

# RAZVOJ I PRIMJENA EKSPLOZIVA

---

Žugaj, Ivica

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

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:128:930348>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



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

Repository / Repozitorij:

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

Ivica Žugaj

# **RAZVOJ I PRIMJENA EKSPLOZIVA**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

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

Ivica Žugaj

# **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF EXPLOSIVES**

MASTER THESIS

Karlovac, 2024.

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

Ivica Žugaj

# **RAZVOJ I PRIMJENA EKSPLOZIVA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:  
dr.sc. Jasna Halambek, v. pred.

Karlovac, 2024.



**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**

Stručni / specijalistički studij: Stručni diplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2024.

### **ZADATAK DIPLOMSKOG RADA**

Student: Ivica Žugaj

Matični broj: 0420422026

Opis zadatka:

Eksplozivi i eksplozivne tvari su nešto što je u našem životu prisutno htjeli mi to ili ne. Uostalom i ovaj naš planet nastao je zahvaljujući velikoj eksploziji, kao i sunčeva energija bez koje ne bismo mogli živjeti. Zato je cilj ovog rada prikazati nastanak i razvoj eksploziva i njihovu primjenu ne samo za razaranje i uništavanje ljudskih dobara i života, nego i dokazati njihovu korisnu ulogu u životu čovjeka. Eksplozivi i eksplozivne tvari imaju i svoju drugu, ljepšu, stranu. Čovjeku služe kao poseban izvor energije koji on iskorištava i upotrebljava u civilne, odnosno gospodarske i proizvodne djelatnosti, ali i u stvaralačke, odnosno umjetničke svrhe. Eksplozivi i eksplozivne tvari neizbježan su alat u životu i radu rudara, građevinara, ali i medicinara i umjetnika.

Zadatak zadan:

01/2024.

Rok predaje:

05/2024.

Predviđeni datum obrane:

06/2024.

Mentor:

dr.sc. Jasna Halambek v. pred.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., pred

## PREDGOVOR

Izradom ovog diplomskog rada iskazao bih zahvalnost svojoj mentorici dr.sc. Jasni Halambek na suradnji oko diplomskog rada i uloženog vremena, pročelnici odjela Lidiji Jakšić, mag.ing.cheming., pred., svojoj supruzi i sinu koji su mi bili najveća podrška i tolerirali moje studentske dane, svojim roditeljima koji su bili tu kad je trebalo, kumi i kumu koji su uskakali kao moja zamjena, svojim prijateljima i kolegama na poslu za razumijevanje u nekim trenucima rada. Također zahvaljujem svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu koji su me vodili kroz studij i pomagali te sam se osjećao kao član jedne velike obitelji, a najvažnije što su oplemenili moje znanje koje će, nadam se biti od pomoći, kako meni, tako i ljudima oko mene, što i je svrha studija.

Ivica Žugaj

## SAŽETAK

Na samom početku postanka svijeta započinje priča o eksplozivima i prirodnim eksplozijama. Na razvojnom putu svake civilizacije vatre i eksplozije postaju stalna pratnja, kako od onih najranijih kao što su grčka vatra i barut, tako i danas kada eksplozivi postaju nezamjenjivi izvor energije s različitom primjenom.

U radu su prikazane su vrste eksploziva i oblici eksplozija te njihova primjena u gospodarstvu, građevinarstvu, poljoprivredi, eksploataciji nafte i plina, automobilskoj industriji, medicini i umjetnosti. Navedeni su i načini sigurne primjene eksploziva te pravila proizvodnje i označavanja eksplozivnih tvari.

**Ključne riječi:** eksplozivi, eksplozije, gospodarski eksplozivi, prekursori eksploziva, primjena eksploziva

## SUMMARY

The story of explosives and natural explosions begins since the beginning of the world. Fires and explosions are phenomena that followed the development of civilizations from the earliest explosive substances, Greek fire and gunpowder, to today when explosives become an irreplaceable source of energy with different applications. The paper presents types of explosives and forms of explosions and their application in economy, construction, agriculture, oil and gas exploitation, automotive industry, medicine and art. The methods of safe use of explosives and the rules for the production and labeling of explosive substances are also listed.

**Key words:** explosives, explosions, economy explosives, explosive precursors, application of explosive.

# Sadržaj

<b>ZADATAK DIPLOMSKOG RADA</b> .....	I
<b>PREDGOVOR</b> .....	II
<b>SAŽETAK</b> .....	III
<b>SUMMARY</b> .....	III
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. Povijest i razvoj eksploziva</b> .....	3
<b>3. Eksplozija – pojam i oblici</b> .....	7
3.1. <i>Nuklearne eksplozije</i> .....	10
3.2. <i>Eksplozivne vulkanske erupcije</i> .....	12
3.3. <i>Eksplozije uzrokovane udarom meteorita u Zemlju</i> .....	13
3.4. <i>Svemirske eksplozije</i> .....	15
<b>4. Vrste eksploziva</b> .....	16
4.1. <i>Inicijalni eksplozivi</i> .....	18
4.2. <i>Brizantni eksplozivi</i> .....	19
4.3. <i>Pirotehničke smjese</i> .....	21
4.4. <i>Baruti</i> .....	22
<b>5. Značajke i djelovanje eksploziva</b> .....	23
<b>6. Gospodarski eksplozivi i neki aspekti njihove primjene</b> .....	25
6.1. <i>Razvoj gospodarskih eksploziva</i> .....	25
6.2. <i>Suvremeni gospodarski eksplozivi</i> .....	26
6.3. <i>Eksplozivi na bazi nitroglicerina</i> .....	27
6.4. <i>Eksplozivi na bazi amonijevog nitrata i TNT-a</i> .....	27
6.5. <i>Eksplozivi ANFO</i> .....	27
6.6. <i>Vodoplastični eksplozivi</i> .....	28
6.7. <i>Emulzijski eksplozivi</i> .....	28
6.8. <i>Eksplozivi za podzemno miniranje</i> .....	30
<b>7. Primjena eksploziva u gospodarstvu</b> .....	30
7.1. <i>Primjena eksploziva u rudarstvu</i> .....	30
7.2. <i>Primjena eksploziva u industriji nafte i plina</i> .....	33
7.3. <i>Primjena eksplozije u graditeljstvu</i> .....	33
7.4. <i>Primjena eksploziva u poljoprivredi</i> .....	34
7.5. <i>Primjena eksploziva u sintezi novih materijala</i> .....	35
7.6. <i>Istraživanje zemljine unutrašnjosti korištenjem eksplozije</i> .....	36
<b>8. Primjena eksplozija u borbi protiv elementarnih nepogoda i drugih izvanrednih situacija</b> 38	



8.1.	<i>Primjena eksplozija u borbi protiv vodene bujice</i> .....	38
8.2.	<i>Primjena eksplozija u borbi protiv snježnih lavina</i> .....	40
8.3.	<i>Primjena eksplozija u borbi protiv tuče</i> .....	41
8.4.	<i>Primjena eksplozivnih tvari u automatskom sustavu za zaštitu vozača automobila zračnim jastukom</i> .....	42
8.5.	<i>Primjena (mikro)eksplozija u medicini</i> .....	43
<b>9.</b>	<b>Prekursori eksploziva (eksplozivi kućne izrade): propisi i nadzor</b> .....	<b>43</b>
<b>10.</b>	<b>Sigurna primjena eksploziva</b> .....	<b>45</b>
<b>11.</b>	<b>Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari</b> .....	<b>48</b>
11.1.	<i>Označavanje gospodarskih eksploziva</i> .....	50
11.2.	<i>Označavanje sredstava za iniciranje eksplozivnih tvari</i> .....	51
11.3.	<i>Označavanje pirotehničkih sredstava</i> .....	51
11.5.	<i>Označavanje baruta</i> .....	53
11.6.	<i>Označavanje proizvoda punjenih eksplozivnim tvarima</i> .....	53
<b>12.</b>	<b>Pravilnik o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari</b> .....	<b>53</b>
<b>13.</b>	<b>Eksplozivi u umjetnosti</b> .....	<b>57</b>
<b>14.</b>	<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>59</b>
<b>15.</b>	<b>LITERATURA</b> .....	<b>60</b>
<b>16.</b>	<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>61</b>

# 1. UVOD

Ljudska civilizacija, znanost i tehnologija neprestano se razvija, a prirodni izvori energije i njihova upotreba još uvijek su nešto bez čega današnji čovjek ne može. Čovjek je biće koje uvijek teži novim spoznajama, voli istraživati svijet oko sebe, bilo da je on poznat ili nepoznat, te tako poboljšavati i tražiti neke nove resurse važne za život. Pojavljuju se nove civilizacije, a s njima se povećavala i potreba za hranom, rudama, različitim oblicima energije pa tako i sve veća iskoristivost prirodnih resursa. Ono što je uvijek bilo prisutno u razvoju svake civilizacije kao nezaobilazna pojava svakako su vatre i eksplozije. [1]

Prema teoriji „velikog praska“ eksplozije su zaslužne i za nastanak našega planeta, za sunčevu energiju, za život na Zemlji, iako ga još uvijek mijenjaju. Prirodne eksplozije, npr. vulkanske erupcije, često uzrokuju pogibiju i nesreću, a ne služe kao pomoć ljudima, stoga su često bile predmet istraživanja.

Iako pojmovi „eksplozivni“ i „eksplozije“ u nama bude osjećaj straha i podsjećaju nas na smrt i razaranje jer su bile, jesu i bit će dio ratnog mehanizma koji uništava sve pred sobom i sije smrt, isto tako mogu biti i velika pomoć čovjeku u obavljanju različitih djelatnosti. Sve to ovisi o tome tko njima raspolaže, koliko ih poznaje, kako ih upotrebljava i s kojom namjerom.

Eksplozivi su prošli dalek razvojni put i svrstani su, također, u nezaobilazne izvore energije koje koristimo u svim područjima u kojima djeluje ljudska ruka, bilo to vojno ili civilno područje. Upotreba eksploziva ili eksplozivnih tvari vrlo je raširena u ljudskom društvu. Možemo reći da je njihova primjena najzastupljenija pri miniranju u rudarstvu i građevinarstvu, a koriste se i u poljoprivredi, medicini, proizvodnji automobila, svemirskoj tehnologiji, strojarstvu i brodogradnji. Teško se može izbjeći i u eksploataciji nafte i plina, geološkim istraživanjima, pa čak i u nekim umjetnostima, npr. filmskoj. I vatromet je također jedan od primjera upotrebe eksploziva.

Kraj 19. i početak 20. stoljeća obilježen je pokušajima razumijevanja pretvorbe materijala pomoću detonacijskog i eksplozivnog procesa pa su tada date i neke osnovne postavke. No, uvijek se težilo pronaći materijal koji će biti jači i jeftiniji, ali i sigurniji kako bi se fizikalno kemijski procesi eksplozivnih materijala mogli što potpunije objasniti.

Mogli bismo reći da se ova neobična priča o eksplozivima, kao i prirodnim eksplozijama, krije još na samom početku postanka svijeta, odnosno u vremenu kada je čovjek prvi put zapalio vatru i postao njen gospodar. [1]

## 2. Povijest i razvoj eksploziva

Eksplozije - nešto što može promijeniti našu bližu i dalju okolinu, nešto što može promijeniti svijet, nešto što je u dalekoj prošlosti stvorilo i našu planetu Zemlju. Vjerojatno nema osobe koja se nije barem jednom u životu upitala jesu li eksplozije nešto dobro ili su zlo za čovječanstvo. Koliko će nam dobro pomagati u obavljanju brojnih djelatnosti, koliko će nam služiti kao izvor energije, a koliko će uništavati, ovisi o onome tko ili kako ih iskorištava. Zbog toga pojam eksplozije u nama često izaziva jednu dozu straha jer ne znamo kakve su namjere onoga tko njima raspolaže.

U davnoj prošlosti čovjek je neobjašnjive prirodne pojave pripisivao „natprirodnim silama“, „bogovima“, „magiji“ i sl. S vremenom je neke od njih i sam počeo oponašati, tj. umjetno stvarati.

Izum kemijskih eksplozivnih tvari vjerojatno je vezan za težnju čovjeka da i sam izazove pojave poput „vatre“ i „groma“, da njima upravlja i da ih upotrijebi za zastrašivanje neprijatelja, za zabavu ili kao „alat“ koji će mu pomoći u njegovim djelatnostima. Pojavi prvih eksplozivnih tvari prethodi pojava različitih zapaljivih smjesa, i to u predantičko doba. [2]

U ratovima na Mediteranu zapaljenim strelicama i komadima zapaljene smole borile su se zaraćene strane, uništavali protivnici jedni druge i zauzimali gradove i to još u davna vremena, čak 2000 godina prije Krista.

Tijekom godina u svojim laboratorijima alkemičari su tražili, razvijali i stvarali različite smjese koje bi imale što razorniji efekt pa tako i veću moć uništavanja neprijatelja i njegovih resursa. U sedmom stoljeću nastaje mješavina zvana „Grčka vatra“ koju je Bizantsko Carstvo primijenilo u obrani Konstantinopola od arapskih osvajača.

„Grčka vatra“ bila je mješavina organske tvari (smole) crnogoričnih biljaka, sumpora i tekućeg goriva, odnosno sirove nafte. Drvene površine brodova i utvrda prekrili bi ovom zapaljenom smjesom jer bi je bilo gotovo nemoguće ugasiti vodom. „Grčka vatra“ dovela je do promjene načina ratovanja u to doba, kao što je to u 20. stoljeću učinila strojnica ili automatska puška. [1]

Na slici 1. je prikaz pomorskog ratovanja „Grčkom vatrom“.



**Slika 1.** Grčka vatra u pomorskoj bitci.

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Gr%C4%8Dka\\_vatra](https://hr.wikipedia.org/wiki/Gr%C4%8Dka_vatra) (pristupljeno: 14. 5. 2024.)

Grčka vatra služila je Bizantskom Carstvu izuzetno dobro i dosta dugo. Carstvo je napredovalo nekoliko stoljeća i palo je 1453. godine kad je grčku vatru „nadvladao“ crni barut turskih osvajača. [2]

Barut je smjesa sumpora, drvenog ugljena i kalijevog nitrata (slika 2.). Ako želimo nešto saznati o samom pronalasku baruta, onda nailazimo na priču o njegovom slučajnom otkriću prilikom odvajanja zlata i srebra iz rude u kojoj ima i sumpora, a zlato i srebro su joj primjese. Kada je kineski alkemičar – metalurg u ovu rudu dodao kalijev nitrat, dogodila se eksplozija jer je zaboravio dodati drveni ugljen za povećanje temperature. Tako već prvi zapisi o barutu dolaze iz Kine u 9. st., a u 11. st. zapisana je i formula baruta. Najveća upotreba crnog baruta u Kini bila je u proizvodnji pirotehnike i oružja koja se na njoj baziraju.

Alkemičarska formula sastava baruta, kao i njegova razorna snaga, opisana je u djelima Rogera Beacons „Opus Maius“ i „De Mirabili Potestate Artis et Nature“ još davne 1242. godine.

Europa počinje upotrebljavati crni barut u vojne svrhe u 14. st. Za njemačkog se redovnika, alkemičara i magičara Bertholda Schwartz govori da je osmislio top, a neki su mu čak pripisivali i zasluge izuma baruta. [1]



**Slika 2.** Barut.

Izvor: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Barut>, (pristupljeno: 14. 5. 2024.)

U početku se u ratnoj tehnici barut koristio kako bi se iza neprijateljskih linija zapalila vatra raketama ili se pakirao u bačve i takav predstavljao prve bombe kojima su se uništavali neprijateljski vojnici. Strelice koje su letjele koristeći snagu baruta bijahu također poznato kinesko oružje, a mogle su na velikoj udaljenosti probiti oklope i štitove. Bili su to primjeri prvih projektila ili raketa s barutnim raketnim motorom (slika 3.).

Tada se shvatilo da se barut može koristiti za izbacivanje kugli ili drugih tijela ako se zapali u dovoljno kontroliranom i čvrsto zatvorenom prostoru s otvorom. No, ni to nije prošlo bez problema. Često bi topovi bili nedovoljno čvrsti ili prepunjeni pa bi došlo do eksplozije, a prilikom transporta na velike udaljenosti, dolazilo bi do odvajanja komponenti baruta pa ga je trebalo miješati na samome odredištu. [1]



**Slika 3.** Prvi projektili

Izvor: <https://hrvatski-vojniki.hr/prah-koji-je-promijenio-rat/>, (pristupljeno: 21. 5. 2024.)

1847. godine Talijan Ascanio Sobrero sintetizirao je nitroglicerin, djelujući na glicerin smjesom koncentrirane dušične i sumporne kiseline. Osim što će postati osnovnom komponentom eksploziva poznatih pod nazivom dinamiti, nitroglicerin će naći primjenu i u medicini – za liječenje srčanih tegoba poznatih pod nazivom *angina pectoris*. [2]

Zasluge za „stavljanje nitroglicerina pod kontrolu“ pripadaju dvojici Šveđana, Immanuelu Nobelu i njegovom sinu Alfredu. Prvi Nobelov veliki izum je *detonator*, 1863. godine, nakon toga slijedi *dinamit* 1867. godine, *razorna želatina* 1875. godine, *baruti tipa balistit* 1888. godine itd. Do kraja života imao je registrirana 123 patenta u Engleskoj i preko 300 diljem svijeta. 1865. godine počela je s radom Nobelova tvornica nitroglicerina u Vintervikenu i nastavila s radom narednih 50-ak godina. Ona je ujedno označila početak Nobelova poslovnog uspjeha. 1846. godine njemački kemičar Cristian Friedrich Schonbein sintetizirao je nitrocelulozu koja je brzo zamijenila crni barut kao punjenje razornih vojnih mina. [2]

1863. godine Nijemac Willbrand sintetizirao je *trinitrotoluen* (TNT), a kasnijim istraživanjima dolazi i do otkrića *pentrita*, *heksogena*, *oktogena* i dr.

Traganje za što snažnijim i što sigurnijim eksplozivima i dan danas je intenzivno. Istraživanja u drugoj polovici 20. stoljeća mogla bi se, s obzirom na ciljeve, svrstati u tri skupine:

- sinteza eksploziva otpornih na visoke temperature (tzv. termostabilnih eksploziva)
- sinteza eksploziva otpornih na iniciranje (tzv. malo osjetljivih eksploziva)
- sinteza eksploziva velike detonacijske brzine

Razvoj termostabilnih eksploziva na neki je način vezan za istraživanja u svemiru, premda potreba za eksplozivima otpornim na visoke temperature postoji i u drugim područjima njihove primjene – npr. za izradu kumulativnih naboja za perforiranje naftnih bušotina na velikim dubinama, za punjenje bojnih glava raketa na supersoničnim zrakoplovima itd.

Oduvijek je pri razvoju streljiva i naoružanja intencija bila razviti takvo streljivo koje će nanijeti što veće gubitke neprijatelju. U drugoj polovici 20. st. vojske zapadnih zemalja prioritet počinju pridavati otpornosti vlastitog streljiva, odnosno borbenih sustava u cjelini (tenkova, ratnih brodova) na toplinu, udar, prostrel zrnom ili krhotinom granate, jednom riječju na inicijaciju. Vezano uz to nastao je pojam „*neosjetljivo streljivo*“.

Brojni istraživački instituti diljem svijeta ulažu velike napore u sintetiziranje eksploziva koji će imati veliku detonacijsku brzinu. Sasvim je realno očekivati da bi prva polovica 21. st. mogla biti obilježena bar poluindustrijskom proizvodnjom nekog eksploziva koji će imati detonacijsku brzinu iznad 10000 m/s. [2]

### 3. Eksplozija – pojam i oblici

Pojam „eksplozija“ dolazi od latinske riječi *explodere* što znači raspasti se, a većinu ljudi asocira na snažni prasak, plamen, oblake crnog dima, razlijetanje krhotina odbačene sredine itd.



**Slika 4.** Vanjska obilježja eksplozije [2].

U najopćenitijem smislu eksplozija se definira kao proces vrlo brze fizičke, kemijske ili nuklearne pretvorbe sustava uz prijelaz njegove potencijalne energije u mehanički rad. Rad koji izvrši eksplozija rezultat je naglog širenja plinova ili para. Najvažnije obilježje eksplozije jest nagli skok tlaka u sredini koja neposredno okružuje mjesto eksplozije. [2]

Vanjska obilježja eksplozije prikazana su na slici 4. dok je shematski prikaz eksplozije prikazan na slici 5.



**Slika 5.** Shematski prikaz eksplozije [2].



Kazalo:

*A* - inicijalni impuls (udar, plamen, toplina, trenje),

*B* - neporemećena eksplozivna tvar ( $T \gg 20$  °C,  $\nu \gg 0,2-1,5$  kg/dm<sup>3</sup>,  $p \gg 1$  bar),

*C* - kemijski proces pretvorbe,

*D* - plinoviti produkti,

*E* - neporemećena eksplozivna tvar,

*F* - ekspanzija plinovitih produkata,

*G* - plinoviti produkti u ekspanziji ( $T \gg 2000-5000$  °K,  $\nu \gg 1000$  kg/dm<sup>3</sup>,  $p \gg 10^5$  bar,  $Q \gg 3,5-7,5$  kJ/g).

Eksplozije mogu biti uzrokovane fizičkim promjenama, kemijskim i nuklearnim reakcijama pa se s obzirom na to dijele na: *fizičke, kemijske i nuklearne eksplozije*. Kod kemijskih eksplozija velikom brzinom se oslobađa toplinska energija koja dovodi do jakog zagrijavanja plinovitih produkata koji imaju eksplozivni karakter. Takve se reakcije mogu odvijati u dva oblika: *sagorijevanjem i detonacijom*.

Eksplozije koje nastanu kao rezultat električnog pražnjenja ili pri impulsnom protoku struje velike jakosti i kroz električne vodiče nazivaju se elektroeksplozijama. Na njihovim temeljima razvijeno je i samostalno područje tehnologije – tzv. *elektroimpulsna tehnologija*. Koristi se pri dobivanju skupocjenih minerala, ali i u medicini, npr. za razbijanje bubrežnih kamenaca.

U prirodi su također česte električne eksplozije. Najbolji primjer za to je munja. Munja se definira kao gigantsko električno pražnjenje u atmosferi, praćeno jakim svjetlosnim bljeskom i grmljavinom (slika 6.). Munje znaju biti i korisne jer godišnje proizvedu oko 100 milijuna tona dušikovih spojeva koji onda s kišom dospijevaju u tlo i tako prirodnim putem održavaju plodnost zemljišta. [2]



**Slika 6.** Munja – električno pražnjenje u atmosferi

Izvor: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR5ewLRIwnRvf-p5DWyo6KuGXJoOJ6lWMd7GHsBs6mZZCFh0ooA64NTRYddV1-LH9q4HDg&usqp=CAU> (pristupljeno: 22. 5. 2024.)

Nuklearne eksplozije temelje se na pretvorbi atomskih jezgara jednih elemenata u jezgre drugih elemenata. Postoje dva oblika nuklearnih reakcija:

- a) *reakcija cijepanja ili fisija* → dolazi do raspada jezgara težih elemenata i stvaranja lakših elemenata
- b) *reakcija sinteze ili fuzije* → dolazi do spajanja jezgara lakih elemenata i nastajanja težih elemenata

Te se reakcije nazivaju i termonuklearnim jer je za njihovo odvijanje potrebna vrlo visoka temperatura.

Do pojave eksplozija dolazi i pri sudaru čvrstog tijela koje se kreće velikom brzinom (nekoliko km/s) i čvrste prepreke, npr. pri udaru krupnog meteorita u Zemlju. Većina potresa primjer su eksplozija kojima je uzrok energija elastičnog sabijanja. Zbog pomicanja krupnih masiva zemljine kore, u pojedinim dijelovima Zemlje može doći do pojave velikih naprezanja. U tim se dijelovima nakuplja ogromna količina energije koja se onda oslobađa tijekom potresa. [2]

Novija astronomska promatranja potvrdila su da eksplozije nisu rijetka pojava ni u svemiru. Primjeri takvih eksplozija jesu eksplozije na Suncu, nastajanje novih zvijezda, kao i eksplozije u središtima galaktika. Eksplozije su raširena pojava u prirodi, ali i u čovjekovim brojnim djelatnostima. Sposobnost čovjeka da ovlada novim izvorima energije, da koncentrira tu energiju uvelike uvjetuje i ukupni razvoj čovječanstva.

Laseri, snažni akceleratori elementarnih čestica, kontrolirane nuklearne reakcije itd. primjeri su procesa u kojima se događaju pojave bliske eksplozivnim.

Moguće izvore eksplozija treba upotpuniti i eksplozijama eksplozivno opasnih tvari u proizvodnoj djelatnosti ljudi, npr. eksplozija smjese metana i zraka u rudarskim jamama. Eksplozivno opasne tvari susreću se i u kemijskoj industriji, npr. pri crpljenju, transportu i preradi plina i naftnih produkata. Opasne su i proizvodne operacije pri kojima može doći do akumuliranja statičnog elektriciteta. [2]

### ***3.1. Nuklearne eksplozije***

Otkriće reakcije cijepanja (raspada) atomskih jezgara i upoznavanje njihova mehanizma spada u najveća znanstvena dostignuća prve polovice 20. stoljeća. U povijesti čovječanstva ostat će zabilježeno da je nuklearna energija prvi put upotrijebljena protiv čovjeka – za ubijanje tisuća ljudi atomskim bombama bačenim pri kraju 2. svjetskog rata na japanske gradove Hirošimu (slika 7.) i Nagasaki. [2]



**Slika 7.** Hirošima nakon eksplozije atomske bombe.

Izvor: [https://i2.wp.com/cdn.trinixy.ru/pics2/20070806/hn\\_08.jpg](https://i2.wp.com/cdn.trinixy.ru/pics2/20070806/hn_08.jpg) (pristupljeno: 22. 5. 2024.)

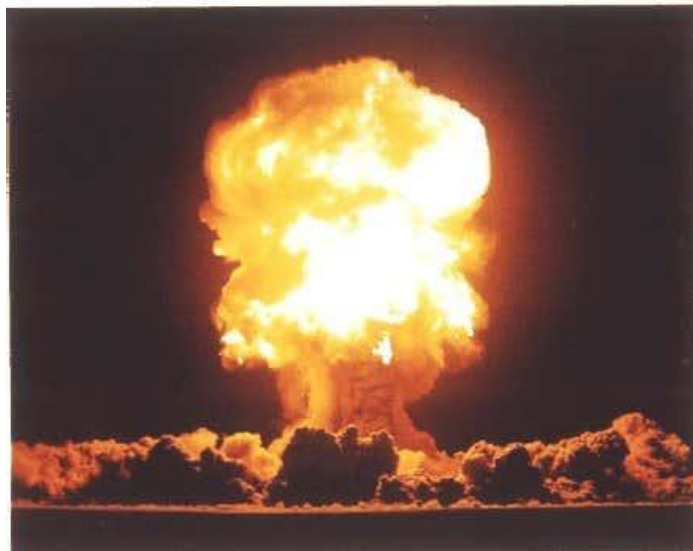
Mnogi od znanstvenika koji su sudjelovali u stvaranju prve atomske bombe, i nuklearne energije općenito, počeli su nakon Hirošime i Nagasakija preispitivati vlastitu odgovornost, ne samo za posljedice prvih bombi, nego i za budućnost čovječanstva.

Vodile su se žestoke rasprave između političara, znanstvenika i vojnih krugova čiji rezultat je bio uspostavljanje civilnog nadzora nad atomskim gorivom posredstvom tijela Atomic Energy Commission, utemeljenog 1946. godine.

Mirnodopska primjena nuklearne energije počinje 1953. i 1954. godine s prvim nuklearnim elektranama u SAD-u i Sovjetskom Savezu. Osim u nuklearnim elektranama, nuklearna energije primjenjuje se i u medicini i prehrambenoj industriji. [2]

Kao što je već ranije spomenuto, nuklearne se reakcije mogu odvijati na dva načina: cijepanjem atomskih jezgara nekih težih elemenata (fisijom) i spajanjem atomskih jezgara lakih elemenata (fuzijom). Karakteristika je lančanih reakcija cijepanja atomskih jezgara da pri njima dolazi do oslobađanja velike količine energije. Odvijaju se strahovito brzo, a do eksplozivnog odvijanja dolazi samo ako je masa nuklearnog goriva veća od neke „kritične“ mase. U nuklearnom reaktoru proces fisije odvija se kontrolirano dok se u atomskoj bombi proces fisije odvija eksplozivno (nekontrolirano). Na slici 8. prikazana su vanjska obilježja nuklearne eksplozije.

Temperatura pri eksploziji atomske bombe iznosi oko 10 milijuna stupnjeva Celzijusa i ne razlikuje se mnogo od temperature u unutrašnjosti Sunca. [2]



**Slika 8.** Vanjska obilježja nuklearne eksplozije [2].

Za iniciranje i odvijanje reakcije fuzije nužna je ogromna temperatura – reda veličine stotina milijuna stupnjeva Celzijusa pa se zbog toga reakcije spajanja atomskih jezgara i nazivaju *termonuklearne reakcije*.

Danas vjerojatno postoji više zemalja koje imaju nužne tehničke preduvjete za upuštanje u razvoj nuklearnog naoružanja. Zbog toga većina ljudi povezuje termonuklearne reakcije s termonuklearnim bombama, tzv. vodikovim bombama, iako postoje napori da se

termonuklearne reakcije stave pod nadzor i odvijaju kontrolirano. Ako bi to uspjelo, dobio bi se neviđeni izvor energije jer su potrebe čovječanstva za energijom sve veće i veće.

Prirodni resursi za termonuklearne reakcije praktički su neiscrpnj jer se gorivo za te reakcije, deuterij, nalazi u vodama mora i oceana. Osim toga, termonuklearne reakcije imaju i prednost jer pri njima ne nastaje za biosferu štetni nuklearni otpad. Dok najbolji umovi čovječanstva već desetljećima pokušavaju ovladati termonuklearnim reakcijama i izraditi termonuklearni reaktor, takva „tvornica“ u prirodi postoji već milijardama godina. To je Sunce – taj gigantski termonuklearni reaktor. Danas o Suncu znamo mnogo, ali ono još uvijek krije neke tajne, a jedna od njih su i eksplozije na njegovoj površini. [2]

### 3.2. *Eksplozivne vulkanske erupcije*

Eksplozivne vulkanske erupcije zastrašujuća su geološka pojava (slika 9.). U pojedinim fazama razvoja Zemlje vulkanska je aktivnost bila intenzivnija nego danas, ostavljajući svoj neizbrisivi trag na formiranje današnjeg oblika zemljine površine. Erupcije vulkana uzrokuje magma, usijana viskozna talina čvrstih minerala koja se iz unutrašnjosti Zemlje podiže prema površini. [2]

Ako u zemljinoj kori postoje pukotine, doći će do mirne erupcije, a ako je izlaz magme otežan, dolazi do stvaranja mjehurića vodene pare i plina što dovodi do eksplozivne vulkanske erupcije – probijanja površinskog sloja zemljine kore i izbacivanja tekuće magme i komada lave.



**Slika 9.** Eksplozivna erupcija vulkana.

Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/65684> (pristupljeno: 21. 5. 2024.)

Najveća zabilježena eksplozivna vulkanska erupcija u 19. st. jest erupcija vulkana Krakatau, 1883. godine. Ogromni morski valovi, cunami, izazvani eksplozijom, obišli su cijelu Zemlju, a eksplozija se čula do 4600 km udaljenog Madagaskara. Erupcija je razorila skoro cijeli otok, a 1927. godine djelovanjem slabijih erupcija stvoren je novi, mali, otok poznat pod nazivom Anak Krakatau (Dijete Krakataua) prikazan na slici 10.



**Slika 10.** Anak Krakatau – ostatak od nekadašnjeg otoka Krakatau [2].

Vulkanske erupcije, odnosno ogromne količine vulkanskog pepela koje se pri erupcijama izbace u atmosferu, neki autori navode kao mogući uzrok klimatskih promjena na Zemlji.

Skupina američkih autora, istražujući vulkansku prašinu nataloženu na morskom dnu, ustanovila je da se periodi krupnih i naglih klimatskih promjena u posljednja dva milijuna godina podudaraju s aktivnostima vulkana. Sumarno, ta dva procesa dovode do sniženja temperature zemljine površine – tj. njena hlađenja. [2]

### ***3.3. Eksplozije uzrokovane udarom meteorita u Zemlju***

Meteoriti, ti danas najstariji i najprimitivniji ostaci planetne tvari, oduvijek su padali na Zemlju. Većina njih nije velika tako da pri ulasku u zemljinu atmosferu sagorijevaju. Sudar krupnijih meteorita i Zemlje najčešće ima obilježja strahovite eksplozije koja ostavlja svoj vječiti trag na zemljinoj površini u vidu ogromnih kratera. [2]

Na slici 11. prikazana je kompjuterska simulacija udara meteorita u Zemlju.



**Slika 11.** Kompjuterska simulacija udara meteorita u Zemlju [2].

Zemlja je dosada u više navrata bila izložena takvom obliku „kozmičkih bombardiranja“. Vjerojatno je najkrupniji meteorit koji je pao na Zemlju bio onaj koji je stvorio Popigajsku kotlinu u dolini rijeke Popigaj na sjeveru Sibirske visoravni prije 30 milijuna godina. U području sjeverne Arizone (SAD) postoji krater (tzv. Canyon Diablo ili Barringerov krater), dubine 170 m i promjera 1,2 km, za koji se vjeruje da je nastao udarom meteorita u Zemlju. Danas je u njegovu području uređen i muzej.

Njemački fizičar O. Muk smatra da je do nestanka Atlantide došlo zbog pada velikog meteorita negdje u jugozapadnom području Atlanskog oceana, 8498. g. pr. Krista. Eksplozija je razorila morsko dno izazvavši njegovo pomicanje. Tako je morska pučina progutala legendarnu Atlantidu. [2]

Najveća kozmička katastrofa u 20. st. svakako je ona vezana za tunguski meteorit (poznata i kao Sibirska eksplozija). Sibirska je eksplozija predmetom brojnih istraživanja i brojnih znanstvenih radova. Lansirane su mnoge verzije mogućeg uzroka eksplozije, među njima i neke posve nevjerovatne, npr. da je eksplozija uzrokovana ulaskom u Zemljinu atmosferu komada antitijela, kozmičkog broda upućenog s nekog drugog planeta itd.

Očito je da se u slučaju sibirske eksplozije meteorit raspao na vrlo sitne čestice, veličine čestica prašine. Zbog toga na površini Zemlje nema niti kratera niti krupnijih dijelova meteorita.

Danas vlada mišljenje da se jednom u tisuću godina Zemlja može sudariti s krupnim svemirskim tijelom. Vjerojatnost da se takvo što dogodi za trajanja naših života iznosi 1:10000. Postojeći krateri na Zemlji, nastali padom meteorita, samo upozoravaju na to kakve bi katastrofalne posljedice po Zemlju i njene stanovnike mogao imati takav sudar. [2]

### 3.4. Svemirske eksplozije

Golemo prostranstvo koje obuhvaća sve što nas okružuje naziva se svemir. Svemir nije oduvijek bio ovakav kakav je danas. U početku u njemu nije bilo ni galaksija ni zvijezda, a materija se nalazila u strahovito gustom i užarenom stanju. Prije 20-ak milijardi godina došlo je do eksplozije te materije i do stvaranja metagalaksije. Ta se teorija o nastanku galaksija naziva teorijom „velikog praska“ (tzv. Bing Bang teorija).

Eksplozivni procesi u svemiru nisu time prestali. U svemiru se neprestano rađaju nove i umiru stare zvijezde. Energetski najjača eksplozivna pojava u svemiru naziva se *supernova* – *eksplozija zvijezde*. Ona se događa pri kraju života nekih divovskih zvijezda kada se njihovo nuklearno gorivo potroši i termonuklearne reakcije počinju gasiti. U strahovitoj eksploziji zvijezda se raspada, a udarni val odbacuje njen omotač u međuzvjezdani prostor.

Mišljenje je nekih znanstvenika da, zbog toga što povećavaju razinu zračenja u atmosferi, supernove mogu utjecati na klimu našega planeta i život na njemu. Prema nekim hipotezama nagli porast zračenja, uzrokovan supernovom, mogao je biti uzrokom iznenadnog nestanka dinosaura –ogromnih gmazova koji su obitavali na Zemlji u eri mezozoika. [2]

Prema suvremenoj astrofizici svemirske eksplozije imaju najvažniju ulogu u evoluciji svemira i život svemira čine usporedivim sa svojevršnim „svemirskim vatrometom“.



**Slika 12.** Naša galaksija – Mliječna staza [2].



## 4. Vrste eksploziva

Eksplozivi ili eksplozivne tvari su kemijski spojevi ili smjese koje pod utjecajem vanjskog impulsa u obliku udara, trenja, topline, električne iskre isl. podliježu brzom kemijskoj pretvorbi (razgradnji i/ili samooksidaciji) uz trenutno oslobađanje velike količine energije u obliku topline i vrućih plinovitih produkata. Produkti eksplozije ne moraju biti samo smjesa plinova, mogu biti smjesa plinova i krutina ili samo krutine. [3]

Osnovne značajke eksplozivnih tvari su sljedeće:

- potencijalna energija koja se temelji na kemijskoj strukturi eksplozivnih tvari
- brzo razlaganje prikladnim iniciranjem
- stvaranje plinovitih produkata s istovremenim oslobađanjem energije

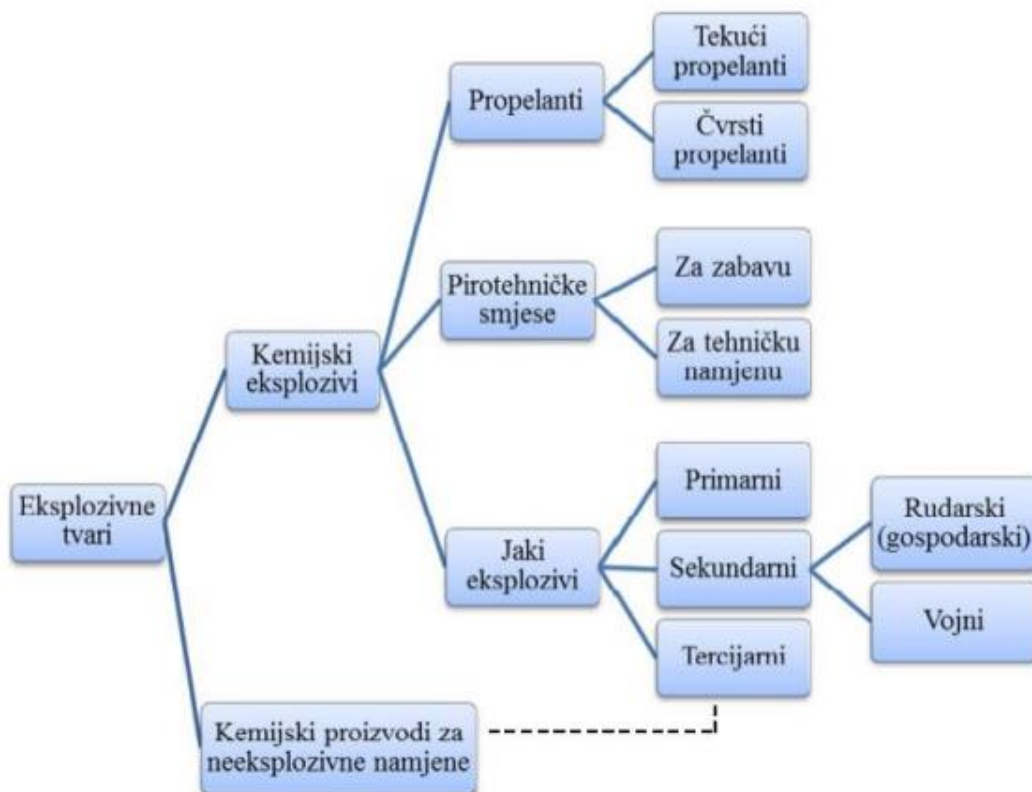
Prema Zakonu o eksplozivnim tvarima (NN 178/04, NN 109/07, NN 67/08, NN 144/10) eksplozivnim tvarima se smatraju:

- gospodarski eksplozivi
- sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari
- pirotehnička sredstva
- streljivo
- baruti
- proizvodi punjeni eksplozivnim tvarima
- sirovine eksplozivnih svojstava koje služe za proizvodnju eksplozivnih tvari [3]

Postoji potreba za racionalnom klasifikacijom eksploziva jer je danas u svijetu poznat velik broj eksploziva koji se razlikuju po sastavu, fizičko-kemijskim i eksplozivnim svojstvima.

Stoga različit broj autora predlaže različitu podjelu eksplozivnih tvari s obzirom na velik broj karakteristika koje posjeduju eksplozivne tvari i po kojima se razlikuju.

Na slici 13. je prikazana opća podjela eksplozivnih tvari.



**Slika 13.** Opća podjela eksplozivnih stvari [14]

Prema kemijskom sastavu eksplozivi se dijele na *čiste kemijske spojeve* ili *mehaničke smjese kemijskih spojeva*. [4]

Prema fizikalnim svojstvima i agregatnom stanju eksplozivi mogu biti:

- u čvrstom stanju
- smjese čvrstih i tekućih spojeva
- tekuće eksplozivne smjese
- eksplozivne smjese u plinovitom stanju
- eksplozivne smjese čvrstih i tekućih spojeva s plinovima [4]

Prema osjetljivosti, načinu uporabe i namjeni eksplozivi su podijeljeni na:

- *inicijalne eksplozive* – osjetljivi na impulse aktivacije, koriste se za iniciranje brizantnih eksploziva, kao punjenja rudarskih kapica i električnih detonatora (živin fulminat, olovni azid...)

- *brizantne eksplozive* – manje osjetljivi na udar i trenje od inicijalnih eksploziva koji su ujedno i potrebni za postizanje detonacije, vrlo su velike razorne snage (nitroglicerina, heksogen, pentrit...)

- *rudarske eksplozive* – gospodarski eksplozivi, moraju biti stabilni, sigurni za rukovanje i transport (ANFO, plastični, vodoplastični eksplozivi...)

- *specijalne eksplozive* – eksplozivi namijenjeni za miniranja u specijalnim uvjetima (metanski eksplozivi, nuklearni eksplozivi...) [5]

- *pirotehničke smjese* – odlikuju se sagorijevanjem, razvijanje svjetlosti, dimnih plinova, zvučni efekti (osvjetljavajuće, signalne, fotoosvjetljavajuće, traserne, dimne...) [2]

- *barute*

#### **4.1. Inicijalni eksplozivi**

Inicijalni ili primarni eksplozivi koriste se za iniciranje detonacije drugih eksploziva, tj. davanja početnog impulsa putem paljenja ili detonacije. U tu svrhu koriste se čisti ili u smjesi.

Karakteristična svojstva inicijalnih eksploziva su:

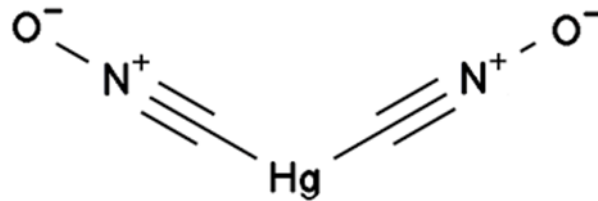
- iznimno su osjetljivi na vanjske impulse u obliku topline, udara, trenja itd.
- maksimalna brzina detonacije razvija se u vrlo kratkom vremenu, gotovo trenutno [3]

Upotrebljavaju se u kapsulama svih vrsta, što je vrlo praktično, a neki za proizvodnju detonirajućih štapina.

Jedna od njihovih značajki je i velika brzina raspadanja, a ona im daje veću sposobnost iniciranja od bilo kojih drugih eksploziva. Za razliku od brizantnih eksploziva, njihov volumen plinovitih produkata detonacije, toplina i temperatura eksplozije puno su manji (izuzetak je živin fulminat). [4]

Zbog osjetljivosti na plamen, udar i temperaturu, upotrebljavaju se i za izradu udarnih, detonatorskih i električnih kapsula.

U inicijalne eksplozive spadaju živin fulminat (slika 14.), olovo azid, olovo trinitirezorcinat i tetrazen (slika 15.). [4]



**Slika 14.** Strukturna formula živinog fulminata.

Izvor: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR9kJQfBAvEMqCOFZ3wlc1\\_tEmC6f-1g7UIvrtAVjC6EQ&s](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR9kJQfBAvEMqCOFZ3wlc1_tEmC6f-1g7UIvrtAVjC6EQ&s) (pristupljeno: 22. 5. 2024.)



**Slika 15.** Tetrazen.

Izvor:

<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRxLyvvOKJmkGTOh0Lh07AtNKjR6uBVL7qXMbo7sFczdA&s> (pristupljeno: 22. 5. 2024.)

#### **4.2. Brizantni eksplozivi**

Brizantni ili sekundarni eksplozivi sigurniji su za rukovanje prema stajalištu o rukovanju eksplozivnim tvarima jer trebaju veću energiju za iniciranje. Za njihovo iniciranje u praksi se upotrebljavaju inicijalna sredstva koja sadrže primarne eksplozive.

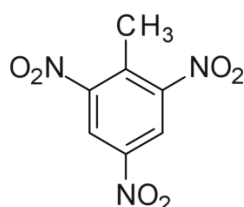
Njihova podjela ovisi o području u kojemu se koriste pa se stoga mogu podijeliti na:

- *rudarske ili gospodarske eksplozive*
- *vojne eksplozive.*

S obzirom na kemijski sastav eksplozivi se mogu podijeliti na:

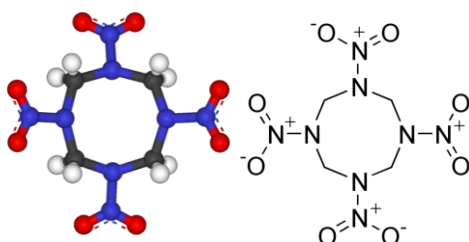
- *monomolekularne eksplozive*
- *eksplozivne smjese* [3]

Danas postoji velik broj različitih vrsta brizantnih eksploziva, ali samo neke vrste našle su svoje mjesto u naoružanju jer većina njih ne ispunjava osnovne uvjete koje moraju spunjavati vojni eksplozivi. Nitrospojevi aromatičnog reda, poput trotila (slika 16.), pikrinske kiseline i tetrila, osnovna su skupina brizantnih eksploziva koji se primjenjuju u naoružanju. Iz skupine nitramina naročit značaj ima heksogen. Oktogen je bijeli kristalni prah, netopiv u vodi, a koristi se za izradu plastičnih eksploziva. [4]



**Slika 16.** Trotil (trinitrotoluen).

Izvor: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Trinitrotoluen>, (pristupljeno: 15. 5. 2024.)



**Slika 17.** Oktogen.

Izvor: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Oktogen> (pristupljeno: 15. 5. 2024.)

### 4.3. *Pirotehničke smjese*

Pirotehničke smjese posebna su skupina eksplozivnih tvari koje se, poput baruta, odlikuju sagorijevanjem kao osnovnim vidom kemijske pretvorbe u konačne produkte. Sagorijevanjem pirotehničke smjese može se stvarati žar, plamen i svjetlo, može se proizvoditi obojeni dim, raspršivati u atmosferu toksične i druge stvari, mogu se stvarati zvučni efekti (prasak) itd.

S obzirom na to pirotehničke se smjese dijele u nekoliko skupina: *osvjetljavajuće, signalne, fotoosvjetljavajuće, traserne, dimne itd.*

S obzirom na kemijski sastav pirotehničke su smjese mješavina gorive komponente (magnezij, aluminij, bor...), oksidansa (nitrati, klorati...), vezivne komponente (prirodne smole, sintetske smole...) i aditiva (npr. za stvaranje boje...). [2]

Prema namjeni mogu se podijeliti na:

- pirotehničke smjese za tehničku namjenu
- pirotehničke smjese za zabavu [3].

#### 4.4. Baruti

Baruti se odlikuju sagorijevanjem kao osnovnim vidom kemijske pretvorbe u plinovite produkte.

S obzirom na kemijski sastav postoje dvije skupine baruta:

- a) baruti na bazi nitroceluloze, nitroglicerina, nitroguanidina, stabilizatora i drugih aditiva (tzv. homogeni baruti)
- b) baruti na bazi oksidansa, goriva i veziva (tzv. kompozitni baruti) [2].

Prvi barut je crni barut prikazan na slici 18. Krajem 14. st. počinje njegova primjena kao naboja za izbacivanje projektila iz cijevi oružja, a i on ostaje jedini poznati barut sve do polovice 19. st. [4]

Baruti se koriste kao pogonski naboji za raketne motore, izbacni (barutni) naboji kod streljiva i sl. [2]



**Slika 18.** Barut.

Izvor: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Barut> (pristupljeno: 14. 5. 2024.)

## 5. Značajke i djelovanje eksploziva

Eksplozivi 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.

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

- a) *gorenjem* (za razlaganje služi kisik iz eksploziva) ili
- b) *deflagracijom* (mala brzina razlaganja eksploziva od sloja do sloja prenošenjem topline) ili
- c) *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 širenja eksplozije kroz eksploziv; u *m/sec*), 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 pinova, specifični tlak, temperatura eksplozije, gustoća eksploziva, bilanca kisika, osjetljivost (na udar, trenje, iniciranje, toplinsko djelovanje itd.) te otpornost na vodu, na mraz i sl. [6]

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.

Toplina eksplozije najvažnija je fizikalno-kemijska značajka u svih eksploziva. Osim topline eksplozije, ostale važnije značajke eksploziva su: brzina eksplozije, gustoća i snaga eksploziva, osjetljivost na udar, količina kisika i dr.

*Deflagracija* 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 one ovisi o vanjskim čimbenicima (tlak, temperatura i dr.). [6]

*Detonacija* 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.

Brzina detonacijskog vala (detonacijska brzina) za danu eksplozivnu tvar ne ovisi o vanjskim čimbenicima, ali ovisi o gustoći punjenja, jakosti inicijalnog paljenja eksplozivne tvari i kritičnom promjeru eksplozivnog punjenja. 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 deflagracija može prijeći naglo u detonaciju, ali i obrnuto (pod nepovoljnim uvjetima).

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 učinka eksplozije kao cjeline, ali intenzitet deformacije i drobljenja postignutih eksplozijom u neposrednoj blizini eksploziva (brizantno djelovanje eksploziva) uglavnom ovisi o koncentraciji energije na čelu detonacijskog vala. [6]

## 6. Gospodarski eksplozivi i neki aspekti njihove primjene

Gospodarski eksplozivi upotrebljavaju se u izgradnji pruga i putova, za miniranja u kamenolomima i rudnicima, za rušenje zgrada, kao i za istraživanja u seizmologiji, zavarivanju metala i sl.. Sastoje se od oksidansa, reducensa, senzibilizatora i inertnih komponenti, zbog čega imaju heterogenu strukturu. [7]

Prema američkim DoT standardima, a s obzirom na osjetljivost, gospodarski se eksplozivi danas dijele na dvije grupe: *pravi eksplozivi* i *sredstva za rušenje*.

O sastavu samog eksploziva ovisi kojoj će grupi neki gospodarski eksploziv pripadati. U grupu sredstava za rušenje pripadaju oni gospodarski eksplozivi koji u sebi ne sadrže nijednu komponentu koja se svrstava u čisti eksploziv, a ako sadrže, onda se svrstavaju u pravi eksploziv.

Sredstva za rušenje izuzetno su sigurna za skladištenje, transport i rukovanje, a sve to zbog male osjetljivosti na inicijaciju pa iz toga razloga i ne podliježu strogim pravilima koja vrijede za prave eksplozive. Suvremeni gospodarski eksplozivi prilagođeni su za mehaničko direktno punjenje bušotina (pumpanjem), a stabilniji su i otporniji na vlagu u odnosu na tradicionalne. [7]

### 6.1. *Razvoj gospodarskih eksploziva*

Početak 17. st. prvi put je primijenjena energija eksplozije za miniranje. Poznato je da je 1627. godine Slovak Caspar Weindl prvi put službeno primijenio crni barut za podzemno miniranje.

Tako crni barut ostaje jedino sredstvo za miniranje sve do polovice 19. stoljeća. Otkriće dinamita 1865. godine za koje je zaslužan Šveđanin Alfred Nobel, donosi revoluciju u razvoju i primjeni eksplozivnih tvari i u vojne i u civilne svrhe. Dinamit se brzo širio i osvajao svijet jer je vađenje rude i ugljena, izgradnja putova i željezničkih pruga, kao i probijanje tunela, postalo brže i ekonomičnije. I danas su eksplozivi, koji kao senzibilizator koriste nitroglicerina, poznati kao dinamiti. Oni predstavljaju prvu generaciju gospodarskih eksploziva. [7]

1867. godine u Švedskoj je patentiran i u praksi primijenjen eksploziv za rušenje na bazi amonijevog nitrata (bez nitroglicerina), koji je kasnije bio osnova, kako za proizvodnju

gospodarskih eksploziva sa ili bez eksplozivnih komponenti, tako i za izradu različitih eksplozivnih smjesa za vojne potrebe, najčešće s trinitrotoluenom (amatoli).

Sastavi u kojima se kao senzibilizator primjenjuje neki od brizantnih eksploziva (TNT, metilamin nitrat i drugi) pripadaju drugoj generaciji gospodarskih eksploziva. [7]

Treću generaciju gospodarskih eksploziva čine potpuno sigurni sastavi koji ne sadrže nijednu komponentu koja se svrstava u čisti eksploziv (ANFO, emulzijski eksplozivi). Prvi ANFO eksplozivi svoju širu primjenu našli su u praksi tek nakon 1950. godine. Sastoje se od amonijevog nitrata kao oksidansa i neke gorive komponente (mineralno ulje, dizel gorivo). Imaju najširu primjenu u svijetu jer su jednostavni za proizvodnju, sigurni za rukovanje, a i jeftini su. Glavni im je nedostatak velika osjetljivost na vlagu pa se primjenjuju samo u suhim uvjetima.

1956. godine dolazi do razvoja vodootpornih ANFO eksploziva, a prvi ih je izradio Amerikanac Melvin A. Cook. Zbog izgleda paste, nazvani su „slurry eksplozivi“.

1970. godine u SAD-u je uspješno razvijena najnovija generacija jednostavnih vodootpornih eksploziva na bazi neorganskih soli-nitrata, tzv. emulzijskih eksploziva, koji ne sadrže eksplozivne komponente. [7]

## ***6.2. Suvremeni gospodarski eksplozivi***

U svijetu, kao i kod nas, danas se proizvodi velik broj različitih vrsta, ali i sastava, gospodarskih eksploziva namijenjenih za različita miniranja. Sastavi koji sadrže bar jednu komponentu koja se klasificira kao čisti eksploziv tretiraju se kao pravi eksplozivi, a sastavi koji ne sadrže nijednu eksplozivnu komponentu tretiraju se kao sredstva za rušenje.

Tendencije u razvoju gospodarskih eksploziva usmjerene su na povećanje energije, smanjenje cijene, povećanje vodootpornosti, fizičke i kemijske stabilnosti, kao i manjoj primjeni eksplozivnih komponenti radi povećanja sigurnosti. [7]

### **6.3. Eksplozivi na bazi nitroglicerina**

Prvi gospodarski eksploziv – dinamit, izrađen je na bazi nitroglicerina. Postoje tri osnovna tipa dinamita: *praškasti, semiželatinozni i želatinozni*.

Semiželatinozni i želatinozni dinamiti sadrže nitrocelulozu koja u kombinaciji s nitroglicerinom formira gel u velikom postotku. Nobel je ovu vrstu dinamita nazvao *razorni želatin*. Zbog visokih cijena, lake zapaljivosti, velike osjetljivosti na udar i trenje, primjena razornog želatina naglo opada nakon Drugog svjetskog rata.

S vremenom nitroglicerina u dinamitima zamjenjuje amonijev nitrat čime oni postaju mnogo jeftiniji i sigurniji za proizvodnju i upotrebu. [7]

### **6.4. Eksplozivi na bazi amonijevog nitrata i TNT-a**

Za izradu eksplozivnih smjesa s amonijevim nitratom mnogo je pogodniji TNT u odnosu na nitroglicerina zbog svoje vrlo male osjetljivosti, ali i niže cijene.

Sastavi na bazi amonijevog nitrata i TNT-a imaju manju energiju u odnosu na dinamite, ali se ipak tretiraju kao pravi eksplozivi. Zbog amonijevog nitrata osjetljivi su na vlagu pa se primjenjuju samo u suhim uvjetima. Dodavanjem male količine voska pokušali su se napraviti sastavi otporni na vlagu, ali se tada smanjila njihova osjetljivost. Bolji rezultati postignuti su dodavanjem kalcijstearata. Ovi eksplozivi se uglavnom proizvode u praškastom obliku i pakiraju u odgovarajuće patrone izrađene od parafinskog papira ili plastike. [7]

### **6.5. Eksplozivi ANFO**

Gospodarski ANFO eksplozivi danas se, zbog niske cijene i jednostavne proizvodnje, najviše primjenjuju u praksi za površinsko miniranje mekih i srednjjetvrdih stijena. ANFO eksploziv je eksploziv na bazi amonijevog nitrata pomiješanog s gorivom. Osnova je amonijev nitrat, koji je najčešće granuliran, ali može biti i u prahu kada se, pomiješan s gorivom, patronira. Kao gorivo koriste se razni naftni derivati, plinska ulja, mineralna ulja, a ponekad se kao stabilizator dodaje aluminijski prah.

Amonijev nitrat proizvodi se u dva oblika, za izradu umjetnih gnojiva u poljoprivrednoj industriji i za izradu eksploziva. Razlika je u obliku i poroznosti koja je vrlo bitna kod korištenja

amonijevog nitrata za izradu eksplozivnih sredstava, isto kao i granulacija. Sam amonijev nitrat u prahu ili u granulama nije osjetljiv na standardne rudarske detonatore i ne može postići stabilnu detonaciju. Zbog otpornosti na trenje, udar i temperaturu, jednostavan je za transport. Kod skladištenja problem je vlaga jer je amonijev nitrat lako topljiv u vodi, a s obzirom na poroznost i sastav, lako upija vlagu. [5]

Kako bi se postigla maksimalna energija ANFO eksploziva, najvažnije je što bolje izmiješati komponente, a to se postiže u specijalnim vozilima – mikserima, koja posjeduju elektronsku i hidrauličnu opremu za proizvodnju i pneumatsko punjenje minskih bušotina.

U posljednje vrijeme razvijeni su i ANFO eksplozivi za miniranje u vlažnim uvjetima. Oni sadrže posebne komponente koje u dodiru s vodom formiraju gel koji sprečava dalje prodiranje vode i rastvaranje amonijevog nitrata ili oslobađaju plinove koji potiskuju vodu s dna bušotine i u gelu koji se stvara formiraju mjehuriće koji omogućuju lakše prihvaćanje detonacije. [7]

#### **6.6. Vodoplastični eksplozivi**

Vodoplastični, kašasti ili slurry eksplozivi (tzv. vodeni gel) jesu gospodarski eksplozivi za masovnu upotrebu razvijeni u SAD-u šezdesetih godina prošlog stoljeća. To su vodootporni eksplozivi namijenjeni za rušenja u vlažnim uvjetima. Ako im se doda komponenta koja se klasificira kao čisti eksploziv, mijenjaju klasifikaciju od sredstva za rušenje u prave eksplozive. Za miniranje jako tvrdih stijena dodaje se aluminij koji izrazito povećava energiju eksplozije. [7]

#### **6.7. Emulzijski eksplozivi**

Emulzijski eksplozivi mješavina su:

- a) otopine anorganskih soli
- b) goriva, odnosno uljne faze
- c) emulgatora

Otopina anorganskih soli je dispergirana u uljnoj fazi. Takvoj smjesi dodaje se mali udio emulgatora zbog očuvanja stabilnosti emulzije. Dispergiranu fazu čine nitrati otopljeni u vodi, najčešće amonijev nitrat u određenom omjeru s vodom. [5]

Dispergirana faza – otopine anorganskih soli (vodena faza):

- amonijev nitrat
- kalcijev nitrat
- natrijev nitrat
- cinkov nitrat
- urea nitrat
- perklorati

Uljna faza sastoji se od ugljikovih goriva određenog viskoziteta tako da je moguće postići stabilnu emulziju vode u ulju. Za stabilnost smjese dodaju se emulgatori. [5]

Kontinuirana faza (uljna faza):

- motorna ulja i destilati nafte
- parafinsko ulje
- organska ulja
- parafinski, sintetski i lignitni voskovi
- masti
- mikrokristalasti parafin [5]

Emulgatori:

- mješavine monoglicerida i diglicerida, stearinske i palmatinske kiseline uz dodatak *Na* i *K* stearata
- *N*-alkilalmidoalki-*NN*-dimetilamin
- alkilpolietilenglikoleter
- sorbitan monoleat
- *Na*-oleat [5]

Eksplozivna svojstva postižu se senzibilizacijom matrice dodavanjem zrnaca, ili mjehurića, plinske faze u određenom volumnom omjeru. Emulzija se senzibilizira staklenim ili plastičnim mikrokuglicama, ekspanziranim polistirenom (stiropor), amonijevim nitratom u granulama, perlitima itd. [5]

Sigurni su za proizvodnju, prijevoz, skladištenje i rukovanje. Pri detonaciji ne oslobađaju otrovne produkte. Mogu se pakirati u patrone ili proizvoditi na licu mjesta u specijalnim vozilima i direktno nalijevati u bušotine. [7]

#### **6.8.    *Eksplozivi za podzemno miniranje***

Pri podzemnom miniranju, posebno u rudnicima uglja, postoji rizik od eksplozije smjese metana ili ugljene prašine i zraka. Da bi se izbjegla mogućnost pojave eksplozije, u takvim uvjetima moraju se koristiti eksplozivi sa sniženom temperaturom eksplozije, poznati kao *metanski eksplozivi*. [7]

### **7.    Primjena eksploziva u gospodarstvu**

Primjena eksplozivnih tvari u gospodarstvu danas je veoma raširena – od rudarstva i građevinarstva do poljoprivrede, šumarstva, strojarstva itd. U rudarstvu su nam eksplozivi omogućili eksploataciju mineralnih sirovina bez kojih bi nam život bio nezamisliv, u građevinarstvu eksplozivima rušimo stare zgrade, ali i gradimo nove, gradimo ceste, tunele, nasipe. Stvaramo nove otoke, nova jezera, mijenjamo riječna korita, sadimo nova stabla, borimo se protiv prirodnih nepogoda, gasimo požare, povećavamo potrošnju plina, nafte i vode, stvaramo nove materijale, rastemo i razvijamo se. [2]

#### **7.1.    *Primjena eksploziva u rudarstvu***

Rudarstvo je privredna djelatnost u kojoj se energija eksplozije najviše koristi. Primjenom eksplozije „pronalaze“ se rudna ležišta, obavljaju pripremni radovi za eksploataciju ležišta, otkopavaju se mineralne sirovine, tehničko i ukrasno kamenje itd. Mineralne sirovine nalaze se u zemljinoj kori u obliku rudnih ležišta kojima se može pristupiti na dva načina: *površinskim i podzemnim (jamskim) kopom*.

Osnovni je zadatak eksplozije u rudarstvu da izvrši razaranje i drobljenje mineralne sirovine, a to se postiže eksplozijom pojedinačnih ili skupnih eksplozivnih naboja postavljenih na njihovoj površini (vanjski naboj) ili u unutrašnjosti (unutarnji naboj).

Intenzivno deformiranje, drobljenje i usitnjavanje sredine u neposrednoj blizini eksplozivnog naboja naziva se *brizantnim oblikom djelovanja* dok ostali oblici djelovanja spadaju u skupinu općih (ili fugasnih) oblika djelovanja eksplozije. [2]

Postupak razaranja i drobljenja stijena i mineralnih sirovina, kao i građevinskih objekata, energijom oslobođenom pri detonaciji eksplozivnog naboja naziva se *miniranje*.

Razlikujemo nekoliko metoda miniranja:

- miniranja plitkim minskim bušotinama
- miniranja dubokim minskim bušotinama
- komorna miniranja
- kotlovska miniranja
- specijalna miniranja.

Metoda miniranja plitkim minskim bušotinama koristi se u podzemnim radilištima za izradu podzemnih prostorija i tunela te za otkopavanje mineralnih sirovina u jamskim otkopima.

Miniranje dubokim minskim bušotinama primjenjuje se u površinskim kopovima i kamenolomima za otkopavanje visokih etaža te za iskope dubljih usjeka i zasjeka.

Komorno miniranje dobilo je naziv po minskim komorama u koje se pri miniranju postavlja eksplozivni naboj, a primjenjuje se za dobivanje velike količine materijala, pretežno nejednolične i krupnije granulacije. U neposrednoj blizini minske komore stijena biva razdrobljena na sitne komade dok se ostali dio stijene odlama u velikim komadima koje je potrebno naknadno usitniti sekundarnim miniranjem.

Kotlovska miniranja primjenjuje se u slučaju kada se proračunata masa eksplozivnog naboja ne može smjestiti u minsku bušotinu određenog promjera. U tom se slučaju donji dio bušotine proširuje aktiviranjem manjeg eksplozivnog naboja pri dnu bušotine.

U rudarstvu se primjenjuju i neki specijalni oblici miniranja kao što su:

- sekundarno miniranje velikih komada stijena
- podvodno miniranje



- konturno miniranje itd

U većini se slučajeva pri miniranju dobije i jedan dio velikih komada stijena koje je nužno podvrći dodatnom mehaničkom drobljenju ili drobljenju eksplozijom. Takvo se dodatno drobljenje eksplozivnim nabojem naziva *sekundarnim miniranjem*. Ono se može vršiti vanjskim eksplozivnim nabojima (nabojima postavljenim na vanjsku površinu stijene) ili unutrašnjim nabojima (nabojima postavljenim u bušotinu pripremljenu u stijeni. [2]

Konturno miniranje primjenjuje se kada se žele dobiti glatke i neraspucane površine završnih kontura podzemnih i površinskih miniranja.

Podvodno miniranje vrši se u specijalnim uvjetima – ispod površine vode. Minske bušotine kod ovog miniranja mogu bušiti ronionci s pneumatskim čekićem manjeg promjera ili s usidrenih plovni platformi. Zbog zaštite od urušavanja minske se bušotine zaštićuju plastičnim cijevima, a za podvodno miniranje upotrebljavaju se vodoplastični eksplozivi povećane vodootpornosti i specijalni detonirajući štapin za podvodno miniranje. [2]

Danas se razvijaju novi postupci primjene energije eksplozije u području okopavanja čvrstih mineralnih sirovina u podzemnim radilištima. Primjer je izrada dubokih minskih bušotina. Postoje dva načina izrade minskih bušotina eksplozijom, a to su: *patronsko bušenje i bušenje pomoću tzv. generatora eksplozija*.

Patronski se način temelji na tome da se na dno bušotine, pomoću zraka ili vode, dovode eksplozivni naboji izrađeni od tekuće ili čvrste eksplozivne tvari, smješteni u oblogu (ampulu). Pri izlasku ampule iz mlaznice trga se pregrada, dolazi do miješanja goriva i eksplozije nastale smjese. Eksplozija izaziva razaranje i drobljenje stijena u dnu bušotine.

Iz generatora eksplozija se pri bušenju neprekidno izbacuju dvije tekućine – gorivo (kerozin) i oksidans (dušikov tetraoksid), čijim miješanjem nastaje snažni eksploziv. Njegovo se iniciranje vrši pomoću treće tekućine – inicijatora, koja se periodično ubacuje u smjesu. Nizom uzastopnih eksplozija razara se i drobi stijena u dnu bušotine.

Za posebna miniranja u rudarstvu i građevinarstvu može se primijeniti i nuklearna energija. Nuklearnim se miniranjem mogu izrađivati podzemna spremišta nafte, zemnog plina i opasnih otpadaka, drobiti i usitnjavati mineralne sirovine itd. No, osnovni im je nedostatak mogućnost izazivanja radioaktivnog zagađenja okoline. [2]

## **7.2. Primjena eksploziva u industriji nafte i plina**

Energija eksplozije na nekoliko se različitih načina koristi pri bušenju, istraživanju i eksploataciji naftnih i plinskih ležišta. Nafta je danas nezamjenjiv izvor energije i važna sirovina za kemijsku industriju. Nafta se akumulira u zemljinoj utrobi u vidu naftnih ležišta smještenih u sedimentnim slojevima područja gdje su nekoć bila mora. Više naftnih ležišta čine naftno polje.

S obzirom na oblik i položaj naftna su ležišta raznolika. Struktura jednog naftnog ležišta s plinskom kapom uključuje nekoliko zona: *plinsku zonu, zonu maksimalne zasićenosti naftom, slabo zasićenu zonu, prijelaznu zonu i vodonosnu zonu*. Iz naftnog ležišta nafta se crpi kroz naftne bušotine koje se, pomoću posebnih bušilica (turbinske, udarne, električne), buše kroz zemljinu koru do ležišta. Ako se bušotina pokaže perspektivnom, ona se zaštićuje metalnom cijevi oko koje se zabetonira cementna kaša.

Da bi se omogućio dotok nafte i plina u cijev, potrebno je na cijevi i cementnom sloju načiniti otvore (rupe). Proces izrade tih otvora naziva se *perforiranje bušotina*, a izvodi se perforatorima u obliku projektila, tzv. *torpednim perforatorima, kumulativnim perforatorima* itd.

U naftnim bušotinama može doći do različitih vrsta havarija, a eksplozija može pomoći pri njihovom otklanjanju. Isto tako eksplozija može pomoći i pri izvlačenju uvodnih zaštitnih cijevi, razaranju metalnih dijelova u dnu bušotine, povećanju propusnosti sedimentnih stijena (kolektora) itd. Eksplozija naboja u naftnoj bušotini naziva se *torpediranjem bušotina*.

Eksplozija se može primijeniti i za čišćenje filtara za naftu i vodu, kao i za povećanje produktivnosti naftnih i plinskih bušotina. Značajno povećanje produktivnosti naftnog ležišta moguće je i pomoću podzemne nuklearne eksplozije. [2]

## **7.3. Primjena eksplozije u graditeljstvu**

Eksplozije se široko primjenjuju i u različitim područjima graditeljstva – hidrotehnici, cestogradnji, meliorizacijskom graditeljstvu, stanogradnji i sl., i to za drobljenje čvrstih stijena, iskop materijala (zemlje), zgušnjavanje tla itd.

Eksplozije za iskop koriste se u građevinarstvu za iskop zemlje pri gradnji temelja novih građevina, gradnju nasipa, kanala i sl. što znatno smanjuje trajanje spomenutih radova. Primjenom plitkih minskih bušotina za iskop mogu se izrađivati kanali za polaganje naftovoda,

ljevkastog i trapezastog oblika. Miniranjem plitkim minskim bušotinama izrađuju se i nasipi, trase putova, brane, a može se vršiti i otkop građevinskog materijala u kamenolomima.

Kod dubinskih (kamufletnih) eksplozija na površini ne dolazi do izbacivanja zemlje niti kakvih drugih oblika rušenja. Primjenom dubinskih eksplozija mogu se izraditi podzemni spremnici za skladištenje otpada, tekućina i plinova, bunari, rovovi i sl. Šupljine stvorene eksplozijom čvrste su, vodonepropusne, stabilne i mogu se koristiti dugo bez dodatnog ojačavanja njihovih stijenki. [2]

Izrada krupnih podzemnih spremišta u području naslaga kamene soli moguća je primjenom energije nuklearne eksplozije. Kamufletne se eksplozije koriste i u izradi potpornih stupova s proširenim donjim dijelom – tzv. stupova s proširenom petom, što omogućuje povećanje nosivosti stupa. Takvi potporni stupovi primjenjuju se pri izradi mostova, višekatnica, stambenih i industrijskih objekata.

Osim navedenih, ima još jedna primjena eksploziva, iako je u osnovi rušenje, koja pripada djelatnosti graditeljstva, a to je rušenje građevinskih objekata preciznim miniranjem. Za rušenje objekata koriste se različite vrste eksploziva, a najčešće je to eksploziv tipa dinamita. [2]

#### ***7.4. Primjena eksploziva u poljoprivredi***

U poljoprivredi, odnosno voćarstvu, eksplozije se primjenjuju za izradu rupa za sadnju mladih voćaka, ali i za „tretman“ tla prije sadnje (rastresanjem) pri čemu je moguće poboljšati rast i razvoj nekih vrsta drveća.

Tretman tla eksplozijom vrlo je bitan pri sadnji vinove loze. Razvijen korijenski sustav vinove loze tako može doprijeti do većih dubina, a što je tlo rahlije, to je bolji sustav njegova vlaženja i aeracije, time je i bolji rast vinograda. [2]

Još od kraja 19. st. eksplozije su se počele primjenjivati pri izradi plantaža vinograda u kamenitom području. U početku su se više radile guste plantaže kod kojih se rastresanje tla i premještanje slojeva vršilo aktiviranjem niza nabojâ postavljenih u bušotine manjeg promjera, ali se ta metoda nije pokazala učinkovitom. Zbog toga se danas rastresanje vrši eksplozivnim nabojima postavljenim u bušotine većeg promjera. Općenito, izrada gustih plantaža pokazala je dobru učinkovitost samo u slučaju kada se ispod površinskog sloja čvrstih stijena nalazi rahli sloj. Da bi se postiglo što bolje usitnjavanje čvrstih stijena, eksplozivni se nabojâ postavljaju u

središtu sloja stijena. Na taj se način stvaraju pogodni uvjeti za razvoj vinove loze i tamo gdje su prvobitni uvjeti tla bili loši.

Eksplozije se mogu upotrijebiti i za vađenje panjeva drveća pri krčenju šumskog terena i to na dva načina: stavljanjem eksplozivnog naboja u minsku bušotinu ispod panja ili razbijanje panja na manje dijelove pomoću malih eksplozivnih naboja postavljenih u bušotine izbušene u panju. [2]

### ***7.5. Primjena eksploziva u sintezi novih materijala***

Sve brži industrijski razvoj zahtijeva upotrebu materijala koji mogu izdržati velika opterećenja u ekstremnim uvjetima, a klasični materijali i klasične tehnologije ne mogu zadovoljiti te uvjete, stoga je i u ovom području eksplozija, kao izvor energije, našla svoje mjesto.

Pri detonaciji eksplozivne tvari okolina biva podvrgnuta kratkotrajnom udarnom djelovanju ekstremno visokog tlaka i temperature. Pod djelovanjem udarnog vala u nekim materijalima može doći do fazne pretvorbe, npr. grafita u dijamant. Danas se spominju dvije metode, odnosno dva pristupa pretvorbe grafita u dijamant uz primjenu energije eksplozije:

- a) pretvorba grafita u dijamant djelovanjem udarnog vala u implozijskom sustavu za udarno prešanje
- b) pretvorba u dijamant ugljika sadržanog u eksplozivnoj tvari unutar detonacijskog vala (tzv. detonacijska sinteza dijamanta) [2]

Tehnologija udarnog prešanja (ili udarne kompresije) praškastih materijala danas je već toliko napredovala da se primjenjuje za dobivanje materijala koje drugim tehnologijama nije moguće (ili je vrlo teško) dobiti, npr. metalnih karbida, intermetalnih spojeva, keramičkih supervodiča itd.

Dva su temeljna sustava izvedbe udarnog prešanja praškastih tvari:

- a) prešanje implozijskim sustavom pod djelovanjem direktnog udarnog vala
- b) prešanje udarnim djelovanjem metalne ploče odbačene („ispaljene“) detonacijom eksplozivnog naboja.

Poznato je da se električni otpor mnogih metala kontinuirano smanjuje smanjenjem temperature. No, postoje i materijali kod kojih električni otpor pri nekoj temperaturi naglo pada

do jedva mjerive vrijednosti (npr. živa na  $-268,5^{\circ}\text{C}$ ). Ova pojava naziva se *supervodljivost*, a definira se kao sposobnost materijala da provodi električnu energiju bez otpora i uz ekstremno male gubitke. Temperatura kod koje se električni otpor približava nultoj vrijednosti naziva se *kritična temperatura*. [2]

Jedno od svojstava supervodiča je i velika osjetljivost na promjenu magnetnog polja. Zahvaljujući tom svojstvu supervodiči bi mogli naći primjenu u uređajima za medicinsku dijagnostiku, u mikroelektronici, fizici visokih energija, prijenosu električne energije itd.

Kada bi se uspio dobiti materijal koji ima svojstva supervodljivosti na dovoljno visokoj temperaturi, tj. visokotemperaturnu supervodljivost, u elektrotehnici bi nastupila prava revolucija.

Krajem 20. st. pojavili su se keramički supervodiči na bazi tantala (ili itrija), barija i bakrova oksida. Udarnim prešanjem mogu se izrađivati kompozitni materijali otporni na trenje. Intermetalni spojevi, tj. spojevi između elementarnih metala, također su zanimljivi za industriju jer imaju visoku otpornost na koroziju i oksidaciju. Mogu se dobiti primjenom eksplozije, tj. induciranjem samoodržavajuće egzotermne reakcije između prahova metala čiji se spoj želi dobiti udarnim valom. Udarnim valom mogu se inicirati i reakcije polimerizacije aminokiselina uz nastajanje proteina (tzv. biopolimera). Možda su slične reakcije, do kojih je moglo doći pri padu meteorita na Zemlju, dovele i do rađanja života na našem planetu.

Svi navedeni primjeri potvrđuju da je danas eksplozija moćan „alat“ u području sinteze novih materijala. [2]

## ***7.6. Istraživanje zemljine unutrašnjosti korištenjem eksplozije***

Mineralni resursi oduvijek su bili jedan od značajnih potencijala svake zemlje. Međutim, prije nego postanu dostupne čovjeku, sirovine skrivene u zemljinoj utrobi treba pronaći, otkriti. Tradicionalne metode geoloških istraživanja sve teže zadovoljavaju zahtjevne potrebe današnjice. Sve više se primjenjuju nove, geofizičke metode, temeljene na proučavanju pojedinih fizičkih svojstava mineralnih sirovina – elastičnih, električnih, gravitacijskih, termičkih i sl.

Jedna od najefikasnijih geofizičkih metoda istraživanja i pronalaženja korisnih iskopina jest *seizmička metoda* usko povezana sa seizmologijom – znanošću o potresima. Temelji se na proučavanju prostiranja kroz zemljinu koru seizmičkih valova generiranih eksplozijom.

Kada seizmički val, izazvan npr. eksplozijom u Zemlji, pri svom prostiranju kroz zemljinu unutrašnjost naiđe na površinu koja razdvaja stijene različitog sastava, dolazi do njegova odbijanja od površine razdvajanja, loma i djelomičnog vraćanja na površinu. To je osnova seizmičke metode. [2]

Seizmičke metode primjenjuju se za otkrivanje plinskih i naftnih ležišta te za proučavanje dubinske građe Zemlje, a mogu se koristiti i za kontrolu podzemnih nuklearnih eksplozija na bilo kojem mjestu našeg planeta.

Za proučavanje građe Zemlje koriste se i potresi – prirodni izvori seizmičkih oscilacija, čija je energija puno viša od energije eksplozije klasičnog eksplozivnog naboja. [2]

Spoznaje do kojih se došlo u proučavanju građe Zemlje:

- promjer Zemlje iznosi 12 700 km
- sastoji se od nekoliko koncentričnih pojaseva koji se stapaju jedan u drugi
- izdvajaju se tri pojasa (geosfere): Zemljina kora, plašt i jezgra

Zemljina kora ima složenu strukturu. Na kontinentu se zemljina kora sastoji iz tri sloja: taložnog, granitnog i bazaltnog. Pod oceanom nema granitnog sloja, a debljina ostala dva sloja znatno je manja. Između Zemljine kore i plašta postoji jasno izražena granica. Tu je površinu razdvajanja otkrio naš geolog Andrija Mohorovičić proučavajući potrese u Hrvatskoj i po njemu je nazvana Mohorovičićeva granica ili Moho. Ispod Mohorovičićeve granice pa do dubine od 2900 km prostire se Zemljin plašt – sloj silikatnih stijena bogatih željezom i magnezijem. Zemljina se jezgra prostire od dubine 2900 km pa do njena središta. U prikupljanju informacija o građi Zemljine kore svoj doprinos dale su i eksplozije, odnosno eksplozivne tvari. [2]

## 8. Primjena eksplozija u borbi protiv elementarnih nepogoda i drugih izvanrednih situacija

U današnje vrijeme čovjek se susreće s brojnim elementarnim nepogodama, kao što su potresi, vulkanske erupcije, vodene bujice, snježne lavine, tuča, ali i različitim drugim situacijama opasnim po život, npr. veliki požari na plinskim i naftnim bušotinama. Svima njima zajedničko je da se događaju iznenada, da uništavaju ljudska materijalna dobra, ali i da često odnose ljudske živote.

Borba protiv takvih iznenadnih pojava veoma je teška. Čovjek nastoji upotrijebiti sva svoja znanja i mogućnosti kako bi preduhitrio i spriječio takve pojave, ali i umanjio posljedice njihova djelovanja. Zvuči pomalo nestvarno, ali je istinito, da su i eksplozije, koje također uništavaju, našle mjesto u borbi čovjeka s takvim pojavama. [2]

### 8.1. *Primjena eksplozija u borbi protiv vodene bujice*

Vodne bujice (slika 19.) snažni su i brzi vodeni tokovi koji se najčešće iznenadno stvaraju u koritima planinskih rijeka. Do stvaranja bujica dolazi kada dođe do probijanja „brana“ nastalih nakupljanjem čvrstog materijala nošenog vodom u tjesnacima riječnih korita. [2]



**Slika 19.** Vodena bujica.

Izvor: <https://lat.rtrs.tv/vijesti/vijest.php?id=171867> (pristupljeno: 21. 5. 2024.)

Intenzivno otapanje ledenjaka te probijanje njegovih prirodnih brana može također biti uzrokom nastanka bujica. Vodena bujica, noseći sa sobom mulj, kamenje i drugi čvrsti materijal, ruši sve pred sobom izazivajući čak i krupne promjene reljefa u području kojim prođe. [2]

Za nastanak bujice moraju biti ispunjena tri uvjeta: *postojanje čvrstih planinskih padina, velike količine vode i dijelova čvrstih materijala nastalih odlamanjem stijena*. U nekim dijelovima

Zemlje bujice su česta pojava koja uzrokuje ogromne materijalne štete u gospodarstvu, ali odnosi i ljudske živote. Velikim dijelom čovjek je i sam kriv jer je njegovim „upletanjem“ u prirodne tokove opasnost od bujice porasla, npr. osvajanjem planinskih područja nepromišljenom sječom šuma.

Jedan od oblika borbe protiv bujica je i izgradnja akumulacijskih jezera (slika 20.), a za čiju izgradnju se koristi energija eksplozije, tj. specijalnog usmjerenog miniranja.



**Slika 20.** Akumulacijsko jezero.

Izvor: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Akumulacijsko\\_jezero](https://sl.wikipedia.org/wiki/Akumulacijsko_jezero) (pristupljeno: 13. 5. 2024.)

Alma-Ata, grad u Rusiji, primjer je područja ugroženog bujicama. Tek izgradnjom ogromnog akumulacijskog jezera (1966. godine) prestala je stalna opasnost ovom gradu od bujica. Izgradnja jezera obavljena je korištenjem energije eksplozije, tj. specijalnog usmjerenog miniranja kojim je napravljen ogromni nasip u kanjonu rijeke Male Almaatinke. 1973. godine priroda je i praktično provjerila njegovu otpornost. Snažna bujica razorile je dvije zaustavne brane i „nasrnula“ na nasip. Nasip je izdržao opravdavši svoje postojanje i potvrdivši mogućnost primjene usmjerenih eksplozija za izradu nasipa, tj. u borbi protiv vodenih bujica.

[2]



## 8.2. *Primjena eksplozija u borbi protiv snježnih lavina*

Eksplozije su našle mjesto u borbi protiv još jedne opasne i razorne prirodne pojave – snježnih lavina. Snježne lavine (slika 21.) nastaju u situaciji kada vlastita težina snježnog pokrivača postane veća od kohezijskih sila koje drže čestice snijega na okupu. Do takve situacije može doći nakon obilnih snježnih padalina kada se sloj novog snijega ne uspije sasvim čvrsto „prihvatiti“ za sloj stabilnog starog snijega. [2]



**Slika 21.** Snježna lavina.

Izvor: <https://www.meteorologiaenred.com/hr/Snje%C5%BEa-lavina.html>.

(pristupljeno: 13. 5. 2024.)

Promjena temperature, jaka buka ili neki mali udar dovoljan da poremeti spokoj i tišinu može oživjeti planinsku padinu niz koju će se обруšiti ogromna snježna masa „metući“ i uništavajući sve pred sobom. Kod najrazornijih snježnih lavina snježna masa može juriti niz padinu brzinom preko 150 km/s pa ne čudi što uzrokuje velike materijalne štete i odnosi brojne ljudske živote.

- Kako se boriti protiv lavina?

Temeljno načelo da se svaka opasnost može umanjiti, pa čak i potpuno izbjeći, ako se zna mjesto, vrijeme i karakter njene pojave može se primijeniti i u borbi protiv lavina. Kako točno vrijeme pojave lavine nije moguće pouzdano predvidjeti, to se poslije obilnih snježnih padalina, kada je velika vjerojatnost stvaranja uvjeta za nastanak snježnih lavina, umjetno izazivaju manje, kontrolirane, lavine da bi se spriječio nastanak velikih nekontroliranih lavina. Izazivanje kontroliranih lavina vrši se tako što se odabrano područje gađa minobacačkim minama ili posebnim topovima za obranu od lavina. Na taj se način, uz pomoć eksplozije,

eliminira osnovno „oružje“ snježne lavine – njeno iznenadno pojavljivanje. Tako se mogu spasiti dragocjeni ljudski životi. [2]

### 8.3. *Primjena eksplozija u borbi protiv tuče*

Tuča je atmosferska padalina u vidu zrna leda nepravilnog oblika (slika 22.). Do stvaranje tuče dolazi u vrlo hladnim olujnim oblacima.



**Slika 22.** Tuča.

Izvor: <https://www.sjeverni.info/foto-tuca-obisla-sjever-hrvatske-nastale-velike-stete/> (pristupio: 13. 5. 2024.)

Premda tuča nije tako razorna i opasna pojava, ipak u poljoprivredi može nanijeti velike štete. Usprkos suvremenim mogućnostima borbe protiv tuče još uvijek redovito stradavaju usjevi pšenice, kukuruza, vinogradi, voćnjaci, krovovi i automobili.

Ljudi se od davnina pokušavaju boriti protiv tuče. Jedan od načina je da se u tučonosni oblak rasprše vrlo sitne čestice nekih kemijskih stvari – tzv. reagensa, poput srebrnog jodida, olovnog jodida itd. Kada se unutar oblaka rasprši takav reagens, svaka će njegova čestica postati centrom kristalizacije ohlađene vode. No, postavlja se pitanje kako reagens dostaviti do oblaka i tamo ga raspršiti. Ispostavilo se da je najpogodniji način upotreba posebnih raketa, tzv. protutučnih raketa, koje mogu ponijeti značajnu količinu reagensa. Danas su u primjeni brojne protutučne rakete, različite po konstrukciji raketnog motora, koji nosi raketu do oblaka, naboja, sustava za stabilizaciju leta, sustava samouništenja itd.

Temeljno načelo na kojemu se zasniva let rakete jest Newtonov zakon: svakoj sili akcije odgovara sila reakcije koja je istog iznosa i pravca, ali suprotnog smjera. Za pogon raketnog motora protutučnih raketa koristi se raketni barut kompozitnog ili dvobaznog tipa, u obliku

šupljeg cilindra, cilindra s unutarnjom šupljinom u obliku zvijezde i sl., ovisno o tome kakvi se zahtjevi postavljaju pred raketni motor.

Za uspješnu borbu protiv tuče treba prethodno utvrditi koji oblak nosi tuču, a koji ne; kolika je njegova udaljenost, brzina i smjer gibanja, te ostale parametre potrebne da se raketa dovede što točnije u zonu oblaka. I premda je u protutučnoj borbi uloga eksplozije, tj. eksplozivnih tvari, možda na neki način u drugom planu jer raketni barut donosi raketu u područje oblaka, pirotehnički naboj samo raspršuje reagens – a reagens je taj koji „razbija“ tučonosne oblake, ona je u ukupnom sustavu protiv tuče ogromna. Zapravo, bez eksplozivnih tvari taj sustav ne bi mogao ni funkcionirati. [2]

#### **8.4. *Primjena eksplozivnih tvari u automatskom sustavu za zaštitu vozača automobila zračnim jastukom***

Sustav zaštite vozača i putnika u automobilima poboljšana je uvođenjem tzv. zračnih jastuka. Pri sudaru dvaju automobila ili pri udaru automobila u nepomičnu prepreku, preko senzora sudara postavljenih na prednjem dijelu automobila, aktivira se pirotehnički naboj čijim se izgaranjem u kratkom vremenu stvara velika količina plinovitih produkata, tzv. plinogenerator. Stvoreni plinoviti produkti napuhavaju zračne jastuke koji će spriječiti da vozač glavom ili prsnim dijelom izravno udari u upravljač, čime će posljedice sudara biti značajno ublažene. [2]

Sustav za automatsku zaštitu vozača pomoću zračnih jastuka aktivira se pomoću posebnih senzora, senzora udara, postavljenih na dva mjesta u automobilu: blizu prednjeg dijela automobila (na braniku, ukrasnoj maski ili hladnjaku) i na prednjoj pregradi kabine. Kako pirotehnički naboj mora napuhati zračni jastuk za manje od 40 milisekundi, to znači da pirotehnička smjesa mora ili imati veliku brzinu sagorijevanja ili biti u obliku vrlo sitnih čestica (granula). Pirotehnička smjesa za plinogenerator mora zadržati svoja početna svojstva najmanje deset godina, u različitim uvjetima vibriranja i promjene temperature u automobilu.

Pirotehnički plinogeneratori moraju pravilno funkcionirati na temperaturama od -40 do 85°C, moraju ispunjavati zahtjev za stabilnošću i trajnošću, netoksičnošću, kao i mogućnošću uništavanja zajedno s dotrajanim automobilom. [2]

### **8.5. Primjena (mikro)eksplozija u medicini**

1989. godine kineski su znanstvenici izvršili prvo uspješno razbijanje žučnog kamena mikroeksplozijom minijaturnog eksplozivnog naboja. Brojna ispitivanja koja su proveli pokazala su da mikroeksplozija nema nikakvog negativnog utjecaja na ljudsko srce, jetru, bubrege, respiratornu funkciju i cirkulaciju krvi. [2]

Za razbijanje žučnog kamena kineski su stručnjaci razvili dva tipa mikroeksplozijskih uređaja, jedan s električnim i drugi s neelektričnim sustavom iniciranja eksplozije.

Eksplozijskim uređajem postiže se usmjereno djelovanje energije eksplozije praktički na jednu točku, odnosno na vrlo usko područje na površini kamena. Jedan od najvažnijih dijelova eksplozijskog uređaja jest kanila – cjevčica izrađena od nehrđajućeg čelika. Pomoću kanile energija se udarnog vala generiranog eksplozijom minijaturnog eksplozivnog naboja usmjerava na jednu točku na površini kamena. Do razbijanja kamena dolazi pod djelovanjem tako generiranog točkastog udarnog vala.

Eksploziv koji se koristi u eksplozijskom uređaju za razbijanje žučnog kamena ne smije biti toksičan, a pri eksploziji mora davati samo plinovite produkte. [2]

## **9. Prekursori eksploziva (eksplozivi kućne izrade): propisi i nadzor**

Postoje situacije, krizne ili izvanredne, koje mogu ugroziti naše zdravlje, naše živote, uništiti okoliš, naša materijalna dobra, a može ih izazvati priroda, ali i sam čovjek. Čovjek je taj koji često ruši sve pred sobom, uništava i razara, čineći teška kaznena djela poput terorističkih napada i nekih drugih kriminalnih radnji, a da pri tom koristi eksplozivne tvari vojne ili gospodarske namjene.

Kriminalci, pobunjenici, teroristi koriste eksplozivne naprave koje su većinom kućne izrade, ali mogu biti vrlo učinkovite i razorne. Za njihovu izradu upotrebljavaju se različiti materijali koji koriste različite vrste upaljača. Neke eksplozivne naprave mogu imati i veliku razornu moć jer su načinjene od dostupnih gospodarskih i vojnih eksploziva, ali i različitih kemikalija. Što se tiče kemikalija, u kućnoj izradi eksplozivnih naprava sve više se upotrebljavaju one kemikalije koje svakodnevno koristimo, ali i one koje se upotrebljavaju u različitim industrijskim granama. Takve kemikalije od kojih se nezakonito proizvode eksplozivi (eksplozivi kućne izrade) nazivaju se prekursori eksploziva, a velik broj takvih kemikalija može se nabaviti u slobodnoj prodaji. [8]

Naravno da proizvodnja takvih eksplozivnih naprava predstavlja veliku prijetnju i ugrožava sigurnost svih nas, stoga su Europski parlament i Vijeće sigurnosti 15. siječnja 2013. g. donijeli Uredbu (EU) br. 98/2013 o stavljanju na tržište i uporabu prekursora eksploziva kojom se ograničava dostupnost određenih tvari pojedincima, posjedovanje i uporaba određenih prekursora eksploziva te se utvrđuju pravila za prijavljivanje sumnjivih transakcija, kao i uspostava učinkovitog sustava razmjene informacija među zemljama članicama.

U Prilogu II Uredbe (EU) br. 98/2013 propisane su tvari za koje se prijavljuju sumnjive transakcije bilo da su te tvari pronađene same po sebi, u smjesama ili tvarima (heksamin, sumporna kiselina, aceton, kalijev nitrat, natrijev nitrat, kalcijev nitrat, kalcijev amonijev nitrat u koncentraciji 16% masenog udjela dušika u odnosu na amonijev nitrat i većoj).

Sve veći napredak tehnologije, svakodnevne promjene i osuvremenjivanje u različitim životnim situacijama prisiljava ljude, a pogotovo teroriste i kriminalce, na sve veću domišljatost, ali i na sve veći izbor sredstava za nezakonitu proizvodnju eksploziva..

Tako Uredba (EU) br. 98/2013 propisuje mogućnost dodavanja novih tvari u njezin predviđeni režim (Preambula (26), Uredba (EU) br. 98/2013), a uz nju se vežu još tri Uredbe Europskog parlamenta i Vijeća i to: Delegirana Uredba Komisije (EU) 2017/14, Delegirana Uredba Komisije (EU) 2017/215 i Delegirana Uredba Komisije (EU) 2017/216. Navedenim Uredbama na popis prekursora eksploziva uvrštavaju se i aluminijev prah, magnezijev nitrat heksahidrat i magnezijev prah.

Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju, javlja se i potreba usklađivanja hrvatskog zakonodavstva s njezinom pravnom stečevinom. Stoga je, vezano uz Uredbu (EU) br. 98/2013 u Republici Hrvatskoj 2016. godine, donesen Zakon o provedbi Uredbe (EU) br. 98/2013 (NN 41/2016.) kojim su uređena nadležna tijela, obveze nadležnih tijela i postupci za provedbu Uredbe (EU) br. 98/2013 (čl. 1. Zakona). Kako je primjena i razvoj prekursora eksploziva sve brži, a uz to je i legitimna primjena eksplozivnih tvari sve šira, potrebno je sve više i više ulagati u sustav nadziranja, kako proizvodnje, tako i uporabe i prometa prekursora eksploziva, ali i drugih eksplozivnih tvari. [8]

Sustav kontrole mora biti organiziran tako da su informacije o statusu kemikalije koja pripada u prekursore eksploziva pravovremeno dostupne, odnosno u svakom trenutku treba biti poznato mjesto i osoba kod koje se nalazi kemikalija, ali i točna količina određene kemikalije.

Zbog veoma široke upotrebe prekursora eksploziva, nadzor nad njihovom legitimnom uporabom mora biti podijeljen na više državnih tijela, a to se odnosi na nadležnost nad procesima u proizvodnji, prometu i uvozu ovisno o nadležnosti nad određenim kemikalijama.

Uloga je Ministarstva unutarnjih poslova, u sustavu nadzora nad prekursorima eksploziva, u obavezama određenim za nacionalnu kontaktnu točku te u drugim poslovima u nadležnosti Ministarstva, kao što su zaprimanje i obrada informacija o sumnjivim radnjama vezanim za prekursore eksploziva, razmjena informacija s drugim nadležnim državnim tijelima te razmjena informacija s nacionalnim kontaktnim točkama drugih zemalja članica te drugih nadležnih službi zemalja koje nisu članice Europske unije. [8]

Veoma je važna brzina prepoznavanja opasnosti i poduzimanje potrebnih radnji u sprječavanju uporabe prekursora eksploziva za nelegalnu proizvodnju eksplozivnih naprava (kućna izrada eksploziva) jer bi to moglo drastično smanjiti moguće posljedice ugroze.

## **10. Sigurna primjena eksploziva**

Eksplozivi su tehnički proizvodi sastavljeni isključivo ili pretežno od eksplozivnih tvari, tj. spojeva ili smjese koje mogu kemijskom reakcijom vrlo brzo razviti velike količine energije u obliku topline ili mehaničkog rada što u kratkom vremenu može dovesti do eksplozije.

Postoje različite podjele eksplozivnih tvari, a najčešća podjela je na: primarne (inicijalne), brizantne (sekundarne), pogonske (potiskujuće), eksplozivne smjese zraka i plina, pare ili prašine, pirotehničke smjese. [9]

U smislu kemijskog razlaganja dijele se na potisne (deflagracijske) eksplozive i brizantne eksplozive koji mogu biti jednostavni i složeni.

Skupini složenih brizantnih eksploziva pripadaju i gospodarski eksplozivi koji se dijele, prema konzistenciji ili agregatnom stanju, na praškaste, granulirane, poluplastične, plastične i vodoplastične-kašaste brizantne eksplozive u koje pripadaju i emulzijski eksplozivi.

Gospodarski eksplozivi su sigurni u smislu osjetljivosti na iniciranje ili mehaničke osjetljivosti na udar i trenje te toplinska djelovanja prilikom njihova transporta, skladištenja i rukovanja, [9]

Kako bismo sigurno upotrebljavali eksplozive, moramo dobro znati njima rukovati i provoditi mjere koje će nam omogućiti zaštitu života i zdravlja ljudi, materijalnih dobara, ali i okoline u kojoj živimo.

Mjere koje se provode odnose se na način skladištenja, utovar, istovar, ponašanje osoblja koje rukuje eksplozivnim tvarima, opremu za zaštitu od požara, ali i stručno osposobljavanje osoba za rukovanje eksplozivnim tvarima. Važno mjesto zauzima skladištenje eksplozivnih tvari, a ono je propisano Pravilnikom o uvjetima i načinu provedbe sigurnosnih mjera kod skladištenja eksplozivnih tvari (N.N., br. 26/09. i 41/09.).

Tim Pravilnikom propisuju se prostorni i tehnički uvjeti koje moraju ispunjavati prostori za smještaj, čuvanje i držanje eksplozivnih tvari, mjere zaštite od požara, eksplozija i ostale mjere sigurnosti koje se provode pri skladištenju eksplozivnih tvari pravnih i fizičkih osoba koje skladište eksplozivne tvari za gospodarsku ili vojnu uporabu, uključujući i neupotrebljive eksplozivne tvari (gospodarskog ili vojnog podrijetla) koje su rezultat procesa razminiranja ili nekog drugog izvora.

*Skladištenje eksplozivnih tvari* je smještaj, čuvanje i držanje eksplozivnih tvari u Pravilnikom određenim prostorima. Skladišta se općenito dijele na nadzemna i podzemna. Nadzemna skladišta se, s obzirom na pokretnost, dijele na nepokretna i pokretna. [9]

Nepokretna skladišta služe za trajni smještaj eksplozivnih tvari i predmeta (najdulje do roka uporabe prema podacima proizvođača, odnosno kako je određeno posebnim propisima), a pokretna za trajni ili privremeni smještaj eksplozivnih tvari i predmeta (npr. na radilištu i sl.)

Pokretna skladišta, tzv. „dnevne kutije“, služe samo za privremeni smještaj određenih vrsta eksplozivnih tvari na radilištu i to isključivo u vrijeme neposrednog rada s eksplozivnim tvarima.

S obzirom na položaj, nadzemna skladišta se dijele na vanjska i unutarnja, a s obzirom na razinu poda, na površinska, poluukopana i ukopana.

Za skladišta su zadužene osobe koje su odgovorne za provedbu mjera zaštite i sigurnosti, a pored općih uvjeta po posebnim propisima, moraju ispunjavati i sljedeće uvjete:

- da su navršile 18 godina života
- da imaju srednju stručnu spremu
- da su osposobljene za rukovanje eksplozivnim tvarima

- da su zdravstveno sposobne za rukovanje eksplozivnim tvarima [9].

Ako se unutar skladišta nađu osobe neodgovarajućih psihofizičkih sposobnosti ili pod utjecajem alkohola i drugih opijata, osoba/skladištar dužna je takvu osobu udaljiti iz skladišta, što znači da skladišta eksplozivnih tvari moraju biti pod stalnom tjelesnom ili tehničkom zaštitom. Na svakom takvom skladištu moraju biti izvještene tiskane upute za siguran rad i postupanje popraćene telefonskim brojevima policije, Državne uprave za zaštitu i spašavanje, kao i hitne medicinske pomoći.

Bilo kakvi radovi u skladištu ili oko njega, kao i radovi s otvorenim plamenom (zavarivanje, rezanje, lemljenje), smiju se obavljati samo uz pisani nalog odgovorne osobe u pravnoj osobi, a nakon poduzimanja svih potrebnih mjera sigurnosti. U skladište ili krug skladišta nije dopušteno unositi vatreno oružje, osim osobama ovlaštenim po posebnim propisima.

Na odgovarajućim mjestima (ulaz u krug skladišta, ulaz u skladište, komunikacijski prostor i dr.) moraju se postaviti odgovarajuće oznake:

- zabrane uporabe otvorenog plamena
- zabrane pristupa nezaposlenima
- zabrane uporabe iskrećeg alata
- zabrane unošenja oružja
- obveze zaključavanja
- obveze zatvaranja protupožarnih vrata
- opasnosti od požara
- opasnosti od eksplozije
- mjesto se štiti videonadzorom [2].

Ispred svake građevine u kojoj se skladište eksplozivne tvari moraju biti postavljena najmanje dva aparat za početno gašenje požara tipa S-9 kao i priručni alat.



## 11. Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari

Označavanje i pakiranje eksplozivnih tvari propisano je Pravilnikom o načinu označavanja eksplozivnih tvari (Narodne novine, br. 122/12., 51/13., 47/15. I 70/17.). Sukladno članku 2. Pravilnika, eksplozivne tvari pakiraju se u odgovarajuću unutarnju i vanjsku ambalažu, a sve oznake koje se nalaze na unutarnjoj i vanjskoj ambalaži moraju biti označene vidljivo, čitljivo i neizbrisivo na hrvatskom jeziku.

Osim navedenih oznaka, ambalaža mora sadržavati i sljedeće oznake:

1. Unutarnja ambalaža (sanduk, kutija, vreća, svežanj ili kolut) mora nositi oznaku sa sljedećim podacima:
  - naziv eksplozivne tvari
  - neto masa
  - naziv proizvođača i uvoznika
  - mjesec i godina proizvodnje
  - rok uporabe
  - upute za sigurnu uporabu i uništavanje
  
2. Vanjska ambalaža mora nositi oznaku 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. [10]

Vanjska i unutarnja ambalaža mora, također, sadržavati i jedinstvenu identifikacijsku oznaku eksplozivne tvari, koja je tiskana u Prilogu 3. i sastavni je dio Pravilnika, a ona sadrži:

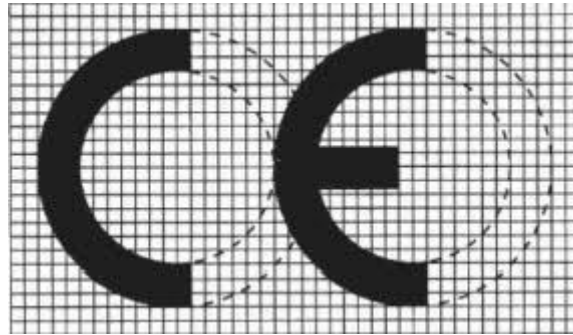
- Čitljiv dio identifikacijske oznake koji sadrži sljedeće:
  - a) naziv proizvođača
  - b) slovno-brojčanu oznaku koja sadrži:
    - dva slova koja označavaju državu članicu (mjesto proizvodnje ili uvoza na tržište Europske unije, npr. AT = Austrija)
    - tri znamenke koje označavaju proizvodni pogon (propisuju ih nacionalna tijela)
    - jedinstvenu oznaku proizvoda i logističke informacije koje određuje proizvođač.
- Elektronički čitljivu identifikaciju u obliku bar-koda i/ili matičnog koda, koji se izravno odnosi na slovno-brojčanu identifikacijsku oznaku, npr.



**Slika 23.** Elektronička identifikacijska oznaka [15].

- Za proizvode koji su premali da se na njih pričvrsti jedinstvena oznaka proizvoda i logistike informacije koje određuje proizvođač dostatnim se smatra da su označeni slovno-brojčanom oznakom (dva slova koja označavaju državu članicu i tri znamenke koje označavaju proizvodni pogon) te elektronički čitljivom identifikacijom.

Eksplzivne tvari moraju biti označene oznakom CE o sukladnosti eksplozivne tvari s tehničkim propisima, osim pirotehničkih sredstava koja su stavljena u promet bez oznake CE na teritoriju Republike Hrvatske, prije 1. srpnja 2013. godine.



**Slika 24.** Oznaka CE.

Izvor: <https://standardi.si/ce-znak> (pristupljeno:13. 5. 2024.)

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. Oznaka CE može se staviti i na ambalažu, a etiketa na kojoj se nalazi oznaka mora biti izvedena tako da se ne može ponovo upotrijebiti. [10]

### ***11.1. Označavanje gospodarskih eksploziva***

Gospodarski eksplozivi moraju biti označeni i rednim brojem na svakoj patroni ili vreći ukoliko se nalaze u rasutom stanju.

Ovisno o namjeni gospodarskog eksploziva redni brojevi se ispisuju odgovarajućom bojom:

- crnom bojom označavaju se eksplozivi koji se koriste za obavljanje nadzemnih miniranja
- crvenom bojom označavaju se eksplozivi koji se koriste za obavljanje podzemnih miniranja
- zelenom bojom označavaju se eksplozivi koji se koriste za obavljanje podzemnih miniranja pri kojima je moguća pojava metana i eksplozivne ugljene prašine.

Oznaka unutarne i vanjske ambalaže mora sadržavati i dimenzije patrone (promjer, dužina i masa) ukoliko je eksploziv patroniran. [10]

Plastični eksplozivi još se dodatno moraju označiti dodatkom detekcijskog sredstva u masu eksploziva kod njegove proizvodnje, homogeno raspodijeljenog u gotovom proizvodu. [11]

### ***11.2. Označavanje sredstava za iniciranje eksplozivnih tvari***

Uz prethodno navedene oznake, koje se moraju nalaziti na vanjskoj i unutarnjoj ambalaži, sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari moraju sadržavati i sljedeće oznake:

- nazivni interval zakašnjenja detonacije
- vrstu i dužinu vodiča ili cjevčice
- broj serije.

Jedinstvena identifikacijska oznaka na sredstvima za iniciranje eksplozivnih tvari može biti izravno otisnuta na svakom pojačniku (busteru) i tijelu (košuljici) ili se nalazi na naljepnici koja se lijepi na žice ili cjevčicu sredstva.

Na detonirajućim štapićima nalazi se izravno otisnuta na kolut ili na naljepnici, a elektronički čitljiva identifikacija mora se nalaziti i na svakom petom metru plastičnog omotača ili plastičnom razvučenom sloju ispod vanjskog vlakna štapina. [11]

### ***11.3. Označavanje pirotehničkih sredstava***

Uz prethodno navedene oznake, koje se moraju nalaziti na vanjskoj i unutarnjoj ambalaži, pirotehnička sredstva moraju sadržavati i sljedeće oznake:

- naziv i vrstu pirotehničkog sredstva
- kategoriju pirotehničkog sredstva
- broj komada u jediničnom pakiranju
- broj šarže ili serijski broj
- najnižu dobnu granicu za uporabu
- najmanju sigurnosnu udaljenost
- naznaku ako je potrebno „samo za vanjsku uporabu“ za pirotehnička sredstva kategorije

F1 i T1

- naznaku „samo za vanjsku uporabu“ za pirotehnička sredstva kategorije F2 i F3
- naznaku „smiju koristiti samo osobe sa stručnim znanjem“ za pirotehnička sredstva

kategorije F4, P2 i T2

- registracijski broj koji se temelji na jedinstvenom brojčanom sustavu [10]

Oznaka za označavanje pirotehničkih sredstava koja se stavlja na vanjsku ambalažu mora sadržavati i:

- naziv i vrstu pirotehničkog sredstva
- kategoriju pirotehničkog sredstva
- registracijski broj koji se temelji na jedinstvenom brojčanom sustavu

U Prilogu 4, koji je sastavni dio Pravilnika, propisan je sadržaj i izgled registracijskog broja kojim se označuju pirotehnička sredstva, a sastoji se od:

- a) Četveroznamenastog identifikacijskog broja prijavljenog tijela koje je izdalo EZ certifikat o pregledu tipa u skladu s postupkom ocjene sukladnosti (modul B ili modul G ili modul H)
- b) Kategorije pirotehničkog sredstva čija je sukladnost potvrđena, u skraćenom obliku, velikim tiskanim slovom:
  - F1, F2, F3 ili F4 za pirotehnička sredstva za vatromet 1., 2., 3., odnosno 4. kategorije
  - T1 ili T2 za pirotehnička sredstva za primjenu u kazalištima kategorije T1, odnosno T2
  - P1 ili P2 za ostala pirotehnička sredstva kategorije P1, odnosno P2
- c) Broja obrade koji prijavljeno tijelo rabi za pirotehničko sredstvo

Struktura registracijskog broja je sljedeća : „XXXX-YY-ZZZZ...“, pri čemu se XXXX odnosi na točku a), YY se odnosi na točku b) i ZZZZ...se odnosi na točku c). [10]

Pirotehnička sredstva koja su sastavni dio pomorske opreme i koja se isključivo primjenjuju za spašavanje na moru označavaju se na način kako je propisano Direktivom Vijeća 96/98/EZ. [10]

#### ***11.4. Označavanje streljiva***

Sukladno članku 8. Pravilnika, sva vanjska i unutarnja ambalaža, kao i svaki pojedinačni naboj, mora biti označen oznakama propisanim odredbama Međunarodnog stalnog odbora za provjeru ručnog vatrenog oružja (Commission Internationale Permanente pour l'Épreuve des Armes à Feu portatives – C.I.P.-a). [10]

### ***11.5. Označavanje baruta***

Sukladno članku 9. Pravilnika, svako unutarnje i vanjsko pakiranje baruta mora imati, pored oznaka iz članka 2. ovoga Pravilnika, i oznaku sa sljedećim podacima:

- vrsta baruta
- serija proizvodnje

Identifikacijska oznaka iz članka 2. ovoga Pravilnika za barute nalazi se na naljepnici ili se izravno otiskuje na jedinično pakiranje. [10]

### ***11.6. Označavanje proizvoda punjenih eksplozivnim tvarima***

Sukladno članku 10. Pravilnika, svako unutarnje i vanjsko pakiranje proizvoda punjenih eksplozivnim tvarima mora imati oznaku koja sadrži podatke iz članka 2. ovoga Pravilnika.

Za proizvode punjene eksplozivnim tvarima identifikacijska oznaka iz članka 2. ovoga Pravilnika nalazi se na naljepnici ili je izravno otisnuta na kućište proizvoda. [10]

## **12. Pravilnik o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari**

Ovim Pravilnikom propisuju se uvjeti i način proizvodnje eksplozivnih tvari te sigurnosne mjere pri proizvodnji, skladištenju i rukovanju s eksplozivnim tvarima za vrijeme proizvodnje. Odredbe Pravilnika odnose se na opasne dijelove pogona i na procese proizvodnje, operacije, radna mjesta, poslove, infrastrukturu i uređaje pri proizvodnji, doradi, preradi, reciklaži, ispitivanju, neutralizaciji i uništavanju eksplozivnih tvari.

Eksplozivne tvari podrazumijevaju eksplozive, sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari, pirotehnička sredstva, barut, streljivo, proizvodi punjeni eksplozivnim tvarima, sirovine eksplozivnih svojstava koje služe za proizvodnju eksplozivnih tvari.

Opasan pogon predstavlja objekt ili grupu objekata u kojima se obavlja proizvodnja, dorada, prerada, reciklaža, ispitivanje, neutralizacija i uništavanje eksplozivnih tvari. Dijeli se na opasan (objekti u kojima se obavljaju operacije s eksplozivnim tvarima) i neopasan (tehničko-

administrativni objekti, objekti društvenog standarda i pomoćni objekti pogona – garderobe, kotlovnice, restorani, trafostanice itd.) dio pogona. [12]

Radno mjesto s posebnim uvjetima rada koje obuhvaća radne operacije s eksplozivnim tvarima je radno mjesto s povećanom opasnošću, a naročito osjetljivo radno mjesto s povećanom opasnošću zahtijeva od djelatnika posebno iskustvo, stručnost i koncentraciju, kao i samostalno djelovanje u izvanrednim slučajevima.

Objekti u kojima se proizvode eksplozivne tvari moraju biti na sigurnoj udaljenosti od ostalih objekata, a moraju se provoditi obvezne odgovarajuće tehničke i organizacijske mjere s ciljem sprečavanja nastanka eksplozije i osiguranja mjera zaštite od eksplozija. Za svaku proizvodnju eksplozivnih tvari pravna ili fizička osoba, prije početka proizvodnje, dužna je izraditi tehnički elaborat pod nazivom „Tehnološki postupak“, a mora biti ovjeren od osobe koja je projektirala tehnološki postupak, odgovorne osobe za proizvodnju eksplozivnih tvari te odgovorne osobe proizvođača.

Tehnološki postupak je osnovni tehnički dokument kojim se utvrđuje klasifikacija eksplozijom ugroženih prostora opasnog pogona, a definira se i maksimalna količina eksplozivnih tvari u pojedinim tehnološkim cjelinama. [12]

Osim uobičajenog sadržaja elaborata, Tehnološki postupak mora sadržavati i:

- a) tehnološke sheme s pregledom i opisom proizvodnih faza i operacija
- b) dijagram vremenskog trajanja i sinkronizacija pojedinih faza i operacija
- c) materijalnu i energetske bilancu
- d) situacijski plan i popis objekata, s naznakom dozvoljenih količina eksplozivnih tvari i dozvoljenog broja radnika za svaki opasni objekt i svaku prostoriju
- e) shemu unutarnjeg transporta s označenim pravcem, količinom i dinamikom, kao i načinom i uvjetom transporta eksplozivnih tvari i neopasnih tvari u krugu opasnih ili neopasnih pogona
- f) shemu kretanja radnika u krugu opasnog pogona
- g) radne propise
- h) propise o zaštiti na radu
- i) tehničke uvjete za sirovine, materijale, poluproizvode koji se koriste u proizvodnji i za gotove proizvode
- j) propise o tehnološkoj kontroli u tijeku proizvodnje

k) način zbrinjavanja otpadnih tvari nastalih za vrijeme proizvodnje [12]

Opasan dio pogona mora biti smješten na propisnoj sigurnoj udaljenosti od nastanjenih objekata, naselja, škola, bolnica, javnih objekata, željezničkih stanica, morskih, riječnih i zračnih pristaništa, željezničkih i cestovnih uređaja, vodova visokog napona itd., što treba osigurati u skladu sa Zakonom o eksplozivnim tvarima.

Opasan dio pogona mora biti smješten na terenu koji ima prirodnu zaštitu, a ako to nije moguće, postavlja se na otvorenom terenu uz poduzimanje mjera zaštite izgrađivanjem odgovarajućih zaštitnih nasipa, pošumljavanjem i odgovarajućim razmještajem objekata.

Raspored opasnih objekata mora biti takav da se izbjegne mogućnost prijenosa detonacije i požara na susjedne objekte, kao i rušenje susjednih objekata zračnim, udarnim i seizmičkim valom prouzrokovanim eksplozijom u određenom opasnom objektu.

Neopasni objekti opasnog pogona u kojima se nalaze veće grupe ljudi, kao restorani, garderobe, skloništa za sklanjanje ljudi u izvanrednim uvjetima, laboratoriji, mehaničke radionice i sl., moraju biti smješteni u granicama sigurne zone. Krug opasnog pogona mora biti osiguran vanjskom ili unutarnjom ogradom, redovito čišćen od suhog lišća i nije dozvoljeno unositi nečistoću u radne prostorije.

Objekti za rad s eksplozivnim tvarima dijele se na *objekte izložene opasnosti od eksplozije i objekte izložene opasnosti od požara*.

Kako u slučaju eksplozije produkti eksplozije ne bi bili razbacani izvan granica sigurnosti, objekti izložene opasnosti od eksplozije moraju odgovarati jednom od sljedećih tipova:

- a) lake konstrukcije
- b) konstrukcije s ispušnom stranom
- c) okvirne konstrukcije
- d) ukopane građevine sa zemljanim nadslojem [12]

Zaštitni nasipi kao zaštitni elementi grade se od zemlje, bez kamena i šljunka. Zemljani nasipi moraju biti obrasli niskom travom, a po mogućnosti zasađeni lišćarima. Otvori za prolaze u zaštitnim nasipima moraju biti postavljeni tako da su okolne zgrade zaštićene od neposrednog djelovanja zračnog udarnog vala u slučaju eksplozije ili direktnog plamena. Ukoliko se radne prostorije, priručna i međufazna skladišta griju, dopuštena je uporaba opreme za zagrijavanje



toplom vodom, parom ili zrakom, odnosno električnim sredstvima izvedenim u odgovarajućem stupnju mehaničke i protueksplozijske zaštite.

U opasnom dijelu pogona zabranjen je zračni razvod električnih energetske instalacije. Električna energetska instalacija mora biti izvedena za svaki opasni objekt, odnosno grupe opasnih objekata, da se struja može isključiti pomoću prekidača na jednoj ili više točaka udaljenih od objekta. Sve (nadzemne) zgrade u opasnom dijelu pogona moraju biti gromobraskom instalacijom zaštićene od groma.

Pogonski, radni strojevi i uređaji postavljaju se u prostorije osigurane od ulaska prašine ili pare iz opasne prostorije. Cestovna i tračna vozila te druga prijevozna sredstva s motornim pogonom normalno izvedena mogu se koristiti u krugu opasnog pogona ako odgovaraju propisima o prijevozu eksplozivnih tvari u javnom prometu, ali se ne smiju zaustavljati pred opasnim objektom na udaljenosti manjoj od 20 m.

Sukladno zahtjevima tehnološkog procesa, opasni objekti moraju biti i međusobno povezani odgovarajućim sredstvima veze (telefoni, interfoni, kamere, senzori ili pokazivači i sl.).

Obavezna zaštita od statičkog elektriciteta poduzima se u svim prostorijama gdje postoji opasnost od stvaranja eksplozivnih smjesa plina, pare lakozapaljivih tekućina s zrakom kao i tekućih ili krutih čestica lakozapaljivih sa zrakom. Svaki opasan objekt mora imati odgovarajuću opremu i sredstva za gašenje požara (aparati za početno gašenje požara, posude s pijeskom, alat).

Uništavanje eksplozivnih tvari radi se u skladu s uputama proizvođača i ne smije ugrožavati živote i zdravlje ljudi, njihovu imovinu i okoliš. Svi zaposlenici u proizvodnji eksplozivnih tvari moraju imati zaštitnu odjeću, obuću i ostalu opremu i zaštitna sredstva. U proizvodnji se mogu koristiti samo sirovine i materijali za koje postoji atest, specifikacije ili tehnološki list izdan od odgovorne pravne ili fizičke osobe. [12]

U opasni dio pogona nije dozvoljeno unositi ništa osim opreme za rad, a svi zaposlenici moraju imati propusnice za ulazak u pogon. Nakon završetka rada obavezno je čišćenje objekata i uređaja, ispunjavanje dnevnika rada i, ako se rad ne nastavlja u sljedećoj smjeni, zatvoriti vrata i prozore i isključiti dovod električne energije.

### 13. Eksplozivi u umjetnosti

Danas postoji nekoliko tehnika korištenja energije eksplozije za stvaranje umjetničkih djela: eksplozijsko graviranje, detonografija i izgradnja skulptura preciznim miniranjem. [2]

Izrada umjetničkih djela detonografijom počiva na učincima oblikovanog punjenja odnosno na kumulativnom efektu eksplozije. Za otkriće tog fenomena zaslužni su Franz von Baader (1792.) i Charles E. Munroe (1888.) Charles E. Munroe otkrio je da slova koja su utisnuta na eksplozivu bivaju utisnuta u metalnu ploču ako dođe do eksplozije na metalnoj ploči. [1] Tehniku nazvanu graviranje eksplozijom razvio je umjetnik Verner Molin. Jedno od njegovih djela nastalo tehnikom eksplozijskog graviranja je portret Alfreda Nobela.

„Tajna“ tehnike eksplozijskog graviranja je u tome da bilo koja prepreka, makar mekana poput lista drveta, na putu udara detonacijskih produkata ili pleksiglasa u površinu bakra, u bakrenoj ploči ostavlja svoj vjerni otisak. [2]

Tehniku detonografije razvila je Evelin Rosenberg. Tom tehnikom mogu se dobiti reljefi na metalnim pločama. Na mnogim javnim zgradama u SAD-u nalaze se njezina djela izrađena tom metodom. [1]

Crazy Horse memorijalni centar, koji se nalazi na planini Black Hills u Južnoj Dakoti (SAD), neprofitni je, kulturni, edukacijski i humanitarni projekt posvećen sjeverno-američkim Indijancima, točnije njihovom legendarnom poglavici Ludom Konju (Crazy Horse). U središtu memorijala ogromna je kamena skulptura Ludoga Konja (slika 25.), do danas najveća skulptura u povijesti čovječanstva. [2]



**Slika 25.** Skulptura Ludog Konja

Izvor: <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ5N5zWu975io7XwVb4i4WtP7v83AJYbH-MgXwhy87TGw&s> (pristupljeno: 22. 5. 2024.)

Osim po veličini ova je skulptura zanimljiva i po tome što je građena primjenom energije eksplozije, tj. miniranjem. Ona je jedinstven primjer tehnike preciznog konturnog miniranja do danas poznat.

Eksplozivne tvari, tj. eksplozije, od samog su početka gradnje skulpture „glavni alat“. Tijekom godina tehnike miniranja razvijale su se i usavršavale, a u gradnji skulpture uglavnom se primjenjuje tehnika preciznog konturnog miniranja, no u nekim slučajevima i tehnika miniranja plitkim manskim bušotinama. Većinu poslova vezanih za ručno bušenje manskih bušotina i miniranje obavljaju mineri koji su pravi alpinisti, često viseći na nekoliko desetaka ili stotina metara od zemlje, učvršćeni sigurnosnim konopima. [2]

## 14. ZAKLJUČAK

Eksplozivi su kemijski spojevi ili smjese koje imaju sposobnost da pod utjecajem vanjskog energetskog impulsa detoniraju, odnosno kemijski se razlažu u vrlo kratkom vremenskom periodu oslobađajući znatnu količinu plinova i topline.

Prema kemijskom sastavu dijele se na čiste kemijske spojeve ili mehaničke smjese kemijskih spojeva. Prema fizikalnim svojstvima i agregatnom stanju mogu biti u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju ili smjese čvrstih i tekućih spojeva koje mogu doći i u kombinaciji s plinovima. Prema načinu uporabe i namjeni dijele se na inicijalne, brizantne i barute.

Iako nas pojmovi eksplozije i eksplozivi podsjećaju na smrt i razaranje, ipak imaju oni i svoje „drugo lice“.

Razvojni put koji su prošli eksplozivi od najranije pojave eksplozivnih tvari, kao što su grčka vatra i barut, nameće ih kao nezamjenjive izvore energije primjenjive u mnogim civilnim, stvaralačkim i proizvodnim djelatnostima čovjeka – od rudarstva i građevinarstva pa do medicine i umjetnosti.

Omogućili su i eksploataciju dotad nezamislivih mineralnih sirovina u rudarstvu, a donijeli su i zrake svjetlosti rastjeravši noćnu tamu tako što su omogućili i proizvodnju električne energije u hidroelektranama.

Primjena eksploziva važna je i u poljoprivredi jer se koristi kao zaštita od poplava, a raketama, koje pomoću eksploziva raspršuju čestice koje sprečavaju stvaranje leda sagorijevanjem pirotehničke smjese, postiže se zaštita od tuče.

Snježne lavine također se obaraju eksplozivnim punjenjima, a eksplozivi se nalaze i u svemirskim letjelicama, u sigurnosnim sustavima automobila, u mikroeksplozijskim uređajima koji se koriste u medicini, a danas u svijetu postoje i brojni umjetnici koji primjenjuju različite tehnike stvaranja umjetničkih djela pomoću energije eksplozije.

Kako su uz pomoć eksploziva izgrađene brojne ceste, tuneli i željeznice, čime je omogućena i bolja prometna i trgovačka povezanost, možemo reći da su eksplozivi postali nezamjenjivi alati razvoja na mnoge načine, bilo vidljive ili nevidljive, direktne ili indirektno, i to već više od tisuću godina, a nastaviti će to biti u svakom pogledu i dalje.

## 15. LITERATURA

- [1] Dobrilović, M., Bohanek, V., Škrlec, V. : Eksplozivi i razvoj društva, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [2] Sućeska, M. : Eksplozije i eksplozivi, njihova mirnodopska primjena, Brodarski institut, Zagreb, 2001.
- [3] Škrlec, V. : Analiza primjenjivosti eksploziva smanjene gustoće za gospodarska miniranja, Disretacija, Zagreb, 2015.
- [4] Šipek, M. : Vojni eksplozivi, Završni rad, Karlovac, 2017.
- [5] Zečić, L. : Emulzijski i ANFO eksplozivi s dodatkom organskog otpada, Diplomski rad, Zagreb, 2015.
- [6] Pavelić, Đ. : Značajke i djelovanje eksploziva, Sigurnost 51(2) 165-167 (2009.).
- [7] Jeremić, R. : Privredni eksplozivi i neki aspekti njihove praktične primjene, Vojnotehnički glasnik 2/2006.
- [8] Pavičić, A., Kondor-Langer, M. : Prekursori eksploziva (eksplozivi kućne izrade): propisi i nadzor, broj 1-2, Policijska sigurnost, Zagreb, godina 29 (2020.).
- [9] Pavelić, Đ. : Sigurna primjena eksploziva, Sigurnost 52(1) 73-76 (2010).
- [10] Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari, Narodne novine, 122/12., 51/13, 47/15, 70/17.
- [11] Rovišćanec, T. : Distribucija eksplozivnih tvari te nadzor i kontrola lanca opskrbe eksplozivnih tvari u Republici Hrvatskoj, Diplomski rad, br. 084/OMIL/2021, Koprivnica, 2021.
- [12] Pravilnik o uvjetima i načinu proizvodnje eksplozivnih tvari, Narodne novine, br. 55/09., 70/17.
- [13] Škrlec, V., Bohanek, V., Deković, Z. : Brzina detonacije emulzijskih eksploziva smanjene gustoće, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 25, Zagreb, 2012.
- [14] Marunić, B.: Utjecaj debljine čelične obloge i promjera eksploziva na rezultate ispitivanja brzine detonacije ANFO eksploziva, Završni rad, Rudarsko-geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu (2021).
- [15] Narodne novine: Pravilnik o načinu označavanja eksplozivnih tvari, NN 139/2021 (2021) [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_12\\_139\\_2343.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_139_2343.html). (pristupio:13. 5. 2024.) (pristupljeno: 22. 5. 2024.)

## 16. POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Grčka vatra u pomorskoj bitci.....	4
<b>Slika 2.</b> Barut.....	5
<b>Slika 3.</b> Prvi projektili.....	5
<b>Slika 4.</b> Vanjska obilježja eksplozije.....	7
<b>Slika 5.</b> Shematski prikaz eksplozije.....	7
<b>Slika 6.</b> Munja – električno pražnjenje u atmosferi.....	9
<b>Slika 7.</b> Hirošima nakon eksplozije atomske bombe.....	11
<b>Slika 8.</b> Vanjska obilježja nuklearne eksplozije.....	12
<b>Slika 9.</b> Eksplozivna erupcija vulkana.....	12
<b>Slika 10.</b> Anak Krakatau – ostatak od nekadašnjeg otoka Krakatau.....	12
<b>Slika 11.</b> Kompjuterska simulacija udara meteorita u Zemlju.....	13
<b>Slika 12.</b> Naša galaksija – Mliječna staza.....	15
<b>Slika 13.</b> Opća podjela eksplozivnih tvari.....	17
<b>Slika 14.</b> Strukturna formula živinog fulminata.....	19
<b>Slika 15.</b> Tetrazen.....	19
<b>Slika 16.</b> Trotil.....	20
<b>Slika 17.</b> Oktogen.....	20
<b>Slika 18.</b> Barut.....	21
<b>Slika 19.</b> Vodena bujica.....	37
<b>Slika 20.</b> Akumulacijsko jezero.....	38
<b>Slika 21.</b> Snježna lavina.....	39

<b>Slika 22.</b> Tuča.....	40
<b>Slika 23.</b> Elektronička identifikacijska oznaka.....	49
<b>Slika 24.</b> Oznaka CE.....	50
<b>Slika 25.</b> Skulptura Ludog Konja.....	57