno ili namjerno prestane pridržavanje i provođenje mjera zaštite od požara dolazi do nastanka neželjenog događaja. Tada dolazi do intervencija svih nadležnih službi, a najčešće su to Javne vatrogasne postrojbe. Od vatrogasaca se očekuje brzo djelovanje i visoka učinkovitost snaga, opreme i sredstava, što nije nimalo lako. Poznato je da su posljedice od nastanka akcidenta u skladištu eksplozivnih

sredstava, s obzirom na samu narav eksplozivnih sredstava, velike materijalne štete i veliki broj ozlijeđenih i smrtno stradalih u samom skladištu tako i u samoj blizini skladišta. Vođenje akcije gašenja takvog akcidenta daje voditelju intervencije nimalo lak zadatak. Vršiti eventualno gašenje i spašavanje unesrećenih a da se pri tome ne ugrožavaju životi pripadnika vatrogasnih postrojbi gotovo je nemoguće.

Zbog svega toga moraju se strogo i redovito poštivati svi važeći propisi kako bi se spriječile takve nesreće, a to je moguće, pored ostalog, savjesnim i odgovornim provođenjem mjera zaštite od požara.

## 2. OPASNE TVARI

Prema Zakonu o prijevozu opasnih tvari (NN 79/07), opasne tvari su robe, tereti, tvari, materijali i predmeti koji su odredbama ugovora iz članka 3. ovoga Zakona podijeljeni na: eksplozivne tvari, plinove, zapaljive tekućine, zapaljive krute tvari, samozapaljive tvari, tvari koje u dodiru s vodom oslobađaju zapaljive plinove, oksidirajuće tvari, organske peroksidi, otrove, infektivne tvari, radioaktivne tvari, nagrizajuće tvari i ostale opasne tvari. Opasne tvari predstavljaju i otpad, pripravci, radioaktivni i nuklearni materijal ako udovoljavaju uvjetima za svrstavanje u opasne tvari u smislu odredbi u smislu odredbi ugovora iz članka 3. ovoga Zakona. [1]

Klasifikacija opasnih tvari definirana je Europskim sporazumom o međunarodnom prijevozu opasnih tvari u cestovnom prometu. Sporazum je sastavljen u Ženevi 30. rujna 1957. godine pod okriljem Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu te je stupio na snagu 29. siječnja 1968. godine. Prilozi A i B kao sastavni dio Sporazuma naknadno su usvojeni i pripojeni Sporazumu 1969. godine.[2]

Prema ADR-u opasne tvari kvalificirane su u 9 klasa, s pripadajućim listicama (slika 1.):

- klasa 1 – eksplozivne tvari i predmeti punjeni eksplozivnim tvarima,
- klasa 2 – plinovi,
- klasa 3 – zapaljive tekućine,
- klasa 4.1 – zapaljive krute tvari,
- klasa 4.2 – samozapaljive tvari,
- klasa 4.3 – tvari koje stvaraju zapaljive plinove u dodiru s vodom,
- klasa 5.1 – oksidirajuće tvari,
- klasa 5.2 – organski peroksidi,
- klasa 6.1 – otrovi,
- klasa 6.2. – infektivne tvari,
- klasa 7 – radioaktivne tvari,
- klasa 8 – korozivne (nagrizajuće) tvari,
- klasa 9 – ostale opasne tvari i predmeti.



Slika 1. Listice opasnosti za opasne tvari [3]

## 2.1. Eksplozivna sredstva

Po pojmom „eksplozivno sredstvo“ (ES) podrazumijevamo pješačko, topničko i raketno streljivo, morske, protu pješačke i protuoklopne mine, bombe, eksplozive i barute, upaljače i kapsule, sredstva za iniciranje, pripale, plamenike, zrakoplovne bombe, ostala zrakoplovna ubojita sredstva, vježbovna, manevarska i sve ostale vrste eksplozivnih sredstava. Zapravo eksplozivno sredstvo (slika 2.) je svaki predmet (uređaj ili naprava) koji u sebi sadrži eksplozivnu tvar, te koje pod djelovanjem vanjskih utjecaja (impulsa) može ostvariti predviđeni cilj. [4]



Slika 2. Eksplozivna sredstva [4]

Eksplzivna sredstva dijele se na:

- klasična,
- raketna,
- zrakoplovna,
- mornarička.

Najopćija podjela klasičnih eksplozivnih sredstava:

- pješačko streljivo,
- topničko streljivo,
- haubičko streljivo,
- mine za minobacače,
- mine za netrzajuća oruđa,
- mine za ručne bacače,
- tromblonske mine,
- artificije,
- MES,
- vježbovna, manevarska i školska streljiva.

Podjela zrakoplovnih eksplozivnih sredstava (ES):

- bombarderska ES,
- raketna ES,
- topnička ES,
- vježbovna, manevarska i školska.

Podjela raketnih sredstava:

- nevođene rakete,
- vođene rakete,
- rakete za potporu,
- vježbovna, manevarska i školska. [4]

## 2.2. Eksplozivne tvari

Eksplozivne tvari su takav sustav, relativno nestabilan, koji je sposoban pod utjecajem vanjskog djelovanja (početni impuls – udar, trenje, toplina) prijeći (u termodinamičkom smislu) u stabilniji sustav, pri čemu obavlja golemi rad u stvaranju plinovitih produkata zagrijanih na nekoliko tisuća stupnjeva i pod tlakom od 20.000.000.000 Pa. Služe za izbacivanje projektila iz cijevi pješačkog ili topničkog naoružanja, pokretanje (pogon) raznih raketnih sustava, iniciranje drugih eksplozivnih tvari, te rasprskavanje košuljice projektila ili osiguranja nekog drugog efekta na cilju.

Eksplozivne tvari (ET) dijele se na:

- inicijalne eksplozive,
- brizantne eksplozive,
- barute,
- pirotehničke smjese. [4]

### 2.2.1. Inicijalni eksplozivi

Inicijalni ili primarni eksplozivi su takvi eksplozivi koji u dodiru s plamenom, udarom i trenjem odmah ili vrlo brzo primaju režim detonacije. Jako su osjetljivi na vanjske poticaje, te je za njihovo aktiviranje dovoljan impuls, neznatne jačine (plamen, iskra, udar, trenja i sl.).

Prva poznata tvar koja se upotrebljavala za iniciranje osnovnog eksplozivnog naboja bilo je „eksplozivno zlato“ kojim su se koristili alkemičari još početkom XVII. st. pri svojim eksperimentima. Dobivali su ga rastvaranjem oksida zlata u amonijaku. Tako dobivena tvar bila je osjetljiva na plamen pod čijim utjecajem je lako eksplodirala. U to vrijeme bio je poznat i živin fulminat koji se i danas upotrebljava kao inicijalni eksploziv. Dugo vremena bio je to jedini poznat inicijalni eksploziv, a njegova upotreba dominira sve do pred 2. svjetski rat kada se masovnije pojavljuju u praktičnoj uporabi i drugi inicijalni eksplozivi.



Osnovna namjena inicijalnih eksploziva je pobuđivanje procesa detonacije osnovnog eksplozivnog naboja tj. aktiviranje – paljenje brizantnog eksploziva (odatle inicijalnom eksplozivu potječe naziv primarni eksploziv). [5]

Osnovna primjena inicijalnih eksploziva je:

- primarno punjenje u detonatorskim kapsulama,
- u inicijalno-detonatorskim sustavima upaljača kod minsko-eksplozivnih sredstava,
- u inicijalnim kapsulama raznih vrsta streljiva,
- kao komponenta u zapaljivim pirotehničkim smjesama.

Najvažniji predstavnici inicijalnih eksploziva su:

- živin fulminat,
- olovni azid,
- olovni trinitrorezorcinat ili TNRS (olovni stifinat),
- tetrazen,
- dijazo-dinitrofenol.

Živin fulminat (živina sol fulminske kiseline) – empirijska formula:  $C_2H_2O_2Hg$ : dobiva se rastvaranjem metalne žive u dušičnoj kiselini. Iz te otopine se dodavanjem etil-alkohola taloži živin fulminat. Izgledom je bijeli ili slabo žućkasti kristalni prah, temperature paljenja  $160-165^{\circ}C$ , volumena plinova ( $V_0$ ) 935 l/kg, temperature eksplozije  $2054^{\circ}C$ . 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  $100^{\circ}C$ , dok duljim zagrijavanjem na  $100^{\circ}C$  detonira. U vlažnoj atmosferi reagira vrlo burno, što je bitno pri izboru materijala za izradu detonatorske kapsule. Živin fulminat (slika 3.) 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). Obzirom na osjetljivost prema vlazi, njegova primjena je sve rjeđa kao i zbog jakog korozivnog djelovanja na cijevi oružja. [5]



Slika 3. Živin fulminat [4]

Olovni azid (sol dušikovodične kiseline) – empirijska formula:  $Pb(N_3)_2$ : dobiva se redukcijom iz vodene otopine natrij azida i olovnog nitrata. Tako dobiven osobito je osjetljiv na udar i trenje. Da bi mu se smanjila osjetljivost, u fazi taloženja dodaje se dekstrin ili parafin koji u izvjesnoj mjeri flegmatiziraju (smanjuju mu preveliku osjetljivost koja nije pogodna za rukovanje). Izgledom je kristalni prah bijele do svijetložute boje, netopljiv u vodi, potpuno suh ne reagira s metalima, dok vlažan osobito reagira s bakrom tvoreći bakreni azid koji je jako osjetljiv na udar i trenje. 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. Zbog toga se u kapsulama na sloj olovnog azida preša sloj olovnog stifinata koji je neusporedivo osjetljiviji na plamen. Olovni azid je u stanju inicirati bilo koji brizantni eksploziv sa znatno manjom količinom punjenja od bilo kojeg drugog inicijalnog eksploziva. Primjenjuje se za izradu detonatorskih kapsula i pojačnika (osim detonatora koji sadrže pikrinsku kiselinu). Inicijalna sredstva u kojima se upotrebljava olovni azid (slika 4.) kao punjenje izrađena su od aluminijske (detonatorske kapsule su srebrnasto bijele boje). [5]



Slika 4. Olovni azid [4]

Olovni trinitrorezorcinat (olovni stifinat) – empirijska formula:  $C_6H_3N_3O_9Pb$ : kristalna tvar narančastožute boje (slika 5.). U vodi se ne otapa, ne reagira s metalima čak niti u prisutnosti vlage. 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. 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. [5]



Slika 5. Olovo trinitrorezorcinat [4]

Tetrazen – empirijska formula:  $C_2H_8N_{10}O$ : igličasti kristali od bezbojne do svijetložute boje (slika 6.). Po osjetljivosti na udar sličan je živinu fulminatu, ali mu porastom vlage osjetljivost ne opada. Veoma je osjetljiv na plamen, pa se upotrebljava u zapaljivim smjesama inicijalnih kapsula umjesto živina fulminata. 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. [5]



Slika 6. Tetrazen [4]

Dijazodinitrofenol (DDNF) – empirijska formula:  $C_6H_2O_5N_4$ : u drugim zemljama je također poznat pod nazivom DDNF (slika 7.), a dobiva se djelovanjem dušične kiseline na aminodinitrofenol. 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 čuvanje zbog veće postojanosti od živina fulminata. [5]



Slika 7. DDNF [4]

### 2.2.2. 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. 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 nitrospojevi 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. Čisti 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.

Trotil ili skraćeno TNT – empirijska formula:  $C_7H_5N_3O_6$ : 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 ispire toplom vodom. Tijekom prvog svjetskog rata sve sile su koristile TNT, ali 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. Trotil je gotovo netopiv u vodi, slabo topiv u alkoholu. Topiv je u benzenu, toluenu i acetonu. Za vojnu upotrebu 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 (slika 8.) je i dalje najvažniji eksploziv za punjenje eksplozivnih sredstava. Može se koristiti zasebno ili u smjesama s drugim eksplozivima. Primjenjuje se za punjenje artiljerijskih zrna, bombi, mina i torpeda u lijevanom i prešanom stanju. [6]



Slika 8. Trotil ili TNT [4]

Tetril – empirijska formula:  $C_7H_5N_5O_8$ : je otrovan, netopiv u vodi, slabo topljiv u alkoholu, eteru i benzenu i lakše je topiv u acetonu. Dobiva se otapanjem moni i dimetilanilina u sumpornoj kiselini i dodavanjem te otopine u dušičnu kiselinu, uz hlađenje. Tetril (slika 9.) je 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.



Slika 9. Tetril [4]

Heksogen – empirijska formula:  $C_3H_6N_6O_6$ : dobiva se nitracijom urotropina. Urotropin je kristalno bijelo tijelo. Higroskopan 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 (slika 10.). 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. Njegova snaga je visoka zbog visoke gustoće i visoke brzine detonacije. Zbog visoke cijene i velike osjetljivosti još nema široku primjenu. Čist se upotrebljava samo za sekundarna punjenja detonatorskih kapsula, dok u smjesi s 50-70% trotila upotrebljava se za izradu punjenja gdje potreban snažan efekt. [6]



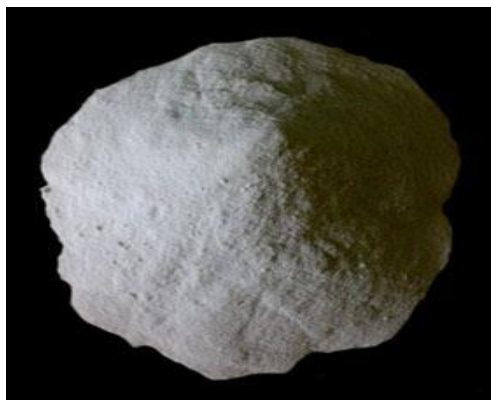
Slika 10. Heksogen [4]

Pentrit – empirijska formula:  $C_5H_8N_4O_{12}$ : počeo se koristiti kao eksploziv 1894. godine, kada je bio predložen kao dodatak bezdimnim barutima kako bi se povećala zapaljivost i lakoća izgaranja. Pentrit (slika 11.) nije korišten na praktičnoj osnovi sve do Prvog svjetskog rata. Vrlo je stabilan, netopiv u vodi, slabo topiv u alkoholu, eteru i benzenu, 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. Nije higroskopan i ne topi se u vodi. Na metale ne djeluje i kemijski je stabilan ukoliko je čist.



Slika 11. Pentrit [4]

Oktogen (slika 12.) – empirijska formula  $C_4H_8N_8O_8$ : bijeli kristalni prah, netopiv u vodi, a topljivost u drugim otapalima mu je slična heksagenu. Nastao je kao nusproizvod u proizvodnji heksagena. Najčešće se koristi za izradu plastičnih eksploziva. [6]



Slika 12. Oktogen [4]

Skupini brizantnih eksploziva pripadaju i gospodarski eksplozivi koji su prema važećem Zakonu o eksplozivnim tvarima te proizvodnji i prometu oružjem (NN 141/20) eksplozivne tvari koje se rabe za lomljenje, rastresanje i usitnjavanje mineralnih sirovina i drugih materijala energijom oslobođenom pri detonaciji i eksplozivnih punjenja.

Gospodarski eksplozivi dijele se, prema konzistenciji ili agregatnom stanju, na praškaste, granulirane, poluplastične, plastične i vodoplastične-kašaste brizantne eksplozive u koje spadaju i emulzijski eksplozivi.



Prašasti brizantni eksplozivi rabe se u svim oblicima minerskih radova pri građenju, a osobito pri miniranju manjih količina iskopa temelja, rovova i sličnih prostora u stijeni te u kombinaciji s plastičnim eksplozivima za potrebe masovnih miniranja stijene. One su pretežito mehaničke smjese eksploziva na osnovi amonij-nitrata s trotilom i nitroglicerinom koje nisu otporne na vlagu.

AN-FO eksplozivi su smjesa amonij-nitrata i nafte (dizelsko ulje) u odnosu oko 95% i 5%. mogu se pripremiti na licu mjesta. Vrlo su sigurni (smatraju se jednim od najsigurnijih eksploziva), jednostavni i ekonomični, te se sve više primjenjuju kod svih oblika miniranja u građenju osobito kod masovnih površinskih iskopa u stijeni, primjerice pri iskopu velikih usjeka, zasjeka i predusjeka.

Vodootporni vodoplastični (tzv. „slurry“) eksplozivi i emulzijski eksplozivi izrađuju se na bazi amonij-nitrata i natrij-nitrata, koji su ustvari metalizirani vodoplastični eksplozivi, odnosno smjesa AN-FO eksploziva s vodom i dodacima metalnog, tj. aluminijskog praha. Otporni su na vodu, a pretežito se pripremaju na licu mjesta prilikom strojnog punjenja bušotina. Rabe se za masovna miniranja srednje tvrdih do najčvršćih stijena.

Poluplastični i plastični brizantni eksplozivi rabe se također u svim oblicima i vrstama građevinskih minerskih radova u čvrstim žilavim stijenama za potrebe masovnih iskopa pri građenju cestovnih prometnica, hidroelektrana itd. Oni su pretežito želatinozne smjese nitroglicerina i nitroglikola (zajedno čine oko 80% smjese) s nitrocelulozom te ostalim organskim i neorganskim tvarima. Svi su otporni na visoke i niske vanjske temperature te na utjecaj vode i vlage. Osjetljivi su zbog nitroglicerina na udar. [7]

### 2.2.3. Baruti

Baruti su eksplozivne tvari za koje je karakteristično izgaranje kao osnovni oblik kemijske pretvorbe u plinovite produkte, koji se koriste za izbacivanje projektila iz cijevi oružja i za pogon raketnih projektila. Prvi barut je crni barut (slika 13.) kojemu je sastav 41,2 salitre (kalijeva nitrata), 29,4% drvenog ugljena i 29,4% sumpora.

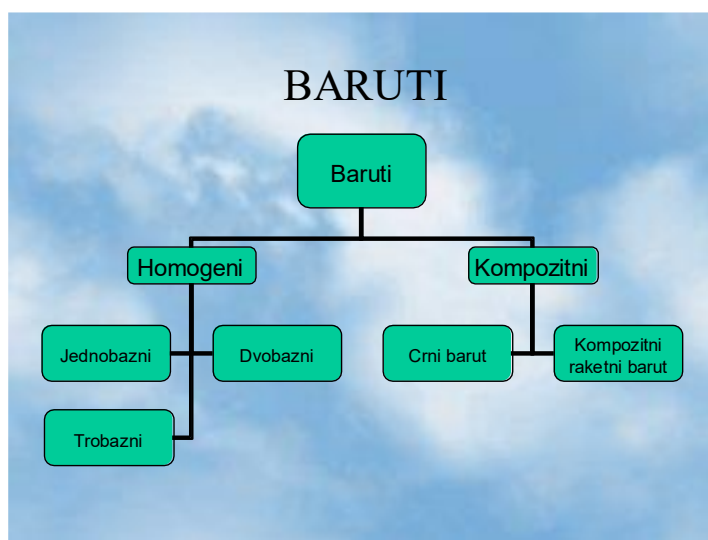


Slika 13. Crni barut [4]

Primjena crnog barut kao naboja za izbacivanje projektila iz cijevi oružja počinje potkraj 14. stoljeća te sve do polovice 19. stoljeća crni barut ostaje jedini poznati barut. Godine 1832. otkriven je koloidin, koji nastaje potapanjem škroba ili drvene strugotine u koncentriranu dušičnu kiselinu te nastaje bijela tvar topljiva u mješavini etiletera i etanola, koja se lako pali i izgara. Nakon toga se pojavila ideja o korištenju nitroceluloze kao zamjene za crni barut. Tada počinje i razvoj koloidnih nitroceluloznih baruta koje svrstavamo u jednobazne barute. Godine 1888. u laboratoriju Alfreda Nobela pronađen je drugi tip koloidnih malodimnih baruta. Kasnije su se razvili razni topnički i raketni dvobazni baruti. Dodavanjem nitrogvanidina razvili su se trobazni baruti, dok su nakon Drugog svjetskog rata počeli koristiti kompozitni baruti koji su mješavina anorganskih soli bogatih kisikom i asfalta, prirodne gume ili sintetičkih polimernih materijala koji su istovremeno vezivo i gorivo. [6]

Sve barute , neovisno od toga da li se koriste za pokretanje projektila u cijevi oružja ili za pogon raketa, možemo podijeliti na dvije osnovne vrste i nekoliko podvrsta (slika 14.) :

- homogeni baruti (baruti koloidnog tipa),
- kompozitni baruti (baruti-mehaničke smjese).



Slika 14. Podjela baruta [4]

Homogeni baruti – nastaju otapanjem molekula nitroceluloze djelovanjem organskog otapala. Osnovu svih homogenih baruta čini nitroceluloza, ali se prema sadržaju drugih aktivnih komponenata u barutnoj masi sa sadržajem više od 10% razlikuje sljedeće vrste homogenih baruta: jednobazni, dvobazni, trobazni (višebazni) baruti. Homogeni baruti se još zovu i malodimni (bezdinmi) ili piroksilni baruti.

Jednobazni ili nitrocelulozni baruti – izrađeni su isključivo od nitroceluloze (93%-98%) ili mješavine nisko nitratne celuloze (N=12-12,65%) i visoko nitratne celuloze (N=13-13,55%). Kao rastvarač koriste se etil-eter ili etanol, koji omogućavaju povezivanje snopova vlakana nitroceluloze, a zatim, tokom procesa isparavaju. Kao stabilizator koji povećava kemijsku stabilnost baruta, koristi se difenilamin. Nitrocelulozni baruti zapaljeni na slobodnom prostoru sagorijevaju živahnim, žučkastim plamenom. Zapaljeni u većim količinama detoniraju zbog naglog povećanja pritiska. Sa detonatorskom kapsulom neće primiti režim detonacije, dok sa detonatorom (50 g

pikrinske kiseline) detonira sa brzinom oko 6000 m/s. Dosta su osjetljivi na udar, po nekim podacima mogu detonirati pri udaru puščanog zrna brzinom 1000 m/s. Rok trajanja, tj. upotrebe baruta bez rizika je i poslije 30 godina. Imaju apsolutnu prednost u upotrebi kod streljačkog i artiljerijskog streljiva malog kalibra (do 57 mm). Za srednje i veće kalibre, zbog većih dimenzija barutnih zrnaca, znatno je sporija proizvodnja zbog težeg uklanjanja rastvarača (proces proizvodnje teče i nekoliko dana).

Dvobazni ili nitroglicerinski baruti sadrže dvije energetske komponente od kojih je jedna uvijek nitroceluloza, a druga tekući eksploziv – nitroglicerin (nitroglicerinski barut) ili, rjeđe, dinitrodiglikol (diglikolni baruti). Nitroglicerin ili dinitrodiglikol služe istovremeno kao rastvarači (želatinizatori). Pored ove dvije komponente dvobazni baruti sadrže, u manjem postotku, razne aditive (stabilizatore, plastifikatore). Visok sadržaj dušika u nitrocelulozi i visok postotak nitroglicerina teže ka povećanju energije i brzine sagorijevanja baruta. Postotni sadržaj nitroglicerina određuje kaloričnost baruta, a veći postotak nitroceluloze osigurava veću mehaničku čvrstoću. U odnosu na jednobazne barute, dvobazni su snažniji, stabilniji i jeftiniji oko 20%. Osjetljiviji su na udar od brizantnih eksploziva (20-30/2 cm/kg). Osnovni nedostatak im je što pri sagorijevanju razvijaju visoku temperaturu što se nepovoljno odražava na vijek trajanja cijevi, jer je povećano habanje cijevi. Odatle, osnovna primjena ovih baruta je kod municije oruđa sa glatkom cijevi, kratkom cijevi (haubice), kao osnovno i dopunsko punjenje kod mina minobacača i za pogon raketa. U literaturi se mogu sresti različite podjele dvobaznih baruta: prema sastavu – postotnom učešću energetskih komponenti, prema namjeni, energetskom potencijalu, načinu proizvodnje i slično. Sa praktičnog stanovišta najprikladnija je sljedeća podjela:

- baruti proizvedeni postupkom valjanja (balistiti i korditi) sa upotrebom ili bez upotrebe rastvarača,
- baruti proizvedeni postupkom izvlačenja na hidrauličkim prešama (raketni i topovski baruti),
- baruti proizvedeni postupkom lijevanja (pogonski blokovi raketnih motora),
- sferični dvobazni baruti (namijenjeni za streljačko naoružanje). [6]

Balistiti su dvobazni baruti koji imaju sljedeći sastav: oko 57% nitroceluloze, 40 – 50% nitroglicerina i oko 3% aditiva. Spadaju u grupu manje stabilnih baruta zbog visokog sadržaja nitroglicerina i malog sadržaja aditiva (stabilizatora). Pri normalnim uvjetima skladištenja vijek trajanja ne prelazi 12 – 15 godina.

Korditi sadrže različit postotak nitroglicerina, obično oko 30%, ali umjesto kolodijevog pamuka (nisko nitrirane celuloze N=12,4%) upotrebljava se visoko nitrirana celuloza – praskavi pamuk, koji sadrži N=12,9 – 13,2% dušika. Za izradu barutne mase koristi se zajednički rastvarač – aceton. Teško odstranjivanje acetona iz smjese, čiji ostatak u smjesi loše utječe na balističke osobine baruta, razlog je manje upotrebe kordita.

Raketni dvobazni baruti izrađuju se u obliku blokova i to u postupkom izvlačenja i lijevanja. Pored osnovnih komponenti, nitroceluloze i nitroglicerina, sadrže i brojne aditive koji osiguravaju postizanje odgovarajućih zahtijevanih balističkih osobina (pogodnost za upotrebu na ekstremnim temperaturama, izdržljivost na djelovanje plinovitih produkata, pripale). U usporedbi sa balistitima imaju relativno niži sadržaj nitroglicerina, a sadržaj aditiva kreće se i do 15%. Primjenjuju se kao pogonska punjenja kod raketnih motora artiljerijskih aktivno-reaktivnih projektila, vođenih i nevođenih raketa (protuavionskih, oklopnih, zrak-zemlja). Promjeri barutnih blokova su ograničeni dimenzijama preša za izvlačenje, i, najčešće, lako i ekonomično izvlačenje je promjere do 250 mm. Blokovi većih dimenzija dobivaju se lijevanjem i takvi baruti se uglavnom koriste za laboraciju raketnih motora većih promjera. Međutim, teško se ispunjavaju zahtjevi da kod blokova većih dimenzija ne dođe do pojave šupljina i pukotina u punjenju, što bi dovelo do promjene režima rada motora, mijenjanja površine sagorijevanja, pa čak i do eksplozije motora. Iz tih razloga ne liju se veće debljine punjenja od 200 mm. To uvjetuje da se punjenje raketnog motora sastoji iz više barutnih blokova, posebno kod motora veće snage, tj. većih dimenzija. Ti nedostaci otklonjeni su kod kompozitnog raketnog goriva.

Topovski dvobazni baruti izrađuju se postupkom izvlačenja bez rastvarača, budući da je uklanjanje acetona iz baruta tipa kordit predstavljalo jako velike tehnološke probleme.

Razlikuju se dvije vrste:

- „hladni“ topovski dvobazni baruti ( $Q \leq 3400$  kJ/kg), koji su našli veliku primjenu kod streljiva za izlijebljene topovske cijevi,
- „topli“ topovski dvobazni baruti, koji se sa uspjehom primjenjuju kod ne rotirajućih projektila, a njihov toplinski potencijal iznosi i do 4960 kJ/kg.

Sferični baruti ili baruti proizvedeni postupkom „ball powdera“ našli su široku primjenu poslije Drugog svjetskog rata najprije u sportskoj, a zatim i u malokalibarskom streljivu, npr. puška kalibra 7,62 u naoružavanju NATO-a. U svom sastavu imaju oko 82% nitroceluloze, 12% nitroglicerina, 6% aditiva. U odnosu na nitrocelulozne i dvobazne nitroglicerinske barute ovi baruti imaju nekoliko izrazitih prednosti: veću kemijsku stabilnost, veću gravimetrijsku (litarsku) masu, energetski su jači te sa istom masom punjenja daju veće početne brzine projektilu, manje izazivaju eroziju cijevi.

Trobazni baruti (nitrogvandinski „bijeli barut“) imaju znatno nižu temperaturu sagorijevanja u odnosu na jednobazne i dvobazne barute, pa se zbog toga susreću i pod nazivom „hladni baruti“. U svom sastavu pored nitroceluloze i nitroglicerina sadrže i oko 20-25% nitrogvandina. Vrlo su stabilni i nehigroskopni. Primjenjuju se kod streljiva artiljerijskih oruđa velikog dometa i velike početne brzine. Barutnom punjenju metka nije potrebno dodavati sredstvo protiv bljeska, jer posjeduje to svojstvo da smanjuje bljesak i sagorijeva bez pojave dima. Obzirom da spadaju u grupu hladnih baruta, a sirovine za proizvodnju su pristupačne, smatra se da su to baruti koji će sve više biti zastupljeni kao pogonsko punjenje projektila.

Kompozitni baruti – su smjese nastale miješanjem kristala mineralnih spojeva bogatih kisikom i neke organske tvari koja je nositelj gorivih elemenata, a služi i kao vezivno sredstvo smjese. Najstarija smjesa baruta je crni barut, a u novije vrijeme sve se više upotrebljavaju kompozitni raketni baruti, koji se koriste kao raketna goriva za pogon raketa. [6]

Crni barut je smjesa kalijevog nitrata (salitre), sumpora i drvenog ugljena. Kalijev nitrat služi kao oksidans, drveni ugljen kao gorivi element, a sumpor kao vezivno sredstvo. U praksi se susreću nekoliko vrsta crnih baruta (vojni, lovački, rudarski, štapinski). Sastav komponenata u smjesi može varirati, i to od 64 – 80% kalijev nitrat, 2 – 25% drveni ugljen, 5 – 30% sumpor. Klasičan sastav je 75:15:10. Crni barut se dugo koristio isključivo kao pogonsko sredstvo u naoružanju i za miniranje u rudarstvu. Pronalaskom dinamita i ostalih brizantnih eksploziva, kao i pronalaskom homogenih baruta, upotreba crnog baruta se naglo smanjuje, a krajem 19. stoljeća prestaje se koristiti kao eksplozivno punjenje za projekte. Crni barut se danas uglavnom koristi za izradu sporogorećeg štapina, topovskih udara (petardi), pripala barutnog punjenja artiljerijskog metka, pripala čvrstog raketnog goriva izrađenog na bazi homogenih baruta, pirotehničkih smjesa, izbačenih punjenja kod osvijetljavajućih, dimnih i zapaljivih projektila i signalnih uložaka kod signalnog streljiva i obilježavajućih punjenja kod vježbovnih projektila. Crni barut sagorijeva jako burno, brzinom od 400 m/s u zatvorenom i 3 – 5 m/s na otvorenom prostoru. Temperatura sagorijevanja kreće se u granicama 2380 – 2800 K, toplina sagorijevanja 2660 – 2760 kJ/kg, a specifična količina plina iznosi 280 l/kg. Pri sagorijevanju ima dosta čvrstih ostataka, pepela, (oko 30%) i proizvodi velike količine dima, zbog čega se i naziva dimni barut. Jako je osjetljiv na udar, osjetljiviji je od brizantnih eksploziva. Udar puščanog zrna pri brzini 500 m/s izaziva detonaciju crnog baruta. Lako se pali iskrom, plamenom, zagrijavanjem, udarom i trenjem i sa takvim karakteristikama spada u veoma opasne eksplozivne tvari, na što se mora računati pri rukovanju sa njim. Vrlo je higroskopan, sa 4% vlage teško se pali, a sa 15% vlage postaje neosjetljiv i neupotrebljiv. U principu, crni barut se uništava potapanjem u tekuću vodu.

Rudarski crni barut zbog velike brzine sagorijevanja i pretežno potisnog učinka upotrebljava se kao eksploziv za miniranje tamo gdje se žele dobiti veliki ne raspuknuti blokovi stijena (u kamenolomima mramora i za dobivanje kamenih blokova u građevinarstvu i kiparske svrhe). Rudarski barut je u obliku zrnaca sjajne crne boje. Pri sagorijevanju ostaje sadržaj pepela oko 0,8%. Gustoća mu je 900 – 1000 g/l. Energija eksplozije je 3223 kJ/kg. Pakira se u polietilenskim vrećicama od 2,5 kg. Rok upotrebe je godinu dana, a ako je zaštićen od vlage i u suhom skladištu rok trajanja je praktički

neograničen. Za paljenje rudarskog crnog baruta upotrebljava se električni upaljač sa ili bez detonatora, sporogoreći štapin sa ili bez detonatorske kapsule i detonirajući štapin.

Kompozitni raketni barut – zadnjih godina intenzivno se razvijaju, posebno kao pogonsko gorivo raketnih projektila. Kompozitni raketni baruti su smjese oksidansa na bazi perklorata i nitrata (amonija, kalija, natrija) kao nosioca aktivnog oksidansa i goriva – neka organska tvar ili plastična masa (poliester, polivinilklorid, polisulfid). Maksimalne performanse postižu se ako je sadržaj goriva u smjesi oko 5%. Međutim, pošto gorivo služi i kao vezivno sredstvo, osigurava koheziju i druge fizičke osobine, sadržaj goriva u smjesi je 20 – 30%. Veći postotak i sitniji kristali oksidansa povećavaju energetske sposobnosti kompozitnog baruta. Osim goriva i oksidansa kompozitni baruti sadrže i čitav niz aditiva, kojima se olakšava proizvodnja, poboljšavaju mehaničke osobine barutnog bloka ili utječe na balističke performanse. Dodavanjem 15 – 25% metala u prahu (aluminija, magnezija, litija, berilija) povećava se kalorična vrijednost i temperatura sagorijevanja, što direktno utječe na povećanje specifičnog impulsa (potiska) i na stabilnost procesa sagorijevanja kompozitnog baruta. Pojavom kompozitnih baruta omogućena je izrada barutnih blokova velikih dimenzija (promjera preko 2 m, mase 15 – 20 t). Osim toga, moguće je postići veoma različite brzine sagorijevanja. Veće brzine sagorijevanja susreću se kod kompozitnih baruta namijenjenih za punjenje raketnih motora I. stupnja (bustera) kod više stupanjskih raketa, koji omogućuju lansiranje i postizanje određene brzine leta rakete. Kompozitni baruti su energetski jači od homogenih baruta, a s obzirom i na druge prednosti, imaju sve veću primjenu kod više stupanjskih raketa većeg dometa. [6]



### 3. PIROTEHNIČKE SMJESE

Pirotehničke smjese su mehanička mješavina dvaju ili više komponenata koja pri sagorijevanju daju svjetlosne, toplinske, dimne ili zvučne efekte željenog intenziteta. Ove smjese gore neovisno o kisiku iz atmosfere. Tijekom izgaranja dolazi do izražaja intenzivna pojava raznobojnih plamenova i dimova te raznih mehaničkih i toplinskih učinaka. Osnovne komponente svake pirotehničke smjese su oksidans i gorivo, a svaka druga komponenta u smjesi ima određenu funkciju (cementatori, flegmatizatori, ubrzivači, usporivači, plamenogasitelji, pojačivači intenziteta boje plamena, stabilizatori i dr.). [6]

#### 3.1. Oksidansi

Oksidansi su uglavnom kisikom bogati ioni koji se razlažu na umjerenim do visokim temperaturama, pritom oslobađaju kisik. Mokri oksidansi bi trebali biti neutralni, te stabilni pri temperaturama do 100°C, a opet se pravilno razlagati pri visokim temperaturama. Materijali na koje se lako veže voda, ne bi trebali biti u upotrebi, budući da voda donosi probleme u pirotehnici. Oksidansi bi trebali biti slabo higroskopni.

Kalijev perklorat ( $\text{KClO}_4$ ) je zamijenio kalijev klorat, budući da je znatno sigurniji i stabilniji, no svejedno se mora pažljivo upotrebljavati. Proizvodi se anodnom oksidacijom kalijevog klorata. Kalijev perklorat je kristal (slika 15.), bezbojan do bijele boje, nehigroskopan, te se tali na približno 610°C. Koristi se za dobivanje šarenih plamena, pri stvaranju zvučnih efekata te pri stvaranju svjetlosti.



Slika 15. Kalijev perklorat u kristalnom obliku [9]

Kalijev klorat ( $\text{KClO}_3$ ) je jedna od važnijih kemikalija korištenih u vatrometima. To je prozirni kristalni prah (slika 16.), niske higroskopnosti, a koristi se kao oksidans, izvor kisika i dezinficijens. Temperatura tališta mu je oko  $360^\circ\text{C}$ . Zagrijavanjem dolazi do raspadanja:  $2\text{KClO}_{3(s)} \longrightarrow 3\text{O}_{2(g)} + 2\text{KCl}_{(s)}$ . Kalijev klorat je veoma osjetljiv što predstavlja problem jer se ne smije miješati sa sumporom, amonijevim solima i fosforom. Češće se koristi u komercijalne svrhe jer je znatno jeftiniji od perklorata.

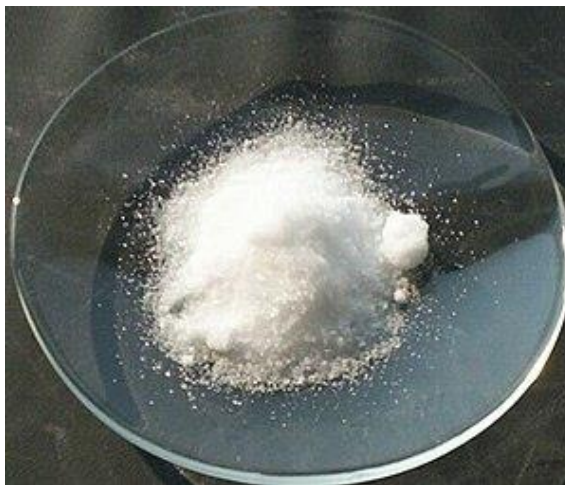


Slika 16. Kalijev klorat [10]

Amonijev perklorat ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ) je jaki oksidans. Našao je primjenu u modernim raketnim propelantima i u industriji vatrometa. Propelant je pirotehnička smjesa koja se koristi za postizanje potiska kod raketa. Ova komponenta je izrazito higroskopna, te se pažnja usmjerava na održavanje smjese suhom. Također se ne bi smio koristiti u kombinaciji s tvarima koje sadrže klorat zbog mogućeg formiranja nestabilne komponente amonijevog klorata. Također bi se trebalo izbjegavati miješanje s magnezijevim slitinama. Koristi se za dobivanje jarkih crvenih i plavih boja.

Stroncijev nitrat [ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ] je bijel i topljiv kristal, tališta približno oko  $570^\circ\text{C}$ . donekle je higroskopan, te se zbog toga mora izbjegavati vlaga. Dobiva se otapanjem stroncijevog karbonata u dušičnoj kiselini. Rijetko se koristi sam kao oksidans, već se koristi u kombinaciji s kalijevim perkloratom, magnezijem i PVC-om. Najbolji je od svih stroncijevih soli, jer daje jako dobru obojenost plamena.

Kalijev nitrat ( $\text{KNO}_3$ ) je bijeli nehigroskopian kristalni prah (slika 17.). Jak je oksidans i lako se otapa u vodi. Temperatura tališta mu je oko  $337^\circ\text{C}$ . Nakon zagrijavanja na temperaturu iznad  $560^\circ\text{C}$ , mijenja se u kalijev nitrat, te proizvodi kisik:  $2\text{KNO}_3 \rightarrow 2\text{KNO}_2 + \text{O}_2$ . Eksplozivno reagira s drugim tvarima, ali sam nije eksplozivan. Pri korištenju u pirotehnici kalijev nitrat mora biti čist jer mu onečišćenja utječu na higroskopsnost ili može promijeniti boju plamena. Kalijev nitrat je učinkovit oksidans, plamen boji blijedo ljubičasto, a u dodiru s prirodnim oksidansima crveno.



Slika 17. Kalijev nitrat [11]

Barijev klorat [ $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ ] je fini bijeli prah, čistoće 99,5 % i nastaje elektrolizom barijevog klorida. Temperatura tališta je oko  $414^\circ\text{C}$ . Jako je osjetljiva tvar, te se njome treba oprezno rukovati. Preporučljivo je korištenje barijevog klorata s nekim drugim tvarima koji bi mogle ublažiti osjetljivost. Neizbježan je kod vatrometa, jer daje prekrasnu jarko zelenu boju.

Barijev nitrat [ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ] je nehigroskopian, fini bijeli prah, te se dobiva otapanjem karbonata u dušičnoj kiselini. Talište mu je temperature oko  $592^\circ\text{C}$ . Koristi se kao oksidans pri dobivanju zelenog plamena i zlatnih iskri u kombinaciji s kalijevim perkloratom. Barijev nitrat se najviše koristi u kombinaciji s aluminijevim prahom za dobivanje srebrnih efekata (slika 18.).



Slika 18. Reakcija barijevog nitrata u pirotehničkoj smjesi [12]

Heksakloroetan ( $C_2Cl_6$ ) je bijeli kristalni prah, temperature tališta oko  $189^\circ C$ . upotrebljava se za dobivanje dima, te se u tu svrhu miješa s aluminijem, cinkovim oksidom i drugim tvarima. Zbog velike hlapljivosti na sobnoj temperaturi, mora se držati u zapečaćenim limenkama. [8]

### 3.2. Goriva

Pirotehnička sredstva sadrže goriva, koja reagiraju s oslobođenim kisikom te nastaje toplina. Oksidanse i gorivo treba pažljivo kombinirati da se postigne stabilnost smjese. Moraju se uzeti u obzir karakteristike i oksidansa i goriva, a najviše pažnje posvetiti temperaturi izgaranja.

Aluminij (Al) je metal koji se najviše koristi u pirotehnici. Aluminij je mekana, krta i žilava kovina male gustoće i jake rastezljivosti. Jako je reaktivan, ali je zaštićen tankim slojem oksida koji brzo nastaje u zraku i štiti unutrašnjost metala od daljnje oksidacije. U pirotehnici se koristi u obliku praha i služi za povećanje temperature i oduzimanje kisika toj mješavini. Talište mu je na sobnoj temperaturi od  $660^\circ C$ . Smjese s aluminijem su prilično stabilne, no vlaga se mora izbjegavati. Aluminij se ne smije koristiti u kombinaciji s natrijevim nitratom, zbog velike higroskopsnosti natrijevog nitrata, osim ako se aluminij ne obloži voskom ili ako se zaštiti na neki drugi način od vlage. Koristi se za postizanje blještavih elemenata, poput plamena i iskri, srebrne i bijele boje.

Magnezij (Mg) je veoma reaktivan metal i izvrsno je gorivo u dobrim uvjetima. Talište mu je na 649°C. Jako reagira u kombinaciji s kiselinama. Amonijeve soli se ne bi trebale upotrebljavati u kombinaciji s magnezijem, osim ako je metal premazan parafinom ili sličnim materijalom.

Magnalij je kombinacija magnezija i aluminijsa i sve je popularniji u pirotehnici. Talište mu je 460°C. Koristi se kod vatrometa kako bi se dobile bijele iskrice i pucketajući efekti.

Željezo (Fe) se koristi za stvaranje atraktivnih zlatnih iskrica. Iglasti oblik fragmenata daje najbolje efekte. Željezna punjenja su prilično nestabilna za skladištenje. Ne bi smjeli biti izloženi vlazi iako su punjenja obložena parafinom radi zaštite.

Titan (Ti) je dosta stabilan u prisutnosti vlage i mnogih kemikalija te proizvodi jarke srebrno bijele iskre i svjetlosne efekte uz pomoć oksidansa. Zbog svoje odlične stabilnosti mogao bi zamijeniti aluminij, magnezij i željezo, no zbog svoje cijene, titan nije našao široku primjenu.

Sumpor (S) se najduže koristi u pirotehnici. Sumpor (slika 19.) je krutina u finom prahu, bez mirisa i svijetložute boje. Ne topi se u vodi, a talište mu je izrazito nisko, 119°C. Kao gorivo izrazito je slab izvor topline, no zato se koristi kao inicijator, odnosno svojim paljenjem pokreće reakcije drugih, jačih goriva. Prisutnost sumpora čak i u malim postocima, može dramatično utjecati na paljenje i na temperaturu paljenja visoko energetskih smjesa.



Slika 19. Sumpor [13]

Silicij (Si) je sigurna i relativno jeftina tvar koja se koristi za usporavanje reakcije. Ima izrazito visoko talište temperature od  $1420^{\circ}\text{C}$ . Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) pomaže pri sprječavanju nastanka elektrostatičkog naboja.

Antimonov trisulfid ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), (slika 20.) je crni prah korišten u industriji vatrometa. Talište mu je temperature oko  $548^{\circ}\text{C}$ . Kao gorivo, njegova svojstva su slična kao i kod metalnih prahova, ali zapaljenje je puno lakše, te se zbog toga dodaje drugim gorivima kako bi pomogao pri paljenju smjese. Proizvodi bijeli plamen i zamjenjuje sumpor u kombinaciji s kalijevim perkloratom i aluminijem.



Slika 20. Antimonov trisulfid [14]

Ugljen je organsko gorivo, sa sadržajem ugljika od 30% do 98%, pomiješanog s malim količinama sumpornih i dušikovih spojeva. Priprema se grijanjem drva bez prisustva zraka. Hlapljiv produkt se destilira, a ostatak je ugljen. Za potrebe pirotehnike daje se prednost upotrebi drva vrbe i johe. Veće čestice ugljena u pirotehničkim smjesama će proizvesti narančaste iskre.

Heksamin ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ ) je heterociklički spoj, bijeli kristalni prah koji je dobro topiv u vodi. Dobiva se reakcijom amonijaka s formaldehidom. Sublimira na temperaturi  $263^{\circ}\text{C}$ . Kristal gori žutom bojom i koristi se za male vatromete u kombinaciji s magnezijem i litijevim solima.

Natrijev salicilat [ $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$ ] je bijeli, blistav, ljuskasti kristal, topiv u vodi. Koristi se u kombinaciji s kalijevim perkloratom za dobivanje efekta zviždanja. [8]

### 3.3. Aditivi

Aditivi su tvari koje dodajemo u smjesu. To mogu biti tvari koje se dodaju kao vezivne tvari koje služe kako bi se komponente povezale i stvorile homogenu smjesu. Bez veziva materijali bi se razdvojili za vrijeme proizvodnje i skladištenja. Vezivni materijal bi trebao biti neutralan i nehigroskopan, kako bi se izbjegli problemi s vodom. U smjese se dodaju tvari koje tvore zaštitne premaze. Također dodajemo tvari koje stvaraju određene efekte, poput iskri, plamena, boja, zviždanja, buke dima i mnogi drugi efekti.

Škrob ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> je sitni, bijeli ili žućkasto bijeli prah koji se sastoji od sitnih zrnaca. Iako je gotovo netopljiv u hladnoj vodi, škrob se rastapa u toploj vodi i tvori otopinu koja se može koristiti kao vezivo. Kukuruzni škrob se nekada stavlja u smjese kako bi se skratila brzina gorenja.

Dextrin ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> je žućkasto zlatni glatki prah (slika 21.), dobiva se prženjem kukuruznog škroba na temperaturi od oko 120°C više od pola sata. Često se koristi kao vezivo u pirotehničkoj industriji. Dodaje se u malom postotku na količinu smjese, ne više od 5%, zbog blage higroskopnosti dextrina.



Slika 21. Dextrin [15]

Šelak je prirodna plastomerna smola, crvene boje, koja nastaje ubodom ženke štitne uši u granu različita indijskog drveća. Iz ozljede curi balzam, koji kada se osuši, struže sa grana. Na tržištu se javlja u obliku tankih pločica i listića žute do tamno narančaste boje (slika 22.). U pirotehnici se koristi u obliku praha, tališta oko 75°C. Koristi se kao gorivo, uglavnom za dobivanje crvene boje.



Slika 22. Listići Šelaka [16]

Barijev karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) se koristi za smanjenje kiselosti neke smjese ili kako bi usporio brzinu sastava.

Glina se koristi u industriji vatrometa za zatvaranje krajeva raketa. Bilo koja glina je prikladna, no najčešće se koristi bijela glina. Prije korištenja glina mora biti temeljito osušena i prosijana kako bi se uklonilo kamenje. Glina se utiskuje u cijev i tvori veoma čvrstu masu koja se ne raspada lako.

Naftalen ( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ ) je kondenzirani aromatski ugljikovodik. Dobiva se iz katrana, kamenog ugljena ili rafinerijskih proizvoda. Talište mu je na 81°C. Gori svijetlim plamenom, pri čemu nastaje velika količina čađe i crnog dima, te se u pirotehnici upravo koristi za dobivanje crnog dima.

Katran se nekada koristi u formi praha za proizvodnju dima. Također se koristi kao gorivo za dobivanje zelene i crvene boje.



Laneno ulje se mnogo godina kuhalo te koristilo za oblaganje magnezijevog praha, kako bi se zaštitio od korozije. U posljednje vrijeme laneno ulje se zamijenilo poliesterima ili se uopće ne koristi kao premaz.

PVC je bijeli prah koji se koristi u kombinaciji s magnezijem. Korištenjem dobivamo žutu, zelenu i crvenu boju.

Antracen ( $C_{14}H_{10}$ ) u čistoj formi je fluorescentno plavi kristal kojemu je talište na  $218^{\circ}C$ . Netopiv je u vodi, a dobiva se iz ugljene smole. Uglavnom se koristi u kombinaciji s kalijevim perkloratom za proizvodnju crnog dima.

Antimon (Sb) je tamno sivi prah tališta  $630^{\circ}C$ . Uglavnom se koristi za dobivanje bijelog plamena u kombinaciji s kalijevim nitratom i sumporom. Također je poznat po stvaranju efekta iskrica, miješanjem baruta, antimona i aluminija.

Borna kiselina ( $H_3BP_3$ ) je veoma slaba kiselina koja se ponekad koristi u pirotehničkim smjesama kako bi se spriječilo raspadanje smjesa koje sadrže aluminij.

Bakar (Cu) je metal sjajne svijetle crvene do crvenkastosmeđe boje. Temperature tališta  $1083^{\circ}C$ . Bakrov prah se koristi za dobivanje plavih boja ili kao pojačivač zelene boje. Bakrov karbonat se kombinira s amonijevim perkloratom za dobivanje plave boje.

Stroncijev karbonat ( $SrCO_3$ ) je blijedo ružičast, fini prah (slika 23.). Koristi se u industriji vatrometa za dobivanje crvenog plamena i zvjezdica, ali se nekada primjenjuje kao retardant u nekim smjesama. [8]



Slika 23. Stroncijev karbonat [17]

U sljedećoj tablici (tablica 1.) prikazane su gotovo sve tvari koje se koriste u pirotehničkim smjesama bilo kao katalizator, gorivo, oksidans, bojilo, vezivo ili se dodaje radi postizanja efekta.

Tablica 1. Prikaz tvari koje se koriste za pirotehničke smjese i njihova namjena [8]

<b>Naziv</b>	<b>Kemijska formula</b>	<b>Namjena</b>
Alkohol	$C_2H_5OH$	Katalizator
Aluminij	Al	Gorivo
Amonijev perklorat	$NH_4ClO_4$	Oksidans
Antimon	Sb	Efekti
Antimonov(III)-sulfid	$Sb_2S_3$	Gorivo
Antracen	$C_{14}H_{10}$	Efekti
Arsenov disulfid	$As_2S_2$	Efekti
Arsen trisulfid	$As_2S_3$	Gorivo
Arsenov sulfid	AsS	Gorivo
Bakar	Cu	Bojilo
Bakrov arsenit	$HasCuO_3$	Bojilo
Bakrov oksid	CuO	Oksidans
Bakrov(II) acetoarsenit (Pariško zelena)	$(CuO)_3As_2O_2Cu(C_2H_3O_2)_2$	Bojilo
Bakrov(II) karbonat	$Cu_2(OH)_2CO_3$	Bojilo
Bakrov(II)-sulfat pentahidrat	$CuSO_4 \cdot xH_2O$	Bojilo
Barijev karbonat	$BaCO_3$	Bojilo
Barijev klorat	$Ba(ClO_3)_2$	Oksidans
Barijev nitrat	$Ba(NO_3)_2$	Bojilo, oksidans
Barijev peroksid	$BaO_2$	Oksidans
Barut	-	Gorivo
Bor	B	Gorivo
Borna kiselina	$H_3BO_3$	Katalizator
Cink	Zn	Gorivo
Cinkov oksid	ZNO	Katalizator

Cirkonij	Zr	Gorivo
Dekstrin	$(C_6H_{10}O_5)_n \times H_2O$	Vezivo, gorivo
Fosfor	P	Gorivo
Galna kiselina	$C_7H_6O_5 \times H_2O$	Efeki
Heksaklorobenzen	$C_6Cl_6$	Gorivo
Heksakloroetan	$C_2Cl_6$	Efeki, oksidans
Heksamin	$(CH_2)_6N_4$	Gorivo
Kalcijev karbonat	$CaCO_3$	Bojilo
Kalijev dikromat	$K_2Cr_2O_7$	Oksidans
Kalijev klorat	$KClO_3$	Efeki, oksidans
Kalijev nitrat	$KNO_3$	Oksidans
Kalijev perklorat	$KClO_4$	Oksidans
Kalijev permanganat	$KMnO_4$	Efeki, oksidans
Kalijev pikrat	$C_6H_2(NO_2)_3OK$	Efeki
Kriolit	$Na_3AlF_6$	Bojilo
Krom	Cr	Gorivo
Laktoza	$C_{12}H_{24}O_{12}$	Vezivo, gorivo
Magnalij	Mg Al	Gorivo
Magnetit	$Fe_3O_4$	Oksidans
Magnezij	Mg	Gorivo
Mangan	Mn	Gorivo
Manganov dioksid	$MnO_2$	Katalizator
Molibdenit	Mo	Gorivo
Naftalen	$C_{10}H_8$	Efeki
Natrijev bikarbonat	$Na_2HCO_3$	Bojilo
Natrijev karbonat	$Na_2CO_3$	Bojilo
Natrijev klorid	NaCl	Bojilo
Natrijev nitrat	$NaNO_3$	Bojilo, oksidans
Natrijev oksalat	$Na_2C_2O_4$	Bojilo
Nikal	Ni	Gorivo

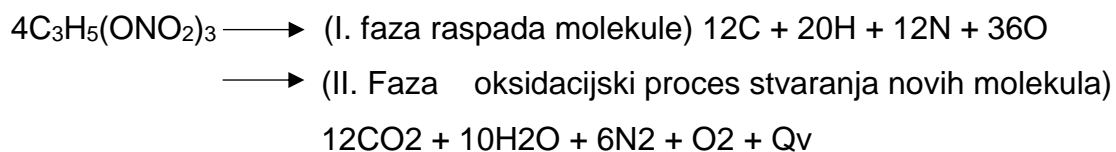
Nitroceluloza	$(C_6H_7O_2(NO_2)(OH)_3)_n$	Gorivo
Olovov(IV) oksid	$Pb_3O_4$	Oksidans
Poli(vinil-klorid)	$(CH_2-CHOH)_{12}$	Vezivo, bojilo
Realgar	$AsS$	Efeki
Resinox	$C_{48}H_{42}O_7$	Vezivo
Silicij	$Si$	Gorivo
Stearisnka kiselina	$C_{17}H_{35}COOH$	Katalizator
Stroncijev karbonat	$SrCO_3$	Bojilo
Stroncijev nitrat	$Sr(NO_3)_2$	Bojilo, oksidans
Stroncijev oksalat	$SrC_2O_4 \cdot H_2O$	Bojilo
Sumpor	$S$	Efeki, gorivo
Šelak	$C_{16}H_{24}O_5$	Vezivo
Škrob	$(C_6H_{10}O_5)_n$	Vezivo
Ugljen	$C$	Gorivo
Ultramarin	$Na_2S_2 \times 3NaAlSiO_4$	Bojilo
Vanadij	$V$	Gorivo
Volfram	$W$	Gorivo
Željezo	$Fe$	Gorivo

#### 4. SAGORIJEVANJE EKSPLOZIVNIH TVARI

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 razlikuju od izgaranja goriva, ali ipak 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.

Eksplozija je 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. Fizičke eksplozije su: eksplozija pregrijanog parnog kotla, udar meteora, prskanje boce pod tlakom, udar groma, vulkani, stvaranje novih zvijezda, dakle svi procesi koji trenutno prelaze iz jednog fizičkog stanja u drugo. Pod kemijskom eksplozijom podrazumijeva se samorasprostrirajući proces kemijskih reakcija kroz eksplozivnu tvar. Zahvaljujući velikoj brzini odvijanja tih reakcija, proces se praktički odvija u volumenu same eksplozivne tvari. Uslijed odvijanja egzotermnih reakcija oslobađa se toplina, koja zagrijava plinovite produkte koji su pod vrlo velikim tlakom. Energija koja se oslobađa prilikom eksplozije je posljedica raspada molekule eksplozivne tvari i pregrupiranja oslobođenih atoma u nove molekule odnosno u nova termodinamička stabilnija jedinjenja (primjer 1.). Višak energije oslobađa se kao detonacijska toplina ( $Q_v$ ). [4]

Primjer 1. Tijek kemijske eksplozije nitroglicerina:



Eksplzivni su kemijski spojevi ili smjese koje pod djelovanjem vanjskog impulsa (mehanički, toplinski ili njihova kombinacija) u obliku topline, udara, trenja i sl. mogu izazvati ekstremno brzu kemijsku reakciju (eksploziju), praćenu oslobađanjem velike količine topline i nastajanjem zagrijanih plinovitih produkata pod tlakom mnogo većim od tlaka okoline. Zbog te razlike u tlaku plinovi se brzo šire, pri čemu se dio energije pretvara u rad, što rezultira rušenjem i razaranjem. Učinci mogu biti jako veliki zbog trenutačnosti reakcije. Kod gotovo svih eksploziva, eksplozija je zapravo vrlo brza ili trenutačna oksidacija, a samo manji broj eksploziva (bakreni acetilid, azid) raspada se izravno na sastavne dijelove. Neke vrste eksploziva, kao acetilidi, ne razvijaju plinove nego tlak prilikom eksplozije nastaje od finih, čvrstih čestica ugljika. Eksplozivnost kemijskih spojeva uzrokuje nestabilnost atomske skupine u njihovim molekulama kao što su O-O u peoksidima i ozonoidima, O-Cl u kloratima i perkloratima, NO<sub>2</sub> u dušikovim spojevima i nitratima, N=N u azidima i diazo-spojevima, N=C u fulminatima, C=C u acetenima i acetilidima.

Kod eksploziva se događa kemijska eksplozija gdje se kemijsko razlaganje eksploziva događa ili:

- gorenjem (za razlaganje služi kisik iz eksploziva),
- deflagracijom (mala brzina razlaganja eksploziva od sloja do sloja prenošenjem topline),
- detonacijom (razlaganje eksploziva od sloja do sloja vrlo brzim udarnim valom).

Gotovo sve eksplozive obilježava brzina detonacije (brzina širenja detonacijskog vala kroz eksploziv, odnosno brzina (m/s) širenje eksplozije kroz eksploziv), a zatim brizantnost (razorna snaga koja se utvrđuje kao tlak detonacije), snaga (radna sposobnost eksploziva), prijenos detonacije (razmak prijenosa detonacije s patrone na patronu, u cm), kao i energija eksploziva, obujam plinova, specifični tlak, temperatura eksplozije, gustoća eksploziva, bilanca kisika, osjetljivost (na udar, trenje iniciranje, toplinsko djelovanje) te otpornost na vodu, mraz i sl.

Detonacijski raspad ili deflagracijsko izgaranje eksploziva rezultira oslobađanjem plinovitih produkata visoke temperature i tlaka. Utrošeni rad koji je nastao eksplozijom određene količine eksploziva ovisi o obujmu plinova koji su rezultat reakcije

deflagracije ili detonacije, temperaturi i toplini na kojoj se razvijaju plinovi. Formula (formula 1.) koja opisuje taj rad:

$$W = p \Delta V = f(T) \quad (1)$$

W je rad, p je tlak,  $\Delta V$  je povećanje obujma pri reakciji (za tekuće i krute detonacijske eksplozive praktički jednako obujmu razvijenih plinova), T je apsolutna temperatura. Temperatura T je to viša (a prema tome i rad W to veći), što je veća toplina razvijanja pri reakciji određene količine eksploziva i što je manje eksploziva i što je manja masa (i toplinski kapacitet) produkata te reakcije. Na toj se spoznaji temelji ocjenjivanje radne sposobnosti eksploziva. Toplina eksplozije je toplina koja se razvija kada jedinica mase eksploziva potpuno reagira prema jednadžbi izgaranja ili raspada, uz pretpostavku da se eksploziv prije reakcije i produkti poslije reakcije nalaze pod standardnim uvjetima. Izražava se u kilodžulima po kilogramu (kJ/kg). Kao mjera ukupne energije koja postaje raspoloživa za eksploziju, najvažnija je fizikalno-kemijska značajka svih eksploziva. Osim topline eksplozije, ostale važnije značajke eksploziva su: brzina eksplozije, gustoća i snaga eksploziva, osjetljivost na udar, količina kisika i dr. Mehanizam izgaranja progresivnih i brizantnih eksploziva je različit. U progresivnim eksplozivima sporo rasprostiranje zbiva se mehanizmom deflagracije, a gotovo trenutno rasprostiranje brizantnih eksploziva mehanizmom detonacije. [9]

#### **4.1. Deflagracija**

Deflagracija (slika 24.) je ubrzano izgaranje plamenom (pali eksplozivnu smjesu ispred sebe – podzvučno). Kada se eksploziv na jednom mjestu zapali inicijacijom, stvara se plamena fronta koja napreduje tako da se susjedni slojevi zagrijavaju plamenom i u njih difundiraju aktivne molekule koje daju poticaj reakciji. Brzina rasprostiranja reakcije (napredovanje plamene fronte) jednaka je po redu veličine brzini prijenosa topline vođenjem i prijenosa mase difuzijom, te kao i ona ovisi o vanjskim čimbenicima (tlak, temperatura i dr.).



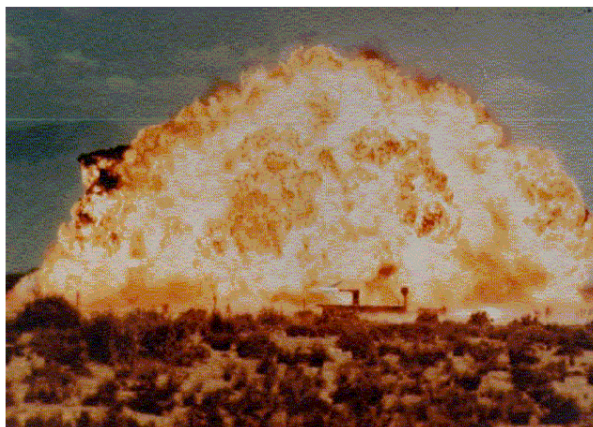
Slika 24. Deflagracija ili sagorijevanje [4]

#### 4.2. Detonacija

Detonacija (slika 25.) nastaje tako da s mjesta inicijacije prolazi udarni val tlaka kroz masu eksplozivne tvari. Čelo tog vala tvori valni brijeg koji putujući nadzvučnom brzinom poput jakog udara djeluje na sloj ispred vala i time u njemu povisuje temperaturu na više tisuća stupnjeva. U svezi s tim nastaje kemijska reakcija detonacijskog raspada sloja eksploziva, čijim se produktima i razvijenom reakcijskom toplinom tlak povisuje na ekstremne vrijednosti (reda veličine  $10^5$  bara) te time omogućuje dalje širenje brijega udarnog vala. Brzina detonacijskog vala (detonacijska brzina) za danu eksplozivnu tvar ne ovisi o vanjskim čimbenicima, ali ovisi o gustoći punjenja, jakosti inicijalnog punjenja eksplozivne tvari i kritičnom promjeru eksplozivnog punjenja. Ako je promjer punjenja veći od te vrijednosti, brzina detonacije ne ovisi o njemu (idealna detonacijska brzina). Razlika između deflagracije i detonacije nije uvjetovana kemizmom reakcije ili njezinim mehanizmom. Ista reakcija eksplozije može se zbivati bilo kao deflagracija bilo kao detonacija, a pod pogodnim uvjetima deflagracije može prijeći naglo u detonaciju, ali i obrnuto (pod nepovoljnim uvjetima). Toplinski učinci reakcije eksplozije (toplina eksplozije) znatno su manji, nego, na primjer, topline izgaranja industrijskih goriva (trotil 3980 kJ/kg, antracit 33600 kJ/kg), ali se reakcijom eksplozije energija razvija u tako kratkom vremenskom razmaku da je postignuta snaga što je veća brzina reakcije. Razmak vremena unutar kojeg se dogodi detonacija nije identičan s razmakom vremena unutar kojeg eksplozija izazvana



detonacijom uzrokuje razoran rad. Brzina detonacije ne može poslužiti kao osnova za izračun učinaka eksplozije kao cjelina, ali intenzitet deformacije i drobljenja postignutih eksplozijom u neposrednoj blizini eksploziva (brizantno djelovanje eksploziva) uglavnom ovisi o koncentraciji energije na čelu detonacijskog vala. [9]



Slika 25. Eksplozija [4]

## **5. TRENUTNO VAŽEĆI PROPISI PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA ZA VATROMET**

### **5.1. Zakon o eksplozivnim tvarima te proizvodnji i prometu oružja (NN 141/20)**

Ovim Zakonom propisuju se uvjeti za obavljanje djelatnosti proizvodnje, prometa, prijevoza, skladištenja, uporabe, uništavanja, istraživanja, ispitivanja i ocjenjivanja sukladnosti eksplozivnih tvari, prodaje na malo pirotehničkih sredstava, oružja i streljiva te uvjeti za obavljanje djelatnosti proizvodnje, popravljanja, skladištenja, prometa, nabave i prijevoza oružja te njegovih bitnih dijelova, vođenja civilnih strelišta, označavanja, ispitivanja i obilježavanja žigom vatrenog oružja te nadzor na primjenom ovog Zakona. Odredbe ovog Zakona primjenjuju se i na pravne i na fizičke osobe – obrtnike koji obavljaju gore navedene poslove za potrebe državnih tijela, kao i u slučaju kada pri obavljanju navedenih poslova koriste prostore državnih tijela, osim ako tim Zakonom nije drukčije uređeno. Ovaj Zakon ne primjenjuje se na ministarstvo nadležno za poslove obrane, ministarstvo unutarnjih poslova, druga državna tijela koja u obavljanju svoje djelatnosti koriste oružje te strane oružane snage kada je tako određeno međunarodnim ugovorom. Zakonom se osigurava Provedba uredbe Komisije (EU) 2015/2403 od 15. prosinca 2015. o utvrđivanju zajedničkih smjernica o normama i tehnikama onesposobljavanja kako bi se osiguralo da je onesposobljeno vatreno oružje postalo neopozivo neupotrebljivo. Prema ovome Zakonu pirotehnička sredstva su sva sredstva koja sadrže eksplozivne tvari ili eksplozivnu smjesu tvari namijenjenih za stvaranje topline, svjetla, zvuka, plina ili dima, ili kombinaciju takvih učinaka kroz samostalne egzotermne reakcije, a dijele se na kategorije F1, F2, F3, F4, T1, T2, P1 i P2.

Pirotehnička sredstva kategorije F1 su pirotehnička sredstva za vatromet koja predstavljaju vrlo nizak rizik i zanemarivu buku, a koja su namijenjena za upotrebu u ograničenim prostorima, uključujući i pirotehnička sredstva za vatromete namijenjena za uporabu unutar stambenih zgrada.

Pirotehnička sredstva kategorije F3 su pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju srednji rizik i koja su namijenjena za vanjsku upotrebu na velikim otvorenim prostorima, a čija razina buke nije štetna za ljudsko zdravlje.

Pirotehnička sredstva kategorije F4 su pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju visok rizik i koja smiju koristiti samo osobe sa stručnim znanjem (uobičajeno poznata kako sredstva za profesionalnu upotrebu), a čija razina buke nije štetna za ljudsko zdravlje.

Pirotehnička sredstva kategorije T1 su pirotehnička sredstva za uporabu na pozornicama (pirotehnička sredstva za primjenu u kazalištima) koja predstavljaju nizak rizik.

Pirotehnička sredstva kategorije T2 su pirotehnička sredstva za uporabu na pozornici (pirotehnička sredstva za primjenu u kazalištima) koja predstavljaju visok, a kojima mogu rukovati samo osobe sa stručnim znanjem.

Pirotehnička sredstva kategorije P1 su ostala pirotehnička sredstva koja predstavljaju nizak rizik, u koju ubrajamo i pirotehnička sredstva koja su sastavni dio opreme brodova za potrebe spašavanja na moru te pirotehnička sredstva koja se koriste u poljoprivredi, avionskom prometu i sličnim djelatnostima, a služi za rastjerivanje ptica.

Pirotehnička sredstva kategorije P2 su ostala pirotehnička sredstva koja predstavljaju visok rizik i kojima mogu rukovati samo osobe sa stručnim znanjem, a u koje se ubrajaju i rakete za obranu od tuče.

Nadalje, ovim Zakonom utvrđene su i mjere sigurnosti koje su pravne osobe, obrti i udruge dužni provoditi a time i voditi brigu o zaštiti života i zdravlja ljudi i njihove imovine. Način provedbe mjera sigurnosti pravne osobe, udruge i obrti utvrđuju svojim općim ili drugim aktom. Opći ili drugi akt mora sadržavati i plan postupanja u slučaju nesreća ili drugih izvanrednih događaja (eksplozije, požara, provala i sl.). Građevine u kojima se obavlja proizvodnja ili skladištenje eksplozivne tvari ili oružja ili naprava moraju biti pod stalnom tjelesnom ili tehničkom zaštitom, sukladno posebnom propisu kojim je utvrđeno područje tjelesne i tehničke zaštite. Ambalaža koja je namijenjena za pakiranje eksplozivnih tvari ne smije se koristiti u druge svrhe, osim u svrhe

pakiranja onih eksplozivnih tvari za koje je ambalaža namijenjena. Fizička osoba koja za pravne osobe, obrte ili udruge sudjeluje u poslovima na način da neposredno rukuje eksplozivnim tvarima ili oružjem mora biti zdravstveno sposobna, stručno osposobljena i osposobljena za rad na siguran način za obavljanje tih poslova. Eksplozivne tvari se smiju se staviti na tržište kada ministarstvo izda odobrenje za stavljanje u promet i upotrebu eksplozivnih tvari. Odobrenje se izdaje na zahtjev proizvođača ili dobavljača. Uz zahtjev za izdavanje odobrenja potrebno je priložiti i još dokument o sukladnosti s tehničkim propisom, upute za sigurnu uporabu i uništavanje eksplozivnih tvari i ambalaže, podatke o načinu označavanja eksplozivnih tvari i dokaz o uplati upravne pristojbe s naznakom broja zahtjeva. Eksplozivne tvari smiju se prevoziti, stavljeni u promet i upotrebljavati samo u izvornoj ambalaži, koja je ispitana i označena sukladno odredbama ovoga Zakona i na temelju njega donesenog propisa o označavanju eksplozivnih tvari. Eksplozivne tvari mogu se skladištiti samo u građevinama i prostorima namijenjenim za skladištenje eksplozivnih tvari, a oružje, naprave i dijelovi oružja mogu se skladištiti samo u skladištima namijenjenim za skladištenje oružja, u količinama koje ne smiju biti veće od utvrđenog maksimalnog kapaciteta skladišta. Građevine i prostori za proizvodnju ili skladištenje eksplozivnih tvari, oružja i bitnih dijelova oružja moraju biti izgrađeni i opremljeni tako da je osigurana zaštita života i zdravlja ljudi, njihove imovine i okoliša. Građevine za proizvodnju i skladištenje eksplozivnih tvari moraju biti izgrađena sukladno uvjetima koji su propisani ovim Zakonom i propisima o proizvodnji i skladištenju eksplozivnih tvari, oružja i bitnih dijelova oružja. Iznimno, eksplozivne tvari i oružje mogu se skladištiti i u priručnom skladištu, uz uvjet da ukupne količine pirotehničkih sredstava ne prelaze 60 kg neto mase pirotehničke smjese po m<sup>2</sup> prostora, a maksimalno 300 kg neto mase pirotehničke smjese ako se priručno skladište nalazi u sklopu poslovne građevine ili maksimalno 150 kg neto mase pirotehničke smjese ako se priručno skladište nalazi u sklopu poslovno-stambene građevine. Ako se u priručnom skladištu skladište ostale eksplozivne tvari, maksimalna količina ne smije prelaziti 12 kg ekvivalentno masi TNT-a. Priručno skladište služi isključivo za potrebe djelatnosti koja se obavlja u prostoru u sklopu kojega je izgrađeno, a može ga koristiti samo jedna pravna osoba, obrtnik ili udruga.

Promet eksplozivnih tvari može obavljati pravna osoba ili obrt kada dobije odobrenje Ministarstva. Pravne osobe ili obrti koji imaju odobrenje smiju prodavati ili ustupati eksplozivne tvari samo pravnim osobama i obrtima koje imaju odobrenje za uporabu i/ili promet i/ili proizvodnju eksplozivnih tvari, proizvodnju i/ili popravak i/ili prepravak ili ispitivanje oružja ili odobrenje za prodaju na malo pirotehničkih sredstava ili oružja i/ili streljiva, osim pirotehničkih sredstava kategorije F1 i slijepog streljiva za tehničku namjenu, te državnim tijelima koja u okviru svojih djelatnosti koriste eksplozivne tvari.

Prijevoz eksplozivnih tvari obavlja se prema izuzećima propisanim Europskim sporazumom o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari, takozvani ADR, s njegovim sastavnim dijelovima – priložima A i B i aktom o notifikaciji, Europskim sporazumom o međunarodnom prijevozu opasnih tvari unutarnjim plovnim putovima, takozvani ADN, kojeg je Republika Hrvatska prihvatila 25. svibnja 2000. i Konvencijom o međunarodnom željezničkom prijevozu (COTIF) od 9. svibnja 1980. u verziji Protokola o izmjenama Konvencije 3. lipnja 1999. s pripadajućim dodacima (NN – Međunarodni ugovori, 12/00.) – Anex dodatku C (Pravilnik o međunarodnom prijevozu opasnih tvari željeznicom – RID), ali je potrebno o točnom vremenu početka i predviđenom vremenu završetka prijevoza eksplozivnih tvari, najmanje 12 sati prije početka prijevoza, obavijestiti ministarstvo prema mjestu početka prijevoza. Eksplozivne tvari dozvoljeno je prevoziti samo u izvornoj ambalaži koja je ispitana i označena sukladno propisu kojim je uređen prijevoz opasnih tvari.

Javni vatrometi mogu biti profesionalni vatrometi i vatrometi za scenske efekte. Javne vatromete mogu izvoditi samo pravne osobe i obrti koji od Ministarstva dobiju odobrenje za izvođenje javnih vatromete. Poslove izvođenja vatrometa za potrebe pravne osobe ili obrta može obavljati građanin koji od Ministarstva dobije rješenje o dozvoli za izvođenje javnih vatrometa. [19]

## **5.2. Pravilnik o sigurnosnim zahtjevima za pirotehnička sredstva te uvjetima za njihovu podjelu**

Ovim Pravilnikom propisuju se sigurnosni zahtjevi koje moraju ispuniti pirotehnička sredstva glede mase, kemijskog sastava, vrste materijala, jačine zvuka, dometa, vremena aktiviranja, učinkovitosti i drugih značajki te uvjeti za njihovu podjelu. Ovaj

Pravilnik se ne odnosi na nekomercijalna pirotehnička sredstva, u skladnosti sa zakonodavnom regulativom, namijenjena za upotrebu i potrebe vojske, policije i vatrogasne službe. Pirotehnička sredstva moraju zadovoljavati temeljne i posebne sigurnosne zahtjeve. Proizvođač pirotehničkih sredstava mora jamčiti usklađenost pirotehničkih sredstava s odredbama ovog Pravilnika. Ukoliko pirotehničko sredstvo nije proizvedeno u Republici Hrvatskoj, fizička ili pravna osoba koja uvozi pirotehničko sredstvo u Republiku Hrvatsku mora jamčiti da je proizvođač ispunio svoje obaveze sukladno odredbama ovog pravilnika ili mora preuzeti sve obaveze proizvođača.

Svako pirotehničko sredstvo mora:

- postići učinkovitost koju je proizvođač naveo za pojedinačno pirotehničko sredstvo kako bi se zajamčila najveća sigurnost i pouzdanost,
- biti oblikovano i proizvedeno tako da se poslije uporabe ostaci mogu sigurno odložiti prikladnim postupkom s najmanjim utjecajem na okoliš,
- ispravno djelovati pri namjenskoj uporabi.

Podaci i svojstva pirotehničkih sredstava koji se moraju ispitati ili razmotriti:

- svojstvo oblikovanja, izrade i karakteristike, uključujući detaljni kemijski sastav (masa i postotak korištenih tvari) i dimenzije,
- fizička i kemijska stabilnost pirotehničkog sredstva u svim normalnim, predvidivim okolnim uvjetima,
- osjetljivost na normalno, predvidivo rukovanje i prijevoz,
- usklađenost svih komponenti u pogledu njihove kemijske stabilnosti ,
- otpornost pirotehničkog sredstva na vlagu u slučaju kada je namijenjeno za uporabu u vlažnim ili mokrim uvjetima i kada vlaga može nepovoljno utjecati na njegovu sigurnost i pouzdanost,
- otpornost na niske i visoke temperature, u slučaju kada je pirotehničko sredstvo namijenjeno za držanje ili čuvanje pri takvim temperaturama i kada hlađenje ili zagrijavanje komponente ili pirotehničkog sredstva kao cjeline može nepovoljno utjecati na njegovu sigurnost i pouzdanost,
- sigurnosna svojstva koja sprječavaju nepravovremeno ili nehote pokretanje ili zapaljenje,

- odgovarajuće upute, i kada je to potrebno, oznake u vezi sa sigurnim rukovanjem, skladištenjem, uporabom (uključujući sigurne udaljenosti) koje su na raspolaganju na hrvatskom jeziku,
- otpornost pirotehničkog sredstva, njegovog omota ili drugih sastavnih dijelova na oštećenja u normalnim, predvidivim uvjetima skladištenja,
- specifikacija svih potrebnih uređaja i pribora i upute za uporabu u cilju sigurnog funkcioniranja pirotehničkog proizvoda.

Pirotehnička sredstva ne smiju sadržavati detonacijske eksplozive osim crnog baruta i smjese za stvaranje bljeska, osim pirotehničkih sredstava razreda P1, P2, T2 i razreda IV koji zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- eksploziv nije moguće jednostavno odvojiti od pirotehničkog sredstva,
- za razred P1, pirotehničko sredstvo nije eksplozivno i tako kako je oblikovano i napravljeno ne može aktivirati sekundarne eksplozive,
- za razred IV, T2 i P2, pirotehničko sredstvo nije oblikovano i nije namijenjeno da djeluje kao eksploziv, ili, ako je oblikovano za eksploziju, tako kako je oblikovano i napravljeno ne može aktivirati sekundarne eksplozive. [20]

### **5.3. Pravilnik o sadržaju, izgledu i načinu vođenja upisnika o eksplozivnim tvarima**

Ovim Pravilnikom propisuje se sadržaj, izgled i način vođenja upisnika za proizvedene, prodane, nabavljene, uporabljene, uništene ili na drugi način otuđene eksplozivne tvari koje su propisane odredbama Zakona o eksplozivnim tvarima. Pravne osobe ili obrtnici koji se bave proizvodnjom ili prometom pirotehničkih sredstava obvezni su voditi upisnik o proizvodnji ili prometu pirotehničkih sredstava/streljiva (Obrazac 1.), a pravne osobe ili obrtnici koji se bave proizvodnjom ili prometom ostalih eksplozivnih tvari obvezni su voditi Upisnik o vrsti i količini proizvedenih, nabavljenih, prodanih ili uništenih eksplozivnih tvari (Obrazac 2.). Pravne osobe ili obrtnici koji koriste eksplozivne tvari za potrebe miniranja (nadzemna, podzemna, specijalna i miniranja pri razminiranju), ispitivanja, uništavanja eksplozivnih tvari, izvođenja javnih vatrometa ili izvođenja glasnog pucanja, obvezni su voditi Upisnik o količinama i vrstama

uporabljenih ili uništenih eksplozivnih tvari (Obrazac 3.). Pravne osobe ili obrtnici koji obavljaju poslove izvođenja glasnog pucanja obvezni su voditi Zapisnik o izvođenju glasnog pucanja (Obrazac 4.). Pravne osobe ili obrtnici koji obavljaju poslove izvođenja vatrometa obvezni su voditi Zapisnik o izvođenju vatrometa (Obrazac 5.). Pravne osobe ili obrtnici, koji posjeduju skladište eksplozivnih tvari, obavezni su voditi Upisnik o vrstama i količinama eksplozivnih tvari koje se nalaze u skladištu (Obrazac 6.). Pravne osobe ili obrtnici koji posjeduju skladište pirotehničkih sredstava obvezni su voditi Upisnik o vrstama i količini pirotehničkih sredstava/streljiva koja se nalaze u skladištu (Obrazac 7.). Ukoliko skladišta koriste više pravnih osoba ili obrtnika, vlasnik skladišta dužan je voditi upisnik za svaku pravnu osobu ili obrtnika odvojeno. Pravne osobe ili obrtnici koji se bave maloprodajom pirotehničkih sredstava koja su sastavni dio opreme za spašavanje na moru (sredstva za signalizaciju) te sredstava koja se koriste u željezničkom, zračnom i cestovnom prometu, raketnom modelarstvu, poljoprivrednoj i sličnim djelatnostima, obavezni su voditi Upisnik o nabavljenim i prodanim pirotehničkim sredstvima u maloprodaji (Obrazac 8.). [21]

#### **5.4. Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari**

Ovim Pravilnikom propisuje se način označavanja eksplozivnih tvari. Eksplozivne tvari pakiraju se u odgovarajuću unutarnju i vanjsku ambalažu. Vanjska ambalaža mora sadržavati sve oznake sukladno propisima koji se odnose na prijevoz opasnih tvari. Unutarnja ambalaža (sanduk, kutija, vreća, svežanj ili kolut) mora nositi oznake sa sljedećim podacima: naziv eksplozivne tvari, neto masa, naziv proizvođača i uvoznika, mjesec i godinu proizvodnje, rok uporabe. Vanjska ambalaža mora nositi oznake sa sljedećim podacima: naziv eksplozivne tvari, neto masa, bruto masa, naziv proizvođača i uvoznika, mjesec i godina proizvodnje, rok uporabe, uputa za sigurnu uporabu i uništavanje, identifikacijski broj opasnosti, UN broj, broj sanduka, kutije ili vreće. Eksplozivne tvari koje su zapakirane samo u vanjsku ambalažu moraju na sebi imati i oznake s podacima propisanim za označavanje unutarnje ambalaže. Eksplozivne tvari moraju biti označene oznakom CE o sukladnosti eksplozivne tvari s tehničkim propisima. Uz CE oznaku sukladnosti eksplozivne tvari moraju biti označene identifikacijskom oznakom ovlaštenog tijela koje je ispitalo sukladnost eksplozivne tvari



provedbom jedne od radnji ispitivanja (modul C, D, E, F i G). Oznaka CE mora biti utisnuta na vidljivom mjestu, lako čitljiva, neizbrisiva, i to na samoj eksplozivnoj tvari, ili ukoliko to nije moguće, može stajati i na natpisu utisnutom na eksplozivnoj tvari. [22]

### **5.5. Pravilnik o tehničkim zahtjevima za eksplozivne tvari**

Ovim se Pravilnikom propisuju uvjeti za ocjenjivanje sukladnosti eksplozivnih tvari s tehničkim zahtjevima, uvjeti za davanje ovlaštenja za obavljanje tih poslova, uvjeti za izdavanje i sadržaj isprava o sukladnosti eksplozivnih tvari te uvjeti i načini priznavanja valjanosti isprava i oznaka o sukladnosti koje su izdane u inozemstvu. Eksplozivne tvari sukladne su s tehničkim zahtjevima ako imaju mogućnosti i osobine koje navodi proizvođač i ispunjavaju osnovne sigurnosne zahtjeve koje ispitivanjem utvrdi ovlaštena osoba za ocjenjivanje sukladnosti. Svaku eksplozivnu tvar potrebno je ispitati u uvjetima koji odgovaraju uvjetima u kojima će se uporabiti. Posebno se to odnosi na fizikalnu i kemijsku stabilnost u svim uvjetima kojima eksplozivna tvar može biti izložena pri skladištenju, rukovanju i propisanoj uporabi.

Postupak ocjenjivanja sukladnosti obavlja se sukladno članku 7. Zakona o eksplozivnim tvarima provedbom jedne od sljedećih radnji:

- modul B – podrazumijeva početno ispitivanje tipa proizvoda za ocjenjivanje sukladnosti s tipom i po izboru proizvođača ili njegova predstavnika,
- modul Cbis2 – podrazumijeva ispitivanje slučajnih uzoraka proizvoda od ovlaštene osobe za ocjenjivanje sukladnosti,
- modul D – podrazumijeva osiguranje kvalitete proizvodnje putem ocjene sustava kvalitete, uz redovite nadzore ovlaštene osobe za ocjenjivanje sukladnosti,
- modul E – podrazumijeva osiguranje kvalitete proizvoda putem ocjene sustava kvalitete, uz redovite nadzore ovlaštene osobe za ocjenjivanje sukladnosti,
- modul F – podrazumijeva pregled i ispitivanje svakog proizvoda od ovlaštene osobe za ocjenjivanje sukladnosti koju izabere proizvođač,

- modul G – podrazumijeva pregled i ispitivanje pojedinačnog proizvoda prema odgovarajućim normama od ovlaštene osobe za ocjenjivanje sukladnosti koju izabere proizvođač.

Nadzor proizvodnje eksplozivnih tvari provodi se pregledavanjem, nadziranjem i ocjenjivanjem proizvodnje i proizvođačeve unutarnje kontrole proizvodnje. Certifikat sukladnosti izdaje osoba ovlaštena izdavanje certifikata sukladnosti, na zahtjev proizvođača ili uvoznika eksplozivnih tvari. Certifikat se izdaje ako su provedene skupine radnji određene za ocjenjivanje sukladnosti te ako je sukladnost dokazana. Eksplozivna tvar za čija je tehnička svojstva, na način propisan ovim Pravilnikom, dokazano da su sukladna svojstvima određenim hrvatskom normom, koja je sukladna načelima europskog usklađivanja tehničkog zakonodavstva ili preuzetom europskom tehničkom dopuštenju, označavaju se sukladno Pravilniku o označavanju eksplozivnih tvari. [23]

## **6. JORGE PIROTEHNIKA D.O.O.**

### **6.1. O tvrtki JORGE**

Tvrtka JORGE pirotehnika d.o.o., osnovana je u Križevcima 2013. godine kao podružnica JORGE Fireworks. Registrirana je za distribuciju komercijalne i profesionalne pirotehnike, izvođenje svih vrsta javnih vatrometa i scenskih efekata na prostoru Republike Hrvatske.

JORGE Fireworks je poljska tvrtka s vlastitom proizvodnjom u Kini, osnovana je 1990. godine. U početku, osnovna djelatnost tvrtke bio je uvoz i distribucija pirotehnike na domaćem tržištu, dok danas JORGE je svojim konzumnim i profesionalnim proizvodima zastupljen u preko dvadesetak zemalja diljem Europe što ga čini jednim od najpoznatijih brendova. Tvrtka provodi normu ISO 9001: 2008 sustav upravljanja kvalitetom. 2009. godine JORGE kao prva poljska tvrtka uvodi propise koji se odnose na CE, tako da u ovom trenutku većina pirotehničkih proizvoda posjeduje CE certifikat što je ujedno i jamstvo visoke kvalitete.

Tvrtka postoji od 14. lipnja 2013. godine kada je registrirana u trgovačkom sudu u Varaždinu, te je ishodila od strane Ministarstva unutarnjih poslova odobrenje za obavljanje poslova prometa eksplozivnim tvarima od 14. kolovoza 2013. godine, kao i odobrenje za izvođenje javnih vatrometa od 26. rujna 2013. godine. Za potrebe efikasnijeg poslovanja Tvrtka je izgradila skladište eksplozivnih tvari kapaciteta koji je iskazan u kg ekvivalentne energije 420 daNm/kg (TNT).

### **6.2. Makro lokacija i mikrolokacija skladišta**

Skladište eksplozivnih tvari (slika 26.) je izgrađeno na području Općine Sveti Ivan Žabno u naselju Trema u koprivničko-križevačkoj županiji. Lokacija skladišta je približno kvadratnog oblika ukupne površine oko 7.400 m<sup>2</sup>. Na lokaciji je izgrađen jedan objekt za skladištenje eksplozivnih tvari te je postavljen tipski kontejner koji služi kao ured skladištara i portirnica. Pristup skladišnom prostoru je sa sjeverne strane, sa makadamskog puta kojim se koristi lovačko društvo. Makadamski put je dužine cca 130 metara te se spaja sa asfaltnom cestom koja vodi prema naselju Novi Đurđić.

U blizini skladišnog prostora ne nalazi se nadzemni visokonaponski vod električne energije kao niti skladište zapaljivih plinova ili tekućina.

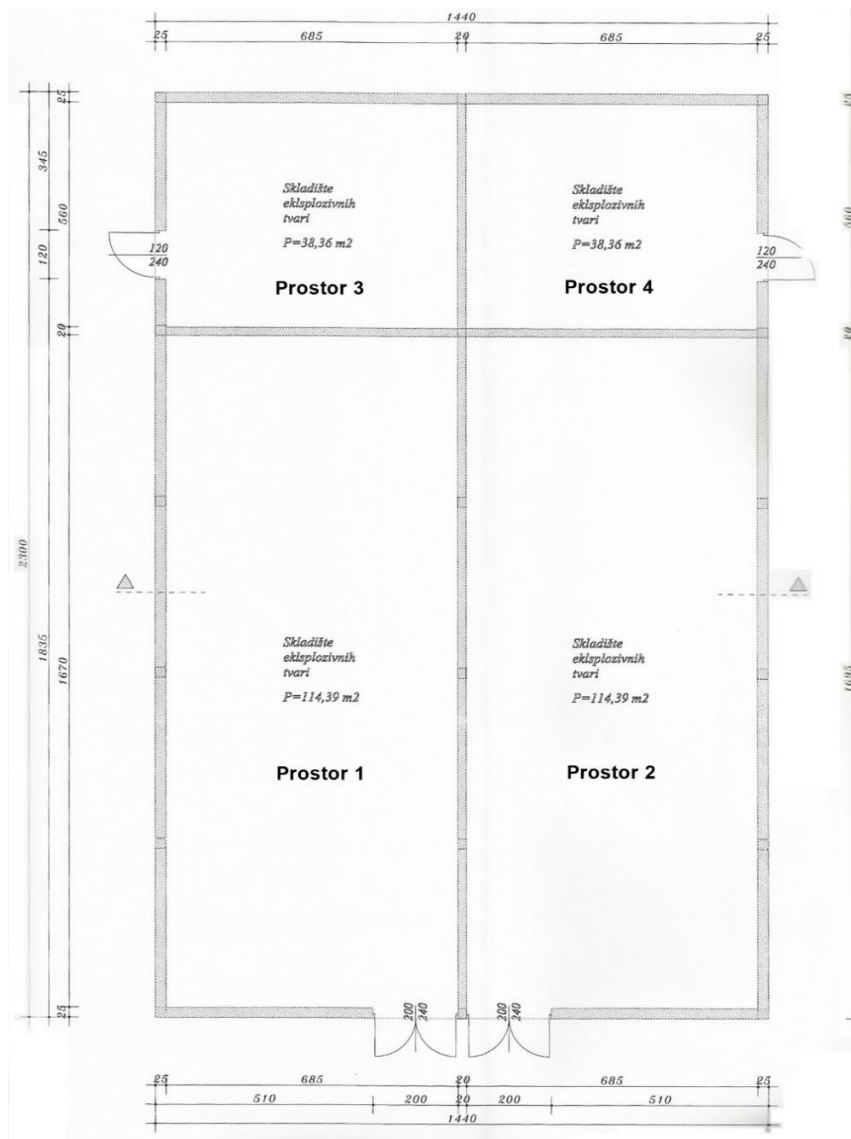


Slika 26. Uža lokacija skladišta eksplozivnih tvari [24]

### 6.3. Opis skladišta eksplozivnih tvari

Objekt za skladištenje eksplozivnih tvari je izgrađen na sjevernoj polovici parcele i pruža se dužom stranom u smjeru sjeveroistok-jugozapad. Vanjske dimenzije objekta su 23,0 x 14,4 metar. Skladišni prostor je ograđen žičanom ogradom visine 220 cm koja je postavljena na metalnim stubovima. Objekt za skladištenje eksplozivnih tvari je prizemni tlocrtna površine 331,2 m<sup>2</sup>, a visina do krovnih nosača iznosi 6,5 metara. Temelji su monolitni, zidovi su od blok opeke 25 cm i isti su obostrano ožbukani. Pokrov je izveden od valovitih cementnih ploča sa termičkom izolacijom. Na objektu su postavljena četvora metalna vrata otporna na propucavanje. Tlocrtna neto površina objekta za skladištenje eksplozivnih tvari 305,50 m<sup>2</sup>, a sastoji se od dvije prostorije dimenzija 16,7 x 6,85 metara i dvije prostorije dimenzija 6,60 x 6,85 metara (slika 27.).

Izlazna vrata svih objekata za skladištenje eksplozivnih tvari otvaraju se prema van. Zidovi su glatko obrađeni, neporozni i pogodni za pranje. Podovi imaju ravnu i glatku površinu. Provjetravanje prostorija u kojima se skladište eksplozivne tvari obavlja se prirodno, otvaranjem vrata najmanje svaki drugi dan.



Slika 27. Raspored prostorija za skladištenje eksplozivnih tvari [24]

Sukladno članku 16. Pravilnika o uvjetima i načinu provedbe sigurnosnih mjera kod skladištenja eksplozivnih tvari (NN 26/09, 41/09 i 66/10) objekt za skladištenje eksplozivnih tvari na ovoj lokaciji pripada skladištu TIP 1.

#### 6.4. Skladištenje i manipulacija eksplozivnih tvari

U skladištu se skladište eksplozivne tvari kao što su:

- niskobrizantni granulirani eksplozivi tipa ANFO,
- emulzijski eksplozivi,
- praškasti eksplozivi,
- želatinozni – plastični eksplozivi,
- detonirajući štapini,
- sporogoreći štapini,
- pentolitski pojačnici,
- neelektrična inicijalna sredstva,
- rudarske kapice,
- usporivači,
- te druge vrste eksplozivnih tvari koje se prema Zakonu i Pravilniku smiju zajedno skladištiti.

Zajedničko čuvanje različitih vrsta eksplozivnih tvari u istom skladištu dozvoljeno je samo u skladu s niže navedenom tablicom (tablica 2.).

Tablica 2. Zajedničko čuvanje različitih vrsta eksplozivnih tvari u istom skladištu [25]

	Pirotehnička sredstva	Pirotehnički štapin	Crni barut	Pirotehničke šibice	Električni upaljači
Pirotehnička sredstva	-	DA	NE	DA	NE
Pirotehnički štapin	DA	-	NE	DA	NE
Crni barut	NE	DA	-	NE	DA
Pirotehničke šibice	DA	DA	NE	-	DA
Električni upaljači	NE	NE	NE	DA	-

Eksplzivne tvari u dvije veće prostorije se skladište na paletama, a visina slaganja eksplozivnih tvari određena je preporukom proizvođača, a zavisi od karakteristike eksplozivnih tvari te vrsti ambalaže, s time da udaljenost od stropa ne smije biti manja od 0,6 m, zidova 0,2 metra, te poda 0,1 metar. U dvije manje prostorije eksplozivne tvari se skladište na policama – regalima (slika 28.). Eksplozivne tvari dopremljene do utovarno – istovarnog platoa vozilima, ručnim paletarom se prevoze na paletama u skladište.



Slika 28. Skladištenje na policama – regalima [25]

Slaganje eksplozivnih tvari obavlja se samo u propisanom i originalnom pakiranju proizvođača. Kutije se slažu na ravnoj podlozi, s otvorom pakovanja prema gore. Složene su uredno, odvojene prema šiframa artikla, kako bi se u svakom trenutku moglo prići pojedinom artiklu radi provjere i prebrojavanja. Prilikom izdavanja robe uvijek se prvo izdaje ona koja je iz starije zalihe. Uzimajući u obzir veličinu skladišnih prostora u objektu te udaljenost skladišta eksplozivnih tvari od najbližih naseljenih objekata i prometnica, maksimalni kapaciteti pojedinih prostora su sljedeći:

- kapacitet skladišta eksplozivnih tvari iznosi 4 x 300 kg eksplozivnih tvari ekvivalentno jediničnoj energiji od 420 daNm/kg.

Za određivanje maksimalne količine pirotehničkih sredstava koju je dozvoljeno skladištiti u objektu koristi se tablica iz Pravilnika o uvjetima i načinu provedbe sigurnosnih mjera kod skladištenja eksplozivnih tvari (tablica 3).

Tablica 3. Udaljenosti za skladištenje pirotehničkih sredstava [24]

Ukupna bruto masa	Udaljenost od prometnica			Udaljenost od stambenih objekata		
	Klasa 1.4	Klasa 1.3		Klasa 1.4	Klasa 1.3	
		zaklonjeno	nezaklonjeno		zaklonjeno	nezaklonjeno
kg	m	m		m	m	
do 800	25	25	40	25	30	60
900	25	25	41	25	31	62
1000	25	25	43	25	32	64
2000	25	27	54	25	41	90
3000	25	31	61	25	46	92
4000	25	34	68	25	51	102
5000	25	37	73	25	55	109
6000	25	39	77	25	58	116
7000	25	41	81	25	61	122
8000	25	43	85	25	64	128
9000	25	44	88	25	67	133
10000	25	46	92	25	69	138
20000	25	58	116	25	87	174
30000	25	67	133	25	100	199
40000	25	73	146	25	110	219
iznad 50000	25	78	157	25	118	236

### 6.5. Fizičko – tehničke mjere zaštite

U skladištu postoji 24 satna tehnička zaštita i ista je ugrađena od ovlaštene tvrtke, a dojava signala je upućena tvrtki koja ima ovlaštenje za obavljanje poslova tehničke zaštite. O osobama koje dolaze u skladište vodi se evidencija, dok je kretanje tih osoba unutar kruga skladišta moguće samo u prisutnosti pratitelja ili rukovoditelja skladišta.



Izdavanje i preuzimanje robe sa skladišta dozvoljeno je samo po danu. Roba se iznimno može izdavati ili primiti noću uz odobrenje vlasnika JORGE Pirotehnike d.o.o.

Vrata na skladištu uvijek su zaključana, osim za vrijeme primanja ili izdavanja eksplozivnih tvari ili prilikom prozračivanja skladišnih prostorija.

Oko skladišta (slika 29.) izvedena je propisana ograda, dok se s vanjske strane ograde, oko skladišnih objekata redovito prorjeđuje drveće, a pojas širine od 5 metara uz ogradu skladišta redovito je čišćeno od svega raslinja (drveća, grmlja, trave i sličnog). Za osvjjetljenje skladišta i ograde izvedena je vanjska električna rasvjeta.



Slika 29. Ograda oko skladišta [25]

## 6.6. Mjere zaštite od požara

Zaštita od požara obuhvaća skup mjera, normativnog, organizacijskog, tehničkog i drugog karaktera koje se poduzimaju u cilju sprečavanja nastanka, širenja i uspješnog gašenja požara. U krug skladišta ne smiju se unositi šibice i upaljači, otvoreni plamen, unositi i koristiti uređaji koji iskre i vatreno oružje.

Na ulazu u krug skladišta, na vidljivom mjestu, postavljeni su znakovi upozorenja i zabrane: zabranjen pristup nezaposlenima, zabranjena uporaba iskrećeg alata, opasnost od eksplozije, opasnost od požara, zabranjeno pušenje, zabranjena uporaba otvorenog plamena, zabrana unošenja oružja, obaveza zaključavanja, mjesto se štiti videonadzorom, obaveza zatvaranja protupožarnih vrata, eksploziv-pristup zabranjen. U skladišnim objektima zabranjen je smještaj i čuvanje zapaljive i ostale ambalaže, krpa ili bilo kakvog otpada, te goriva i maziva. Motor vozila za vrijeme utovara, istovara ili pretovara eksplozivnih tvari mora biti ugašen, dok se mjesto istovara, utovara ili pretovara osigurava sa sredstvima za početno gašenje požara, najčešće vatrogasnim aparatima S – 9. Za ulazak u skladište noću i u uvjetima slabije vidljivosti koriste se akumulatorske ili ručne baterijske svjetiljke koje su u EX izvedbi. Radnicima koji ulaze u skladište eksplozivnih tvari i manipuliraju tim sredstvima osigurana je zaštitna radna odjeća od prirodnog materijala (pamuk), kao i obuća koja je elektro provodljiva uz dozvoljen otpor od 10 ohma.

Skladište je opremljeno gromobranskom instalacijom te su svi metalni dijelovi uzemljeni, kako ne bi predstavljali opasnost za nastajanje požara ili eksplozija. Gromobranska instalacija i uzemljenje redovito su pregledani u zadanim rokovima od strane ovlaštenih i stručnih poduzeća barem jednom godišnje ili poslije svakog udara groma. S unutarnje strane skladišta nije izvedena električna instalacija, dok je s vanjske strane izvedena za potrebe video nadzora i reflektora za osvjetljavanje okoline skladišta. Radi ventiliranja skladišnih prostora, svaka 3 dana otvaraju se vrata te se prozračuju prostorije skladišta (slika 30.). Prije bilo kakvih radova unutar skladišta, skladište se u potpunosti isprazni te se dobro očisti od eksploziva. Ukoliko se radovi izvode izvan skladišta a postoji opasnost od stvaranja iskre, vatre ili eksplozije, ili radovi zahtijevaju korištenje plamena, skladište se također potpuno isprazni i dobro očisti od eksploziva.



Slika 30. Prozračivanje prostorije skladišta otvaranjem vrata [25]

Za početno gašenje požara osiguravaju se kraj svakog skladišnog objekta vatrogasni aparati i priručna sredstva za gašenje požara. Skladište je opremljeno dovoljnim brojem vatrogasnih aparata za početno gašenje požara koji su pravilno raspoređeni na objektu. Aparati su postavljeni na uočljivom mjestu kod ulaza odnosno izlaza iz skladišnog objekta (slika 31.), na dohvat ruke, na visini maksimalno 1,5 metara. Aparati su redovito servisirani periodički i kontrolno.



Slika 31. Položaj vatrogasnih aparata za početno gašenje požara [25]

Svi radnici na skladištu imaju završenu obuku iz rukovanja eksplozivnim tvarima koja je izvedena prema Pravilniku o osposobljavanju gašenja požara i spašavanja ljudi i imovine ugrožene požarom.

U slučaju izbijanja požara dužnost je svakog radnika da odmah pristupi gašenju požara, ako to može učiniti bez opasnosti za sebe i okolinu. Ako sredstvom za početno gašenje požara nije moguće ugasiti nastali požar, radnici su dužni zbog osobne sigurnosti napustiti ugroženi prostor i odmah pozvati najbližu vatrogasnu postrojbu koja je u ovom slučaju Javna vatrogasna postrojba Grada Križevaca, te izvijestiti Policijsku postaju.

Osoba koja dojavljuje požar dužna je dati sljedeće podatke:

- naziv skladišta (poduzeća) gdje je izbio požar,
- što i kako gori, da li postoji opasnost od eksplozije,
- broj telefona odakle se dojavljuje,
- osobne podatke.

Po dojavi požara ista osoba je dužna sačekati dolazak vatrogasne postrojbe na sigurnom mjestu i staviti se na raspolaganje voditelju vatrogasne intervencije. U slučaju nemogućnosti dojave požara preko predviđenih sustava veze, odgovorna osoba za skladište organizira dojavu kurirskim putem između prisutnih radnika.

Važna pravila pri gašenju požara opasnih tvari su:

- gasiti samo početne požare,
- vatrogasac jedini smije pristupiti u blizinu požara,
- velike požare smije gasiti samo vatrogasna postrojba,
- pri gašenju požara potrebno je uvijek stajati suprotno od smjera vjetra, gasiti požar odozdo prema gore, gasiti ga kratkim pražnjenjem, ne trošiti sadržaj bespotrebno, intervenirati sa mnogo gasitelja, gasiti od početka požara prema kraju.

## **7. VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA SKLADIŠTA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA**

Prema Zakonu o vatrogastvu (NN 125/19), vatrogasna intervencija je skup mjera, radnji i postupaka koje provode vatrogasne snage u vremenu od zaprimanja dojave do povratka u vatrogasnu postrojbu, na temelju zaprimljene dojave ili zapovjedi nadležnog vatrogasnog zapovjednika, zbog nastalog izvanrednog događaja. [26]

U nesrećama sa svim opasnim tvarima potrebno je što ranije intervenirati, jer nekada to može biti ključno u spašavanju života i imovine. Sama dojava intervencije i pojam da gori skladište nekih opasnih tvari daje voditelju vatrogasne intervencije mnogo briga i razmišljanja o odabiru taktike i načinu gašenja požara, a da pri tome ne ugrozi sve sudionike intervencije koji će se nalaziti u neposrednoj blizini.

### **7.1. Incidenti s pirotehničkim sredstvima**

Dana 13. svibnja 2000. godine, uslijed požara skladišta tvrtke SE Fireworks u gradu Enschede, Nizozemska, dogodila se katastrofalna eksplozija pirotehničkih sredstava. U eksploziji su poginule 23 osobe, uključujući i 4 vatrogasca, a ozlijeđeno je gotovo 1000 ljudi. 400 domova je uništeno, a oštećeno 1500 zgrada. Prva eksplozija imala je jačinu ekvivalentnu 800 kg TNT-a, dok je snaga konačne eksplozije bila u rasponu od 4000 do 5000 kg TNT-a. Procijenjena šteta je bila oko 454 milijuna kuna.

U siječnju 2015. godine tvornica vatrometa u Granadi u Kolumbiji eksplodirala je ozlijedivši jednu osobu.

U srpnju 2020. godine dogodilo se više snažnih eksplozija u tvornici za proizvodnju pirotehničkih sredstava u Turskoj. 56 osoba je ozlijeđeno, od čega 1 osoba teško. Radi se o jednoj od najvećih tvornica u Turskoj koja u svojim skladištima ima 110 tona eksploziva.

U lipnju 2021. godine buknuo je požar u skladištu pirotehnike u Moskvi, pri čemu su ozlijeđene 4 osobe, od čega su 3 vatrogasca.

## **7.2. Gašenje požara skladišta pirotehničkih sredstava**

Požari u skladištima u kojima su smještena pirotehnička sredstva, mogu se širiti veoma brzo i mogu uzrokovati niz eksplozija. Eksplozija može srušiti i susjedne objekte, dok zapaljene konstrukcije razbacane eksplozijom mogu dovesti do novih žarišta požara.

Voditelj intervencije mora dobro napraviti izviđanje, skupiti sve podatke glede opasnosti za vatrogasce, te mora predvidjeti sve opasnosti koje se mogu dogoditi. Te opasnosti mogu biti opasnosti od eksplozije, rušenje konstrukcije, zakrčenost prilaznim putevima do objekta i mogućnost snabdjevanja vodom. Također mora predvidjeti mogućnost povećanja razmjera požara i pojavu novih žarišta požara. Skupljanjem podataka od odgovorne osobe skladišta mora utvrditi koja se eksplozivna sredstva nalaze na mjestu požara u kojoj količini, kako su pakirana, mogu li eksplodirati, da li su dostupna, mogu li se iznositi. Najvažnije od svega potrebno je utvrditi da li je požar zahvatio pirotehnička sredstva, jer tim saznanjem radi se raspored gašenja i zadaća snagama na terenu.

Za požare u blizini pirotehničkih sredstava mora se odmah započeti gašenje svim raspoloživim sredstvima ne čekajući posebne upute i zapovjedi. Ako je požar zahvatio pirotehnička sredstva ili dovodi toplinu na njima, ili ako je požar toliko velik da se ne može ugasiti raspoloživom opremom, svo osoblje koje je zatečeno, mora se odmah evakuirati i skloniti na sigurno mjesto. Osoblje koje gasi požar koji je zahvatio pirotehnička sredstva mora biti u potpunosti obaviješteno o specifičnim reakcijama, opasnostima i okolnostima pirotehničkih sredstava koji su izvrgnuti toplini ili požaru i to prije nego se približi mjestu požara. Postupak gašenja požara koji je zahvatio pirotehnička sredstva, mora biti sukladan s njihovom klasifikacijom u požarne skupine, ovisno o fazi požara i proceduri definiranoj u Elaboratu.

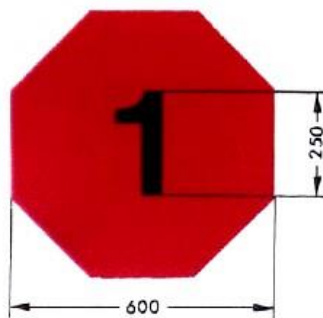
U cilju identifikacije požarnih skupina definirani su simboli kako bi osoblje za borbu protiv požara koje se približava mjestu požara prepoznalo o kojoj se opasnosti radi.

Požarna skupina 1 (slika 32.):

- a) Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine suzbija se tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima i bez čekanja naročitih instrukcija. 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.

- b) Potpuno razvijeni požar se ne suzbija osim ako se zna koja vrsta eksplozivnog sredstva je uskladištena na mjestu požara, koliko dugo ta sredstva mogu biti izložena vatri prije nego što eksplodiraju i koliko dugo su ta sredstva izložena vatri.
- c) Ukoliko vatrogasne snage ne mogu suzbiti požar, one se moraju od mjesta požara držati dovoljno daleko da ne budu izložene opasnosti. Ukoliko je moguće, te bi snage trebalo skloniti na zaštićenu lokaciju sa koje bi se suzbijale požare koji se prošire u blizinu prvobitnog požara. Ukoliko im ne stoji na raspolaganju nikakva zaštićena lokacija, snage za borbu protiv požara bi se trebale povući sa mjesta požara na dovoljno udaljenu lokaciju.
- d) Nakon eksplozije vatrogasne snage mogu prići mjestu požara samo ako su eksplozivna sredstva potpuno uništena u eksploziji tako da još uvijek gore samo ostaci.



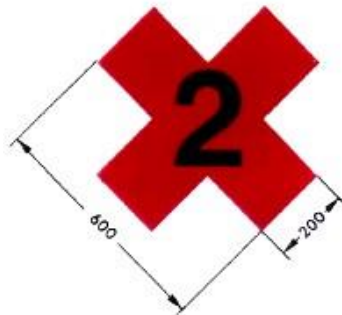
Slika 32. Simbol požarne skupine 1 [4]

Požarna skupina 2 (slika 33.):

- a) Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine eksplozivnih sredstava suzbija se odmah tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima i bez čekanja naročitih instrukcija. Eksplozivna sredstva pri požaru Klase 2 ne eksplodiraju odmah pošto ih zahvati požar. Obično se eksplozije kod ovih požara mogu očekivati tek nakon što se ES zagrije određeno duže vrijeme (10 do 40 minuta).
- b) Ako se takav požar ne može ugasiti prije nego što se mogu očekivati prve eksplozije, mjesto požara se napušta te se nastojanja u pogledu suzbijanja

požara koncentriraju na sprječavanje širenja požara. Požar se može suzbijati sa obližnje zaštićene lokacije ukoliko na toj lokaciji postoji zaštita od fragmenata i projektila.

- c) 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. Vatrogasna oprema se održava u pripravnosti na zaštićenoj lokaciji.
- d) Na to mjesto, kada se evakuira, ne smije se ući ponovo sve dok požar traje, čak ni u cilju određivanja obima požara.



Slika 33. Simbol požarne skupine 2 [4]

Požarna skupina 3 (slika 34.):

- a) Požar koji obuhvaća elemente ove požarne skupine, suzbija se odmah tijekom razvojne faze svim dostupnim sredstvima bez čekanja naročitih instrukcija. Ukoliko se, u razvojnoj fazi, požar ne može kontrolirati, mjesto požara se odmah evakuira.
- b) Potpuno razvijeni požar se ne suzbija sa male udaljenosti zbog opasnosti od eksplozije i velike topline.
- c) Ukoliko na raspolaganju ne stoji odgovarajuća zaštićena lokacija, vatrogasne snage se povlače sa mjesta požara na dovoljno udaljenu lokaciju. Nastojanja u pogledu suzbijanja požara se ograničavaju na gašenje i suzbijanje proširenih požara kako bi se spriječilo dalje širenje. Kad god je to praktično moguće, požar se treba suzbijati sa položaja iza zaštićenih lokacija.





Slika 34 Simbol požarne skupine 3 [4]

Požarna skupina 4 (slika 35.):





- a) Požari koji obuhvaćaju elemente ove požarne skupine, suzbijaju se u svim slučajevima i svim dostupnim sredstvima.
- b) 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.



Slika 35. Simbol požarne skupine 4 [4]

Nepotrebno osoblje mora se skloniti s mjesta požara na udaljenost koja osigurava odgovarajuću zaštitu. Najmanja dopuštena udaljenost za sklanjanje ljudstva su navedena u tablici 4.

Tablica 4. Najmanje dopuštene udaljenosti za sklanjanje ljudstva [4]

Požarni simboli	Udaljenost za sklanjanje ljudstva (m)	Posebni zahtjevi
	600	Za količine veće od 45 t koristiti se udaljenost za stambene zgrade
	550	
	180	Za količine veće od 10 t koristiti se udaljenošću za stambene zgrade
	90	

Eksplzivna sredstva koje sadrži i eksplozivne i kemijske tvari može pripadati različitim požarnim skupinama (1, 2, 3 ili 4) ovisno o vrsti i količini eksploziva. Protiv požara treba se boriti sukladno značajkama njihove požarne skupine, uz posebne mjere opreza i zaštite. Posebni propisi za borbu protiv požara, uključujući i udaljenosti i vrijeme povlačenja ljudstva, koji odgovaraju različitim simbolima, moraju se propisati u protu požarnom elaboratu u skladu s potrebama i prilikama mjesta na kojem se eksplozivna sredstva nalaze.

Povijest požara skladišta pirotehničkih sredstava, nam ukazuje da je gotovo na svakom požaru došlo do ozljeđivanja vatrogasaca tijekom gašenja. Nepripremljeno i neorganizirano gašenje požara od strane pojedinca može dovesti do neželjenih posljedica. Od zaprimanja same dojave pa sve do povratka u postaju svi koraci moraju biti dobro isplanirani i uvježbani. Zaprimanje dojave mora biti jasno i temeljito, moraju se uzeti svi potrebni podaci od dojavitelja (točna adresa, mjesto, lokacija požara, što gori ili kakav materijal gori, da li su ljudski životi ugroženi, tko je dojavitelj i broj telefona s kojeg zove. Nakon zaprimljene dojave, uzbunjivaju se vatrogasci koji su u postrojbi i koji imaju rok od 60 sekundi od alarmiranja do izlaska na cestu. Opremanje vatrogasaca osobnom (slika 36.) i skupnom zaštitnom opremom mora biti cjelokupno i bez iznimaka. Zaštitno vatrogasno odijelo, kaciga, čizme, rukavice, podkapa i opasač

su oprema bez koje niti jedan vatrogasac ne smije krenuti na intervenciju. Također u požarima gdje gore eksplozivne tvari obavezno je korištenje aparata za zaštitu dišnih organa (slika 36.), bez kojih se gasitelj dovodi u po život opasnu situaciju.



Slika 36. Osobna i skupna zaštitna oprema vatrogasaca [25]

Broj vatrogasaca koji izlaze na intervenciju uvelike ovisi o veličini postrojbe. Veće vatrogasne postrojbe poput Javne vatrogasne postrojbe Grada Zagreba ili Rijeke, mogu bez problema izaći u potpunom gasnom vlaklu, dok manje vatrogasne postrojbe poput Javne vatrogasne postrojbe Grada Križevaca, najčešće izlaze sa 2 čovjeka i jednim vozilom ili u idealnim uvjetima 3 čovjeka i dva vozila.

Gasni vlak se sastoji od zapovjednog vozila, navalnog vozila, auto ljestve i auto cisterne, koji idu u koloni do mjesta intervencije pod svjetlosnim i zvučnim signalima.

Voditelj intervencije odgovoran je za uspješnost akcije gašenja te naknadno čuvanje požarišta od ponovnog aktiviranja, te je dužan sačuvati tragove i predmete koji mogu poslužiti za utvrđivanje uzroka događaja.

Voda se može upotrebljavati samo kao sredstvo za hlađenje. Najčešće se koristi u obliku punog mlaza, raspršenog mlaza i u obliku vodene magle. Ukoliko prijeti opasnost od djelovanja visokih temperatura na eksplozivna sredstva treba ih obilno zalijevati raspršenim mlazom vode i tako spriječiti njihovo zagrijavanje i paljenje, izuzev eksplozivna sredstva koja burno reaguju u doticaju s vodom (npr. magnezij u dimnoj smjesi).

Da bi sačuvali živote i osigurali sigurnost vatrogasaca moramo se strogo pridržavati sigurnosnih mjera:

- ne dopuštati nepotrebno zadržavanje ljudi na opasnim mjestima,
- predvidjeti zaštitu ljudi od udarnog vala koristeći zaklone,
- biti vrlo oprezan prilikom uklanjanja dijelova konstrukcije oštećene eksplozijom,
- zalijevati žarišta mlazovima vode sa sigurne udaljenosti ili iz zaklona
- obavezno koristi izolacijske aparate za zaštitu dišnih organa od djelovanja otrovnih plinova,
- ni u kojem slučaju ne bacati dijelove konstrukcije na eksplozivna sredstva,
- ne izazivati potrese uporabom trnokopa i drugih alata.

Pored uobičajenih djelovanja vatrogasaca na skladišta eksplozivnih sredstava, moguće je djelovati i na druge načine. To se prvenstveno odnosi na upotrebu drugih sredstava i opreme iz sigurnosnih razloga zbog vatrogasaca. Kod takvih intervencija život i zdravlje vatrogasaca u neposrednoj blizini izložen je visokom riziku. Također opasnost od doleta fragmenata, krhotina i neeksplozivnih eksplozivnih sredstava, zahtijevaju od nas sigurniji i odgovorniji pristup gašenju.

U nesrećama skladišta pirotehničkih sredstava koja su se dogodila u Moskvi ili Turskoj, moglo se je vidjeti čak i korištenje protupožarnih zrakoplova ili helikoptera za gašenje. Kako god sigurno izgledalo djelovanje iz zraka, ponovo se može reći da je život pilota i posade ugrožen. Također, „vodena bomba“ koju baci protupožarni zrakoplov, može učiniti više štete nego koristi.

Najidealnije bi bilo koristiti specijalno robotizirano višenamjensko vozilo MVF-5, koje je proizvela hrvatska tvrtka DOK-ING (slika 37.). Osnovna namjena ovog vozila je

primjena u raznim situacijama koje predstavljaju veliku opasnost za život i zdravlje ljudi. Vozilo se može primijeniti za gašenje požara, za otklanjanje raznih strukturnih lomova. Na vozilu je ugrađen video sustav s kamerama za nadzor u području kretanja vozila, sustav za gašenje požara te alat za zahvaćanje i guranje predmeta. Gašenje vodom i pjenom provodi se pomoću bacača vode i pjene nazivnog volumnog protoka 1200 l/min pri nazivnom tlaku 10 bara, kojeg daje centrifugalna vatrogasna pumpa CVPN 10-2000, proizvođača Ziegler, spremnik vode 2000 l, spremnik pjena 600 l. s prednje strane vozila ima ugrađen alat za zahvaćanje predmeta. Alat ima mogućnost podizanja predmeta mase do 2000 kg i guranje predmeta mase do 10000 kg. Svi ovi podaci daju vozilu određenu autonomnost pri gašenju požara, a osobu koja daljinski upravlja tim vozilom osigurava siguran rad i štiti od zračnog udarnog vala ili doleta fragmenata, krhotina ili projektila.



Slika 37. MVF-5 DOK-ING [28]

## 8. ZAKLJUČAK

Pirotehnička sredstva moraju se skladištiti i čuvati u za to određena skladišta, uz provođenje svih mjera sigurnosti. Nepoštivanjem tih mjera može nastati složena situacija u kojoj mogu biti ugroženi ljudski životi, može nastati velika materijalna šteta te može doći do onečišćenja okoliša. Različitost eksplozivnih tvari ili smjesa stavlja pred voditelja vatrogasne intervencije težak zadatak u kojem mora donijeti odluke kojom će se taktikom nastupiti, koje sredstvo za gašenje će se koristiti, i ono najvažnije, dali je potrebno ići gasiti. Ukoliko je požar zahvatio pirotehnička sredstva, osnovno pravilo je da nema gašenja požara, već se postupa, a ovisno o fazi požara, sukladno klasifikaciji požarnih skupina (1, 2, 3 i 4). Vatrogasne snage nedvojbeno izlaze na intervencije tog tipa te bi uz educiranost, uvježbanost a koristeći pri tome svu potrebnu opremu i pravila kod djelovanja, mogućnost neželjenog događaja prilikom intervencije svela na minimum. Takav pristup obećava sigurnost vatrogascima, ali i cjelokupnom stanovništvu.

## 9. LITERATURA

- [1] Zakon o prijevozu eksplozivnih tvari, NN, br. 79/07.
- [2] Pravilnik o načinu prijevoza opasnih tvari u cestovnom prometu, NN, br. 97/93 i 151/03.
- [3] Centar za sigurnost: „*Listice opasnosti*“, URL: <https://www.czs.hr/en/listice-opasnosti-100x100>, pristupljeno 24. 07. 2021.
- [4] **Todorovski Đ.**: Kolegij „*Osnove sigurnosti i zaštite od eksplozivnih tvari*“, Veleučilište u Karlovcu, (2020).
- [5] **Pavelić Đ.**: „*Opasnosti i zaštita pri rukovanju inicijalnim eksplozivima*“, Sigurnost 54 (1) 63 – 65, 2012.
- [6] **Stevanović T., Petrović S.**: „*Priručnik minsko-eksplozivna sredstva i njihova primena*“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, (1987.).
- [7] **Pavelić Đ.**: „*Sigurna primjena eksploziva*“, Sigurnost 52 (1) 73 – 76, 2010.
- [8] **Lancaster R.**: „*Fireworks – Principles and Practice, 2th Edition*“, Chemical Publishing, New York, (1992), ISBN 0820603392
- [9] Wikipedia: „*Potassium perchlorate*“. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Potassium\\_perchlorate](https://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_perchlorate), pristupljeno 1. 08. 2021.
- [10] Dita Chemicals: „*Clorato De Potasio Solido*“. URL: <http://ditaichemical.com/potassium-chlorate/solid-potassium-chlorate-cas-3811-04-9.html>, pristupljeno 1.08. 2021.
- [11] Wikipedia: „*Kalijev nitrat*“. URL: [https://wikipedia.org/wiki/Kalijev\\_nitrat](https://wikipedia.org/wiki/Kalijev_nitrat), pristupljeno 1. 08. 2021.
- [12] BassTech: „*5 Interesting Facts About Barium Nitrate*“. URL: <https://basstechintl.com/blog/chemical/five-interesting-facts-barium-nitrate>, pristupljeno 1. 08. 2021.

- [13] Google: „*Zanimljivosti o sumporu*“. URL: <https://sites.google.com/site/sumpor4554/zanimljivosti-o-sumporu>, pristupljeno 1. 08. 2021.
- [14] Wikipedia: „*Antimon trisulfid – Anti-Tiger*“. URL: [https://hr2.wiki/wiki/Antimony\\_trisulfide](https://hr2.wiki/wiki/Antimony_trisulfide), pristupljeno 1. 08. 2021.
- [15] Indiamart: „*Dextrin*“. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/dextrin-4433259791.html>, pristupljeno 2. 08. 2021.
- [16] Wikipedia: „*Šelak*“. URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%A0elak>, pristupljeno 2. 08. 2021.
- [17] HJ Chem: „*Carbonate De Strontium*“. URL: <http://hr.hongjinchemicals.com/inorganic-chemcial/strontium-salt/strontium-carbonate-cas-1633-05-2.html>, pristupljeno 2. 08. 2021.
- [18] **Pavelić Đ.**: „*Značajke i djelovanje eksploziva*“, Sigurnost 51 (2) 165 – 167, (2009)
- [19] Zakon o eksplozivnim tvarima, NN, br. 70/17, 141/20.
- (20) Pravilnik o sigurnosnim zahtjevima za pirotehnička sredstva te uvjetima za njihovu podjelu, NN, br. 178/04., 109/07., 67/08.
- [21] Pravilnik o sadržaju, izgledu i načinu vođenja upisnika o eksplozivnim tvarima, NN, br. 178/04., 109/07., 67/08.
- [22] Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari, NN, br. 178/04.
- [23] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za eksplozivne tvari, NN, br. 178/04.
- [24] Elaborat o skladištenju eksplozivnih tvari u skladištu eksplozivnih tvari JORGE Pirotehnika d.o.o., Križevci, (2013.).
- [25] Vlastiti izvor
- [26] Zakon o vatrogastvu, NN, 125/19.
- [27] DOK-ING: „*Emergency response robotic system*“. URL: <https://dok-ing.hr/products/mvf-5>, pristupljeno 30. 08. 2021.



## 10. PRILOZI

### 10.1. Popis simbola (korištenih kratica):

NN	Narodne novine
ADR	Sporazum o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari
ES	Eksplozivna sredstva
ET	Eksplozivne tvari
MES	Minsko-eksplozivna sredstva
DDNF	Dijazodinitrofenol
TNT	Trinitrotoluen
ANFO	Ammonium nitrate fuel oil (smjesa amonijevog nitrata i tekućeg goriva)
NATO	Organizacija Sjeveroatlantskog ugovora (Sjeveroatlantski savez)
PVC	Poli(vinil-klorid)
EU	Europska unija
ADN	Europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari unutarnjim plovnim putevima
COTIF	Konvencija o međunarodnom željezničkom prometu
RID	Pravilnik o međunarodnom prijevozu opasnih tvari željeznicom
CVPN	Centrifugalna vatrogasna pumpa

### 10.2. Popis slika:

Slika 1. Listice opasnosti za opasne tvari .....	4
Slika 2. Eksplozivna sredstva .....	4
Slika 3. Živin fulminat .....	8
Slika 4. Olovni azid .....	9
Slika 5. Olovo trinitrorezorcinat.....	9
Slika 6. Tetrazen .....	10
Slika 7. DDNF.....	10
Slika 8. Trotil ili TNT .....	12

Slika 9. Tetril.....	12
Slika 10. Heksogen .....	13
Slika 11. Pentrit .....	14
Slika 12. Oktogen .....	14
Slika 13. Crni barut.....	16
Slika 14. Podjela baruta .....	17
Slika 15. Kalijev perklorat u kristalnom obliku.....	23
Slika 16. Kalijev klorat .....	24
Slika 17. Kalijev nitrat .....	25
Slika 18. Reakcija barijevog nitrata u pirotehničkoj smjesi .....	26
Slika 19. Sumpor .....	27
Slika 20. Antimonov trisulfid .....	28
Slika 21. Dextrin .....	29
Slika 22. Listići Šelaka.....	30
Slika 23. Stroncijev karbonat .....	31
Slika 24. Deflagracija ili sagorijevanje .....	38
Slika 25. Eksplozija .....	39
Slika 26. Uža lokacija skladišta eksplozivnih tvari .....	50
Slika 27. Raspored prostorija za skladištenje eksplozivnih tvari.....	51
Slika 28. Skladištenje na policama – regalima .....	53
Slika 29. Ograda oko skladišta .....	55
Slika 30. Prozračivanje prostorije skladišta otvaranjem vrata.....	57
Slika 31. Položaj vatrogasnih aparata za početno gašenje požara .....	57
Slika 32. Simbol požarne skupine 1 .....	61
Slika 33. Simbol požarne skupine 2 .....	62
Slika 34. Simbol požarne skupine 3 .....	63
Slika 35. Simbol požarne skupine 4 .....	63
Slika 36. Osobna i skupna zaštitna oprema vatrogasaca.....	65
Slika 37. MVF-5 DOK-ING.....	67

### **10.3. Popis tablica:**

Tablica 1. Prikaz tvari koje se koriste za pirotehničke smjese i njihova namjena .....	32
Tablica 2. Zajedničko čuvanje različitih vrsta eksplozivnih tvari u istom skladištu .....	52
Tablica 3. Udaljenosti za skladištenje pirotehničkih sredstava .....	54
Tablica 4. Najmanje dopuštene udaljenosti za sklanjanje ljudstva .....	64