

1. OPŠTE KARAKTERISTIKE EKSPLOZIVNIH MATERIJA

1.1 Pojam eksplozije i eksplozivne materije

Eksplozija, u širem smislu te reči, predstavlja proces veoma brzog fizičkog ili hemijskog preobražaja sistema praćen prelazom njegove potencijalne energije u mehanički rad. Rad koji se obavlja pri eksploziji uslovljen je brzim širenjem gasova ili para, bez obzira da li oni postoje pre eksplozije ili su stvoreni u toku eksplozije.

Osnovno spoljno obeležje svake eksplozije je nagli **skok pritiska** u sredini u kojoj se eksplozija događa. Na ovoj osobini zasnovano je rušeće dejstvo eksplozije.

Eksplozija može biti izazvana pojavama **fizičkog, hemijskog ili nuklearnog karaktera**.

Kod **fizičkih eksplozija** - izazvanih fizičkim pojavama - dolazi do skoro trenutnog prelaza materije iz jednog fizičkog stanja u drugo. Pojave koje izazivaju fizičku eksploziju su, na primer:

- Eksplozija pregrejanog parnog kotla, gde se mehanički rad vrši na račun energije pare koja je nastala isparavanjem pregrejane vode. Eksplozija nastaje usled savladavanja otpornosti zidova rezervoara i njeno rušeće dejstvo zavisi od pritiska pod kojim se para ili gas nalaze u rezervoaru.

- Udar meteora, gde se kinetička energija pretvara u toplotnu usled naglog kočenja, jer kod tela sa brzinom 1.5 km/s i većom usled naglog kočenja dolazi do usijanja, topljenja i isparavanja tih tela, pri čemu se naglo zagreva okolni vazduh.

- Eksplozije pri snažnim električnim pražnjenjima, npr. munja, pri čemu se razlike potencijala izjednačavaju u intervalu vremena reda 10^{-6} ÷ 10^{-7} s, usled čega se u zoni pražnjenja postižu ogromne gustine energije i visoke temperature (reda stotinak hiljada stepeni); to prouzrokuje naglo povećanje pritiska vazduha na mestu pražnjenja i širenje poremećaja u okolnu sredinu.

- Iznenadni prelazak metala u paru pri propuštanju električne struje vrlo visokog napona kroz tanke metalne niti. Ova pojava praćena je visokom temperaturom (oko 20000 °C), visokim pritiskom i zvučnim efektom - ima, dakle, karakter eksplozije.

Fizičke eksplozije imaju vrlo ograničenu primenu i interesantne su samo sa stanovišta specijalnih naučnih ispitivanja.

Nuklearne eksplozije posledica su lančanih nuklearnih reakcija, koje se mogu odvijati fisijom (cepanjem) ili fuzijom (spajanjem) atomskih jezgara, uz oslobađanje veoma velike količine energije u različitim pojavnim oblicima:

- toplotna energija ($4 \cdot 10^{13}$ ÷ $4 \cdot 10^{18}$ kJ/kg)
- mehanička energija
- energija zračenja (radijacija)

Ovo je oblast posebnih razmatranja. Za vojnu tehniku od najvećeg interesa su eksplozivni procesi praćeni **hemijskim preobražajem**. Nosioci ovih procesa su hemijska jedinjenja ili smeše, koje se nazivaju opštim imenom **eksplozivne materije**.

Eksplozivne materije (EM) predstavljaju, u termodinamičkom smislu, relativno nestabilne sisteme koji se pod dejstvom određenih spoljašnjih uticaja vrlo brzo egzotermički preobražavaju stvarajući jako zagrejane gasove ili pare. Gasoviti produkti eksplozije, zahvaljujući isključivo velikoj brzini hemijskih reakcija, praktično zauzimaju u prvom momentu zapreminu same EM, i po pravilu se nalaze pod visokim pritiskom. Prema tome, da bi hemijski sistem po karakteru bio eksplozivan mora da zadovolji tri osnovna uslova: da je **egzoterman**, da se **odvija velikom brzinom** i da **stvara gasove**.

Ta svojstva mogu biti kod različitih EM izražena u različitom stepenu, a samo njihovo zbirno dejstvo daje pojavi karakter eksplozije. Razmotrimo značenje svakog od ovih faktora.

Egzotermnost reakcija. Izdvajanje toplote je prvi neophodan uslov bez koga ne bi došlo do eksplozije. Ako reakcija ne bi bila praćena izdvajanjem toplote, ne bi bio moguć razvoj eksplozije, a s tim bi bilo isključeno i samoprostiranje eksplozije. Očigledno da materije koje za svoje raspadanje traže neprestano dovođenje toplote spolja ne mogu raspolagati eksplozivnim svojstvima.

Na račun oslobođene toplote prilikom eksplozije, koju nazivamo **toplotom eksplozije**, zagrevaju se gasoviti produkti eksplozije do temperature nekoliko hiljada stepeni. Što je veća toplota eksplozije i brzina njenog prostiranja, to je veće rušeće dejstvo eksplozije. Toplota eksplozije je osnovni kriterijum radne sposobnosti EM.

Za savremene eksplozivne materije, koje u tehnici imaju najčešću primenu toplota eksplozije iznosi od 3700 do 7500 kJ/kg.

Velika brzina odvijanja procesa. Najkarakterističniji znak eksplozivnog preobražaja je velika brzina reakcije, koja se znatno razlikuje od običnih hemijskih reakcija. Vreme potrebno za raspadanje molekula eksplozivne materije i njihovo pregrupisanje u molekule produkata eksplozije je reda 10^{-5} do 10^{-6} s (eksplozivno raspadanje 1 kg dinamita traje samo $2 \cdot 10^{-5}$ s, a trotilskog eksplozivnog metka mase 0.4 kg samo $1 \cdot 10^{-5}$ s). Sagorevanje običnih zapaljivih materija odvija se relativno sporo, što ima za posledicu širenje produkata sagorevanja u toku sagorevanja i gubitak oslobođene energije (koja je često manja od energije oslobođene sagorevanjem drugih goriva) putem toplote provođenja i zračenja. U slučaju, pak, eksplozivnih reakcija, zahvaljujući velikoj brzini reakcije, praktično nema gubitaka energije u toku same reakcije. Može se smatrati da se celokupna oslobođena energija na kraju reakcije nalazi u zapremini koju je zauzimala eksplozivna materija. Na taj način postiže se takva koncentracija energije (količina energije po jedinici zapremine eksplozivne materije) kakvu je nemoguće postići u uslovima normalnih brzina hemijskih reakcija.

Naročito velika koncentracija energije postiže se pri eksploziji čvrstih i tečnih eksplozivnih materija koje uglavnom nalaze primenu u tehnici. U Tabeli 1.1 data je zapreminska koncentracija energije za neke eksplozivne i zapaljive materije.

Tabela 1.1

Eksplzivne EM i zapaljive smeše	Zapreminska koncentracija energije (kJ/dm ³)
Nitroceluloza (13.3% N ₂)	5650.
Nitroglicerin	9970.
Smeša ugljenika i O ₂	17.2
Smeša benzolovih para i O ₂	18.4
Smeša vodonika i O ₂	7.1

Napomena: Vrednosti date za zapaljive smeše proračunate su pod pretpostavkom da se sagorevanje tih smeša završava u početnoj zapremini koju zauzima zapaljiva smeša.

Iz tabele se vidi da je zapreminska koncentracija energije, koja se dostiže pri eksploziji EM, nekoliko stotina i hiljada puta veća od zapreminske koncentracije zapaljivih smeša. Zahvaljujući ovako velikim koncentracijama energije, EM raspolažu velikom snagom - sposobne su da izvrše izvanredno veliki rad u kratkom vremenskom intervalu. Na ovoj osobini zasnovano je i njihovo rušeće dejstvo. Ono nije zasnovano na oslobadjanju velike količine energije, već na velikoj snazi. To pokazuje Tabela 1.2.

Tabela 1.2

Vrsta materije	Stanje materije	Materija	Toplota eksplozije (kJ/kg)	Vreme odvijanja procesa (s)	Snaga (kW/kg)
GORIVA	gasovito	zemni gas	36000÷40600		
	tečno	benzin	44000	360 ÷ 600	17.5
		D-2	42000		
		lož ulje	40000		
	čvrsto	kameni uglj	30500÷35000	540÷900	14.7
		lignit	24700÷29400		
drvo		18800			
EKSPLOZIVNE MATERIJE	Brizantne	NGI	6322	10 ⁻⁵	500·10 ⁶
		oktogen	6092		
		pentrit	5895		
		TNT	5066		
	Potisne	NC	4032	10 ⁻⁵	300·10 ⁶
		CB	3015		
	Inicijalne	tetrazen	2332		
		Pb - azid	1540		
Hg - fulminat		1486			

O brzini procesa eksplozivnog razlaganja može se suditi na osnovu vrednosti linearne brzine rasprostiranja eksplozije u eksplozivnom punjenju. Maksimalne brzine rasprostiranja eksplozije u savremenim EM, primenjenim u tehnici, kreću se od 1000 do 9000 m/s. Ova brzina rasprostiranja eksplozije naziva se kod tzv. brizantnih eksploziva **detonacionom brzinom** i predstavlja jednu od osnovnih karakteristika eksploziva, koja opredeljuje njegovu primenu u odgovarajućoj vrsti projektila. U Tabeli 1.3 date su maksimalne brzine detonacije za neke eksplozive najčešće primenjene u vojnoj tehnici.

Tabela 1.3

Eksploziv	Brzina detonacije D (m/s)
Heksogen	8300
Pentrit	8100
Nitroglicerin	8000
Tetrit	7700
Pikrinska kiselina	7200
Nitroceluloza	6950
Trotil	6900

Podaci dati u Tabeli 1.3 važe za gustinu koja praktično može da se ostvari za svaku od navedenih materija.

1. Heksogen je brizantni eksploziv. Ne koristi se u praksi često sam zbog prejake osetljivosti na spoljne impulse. U praktičnim konstrukcijama koristi se njegova mešavina sa trotilom u odnosu TNT/RDX=50/50, a ta mešavina se naziva kompozicija "B". Koriste se i drugi odnosi (40/60; 20/80; itd.) Heksogen se koristi i kao RDX+flegmatizator, PT projektili (kumulativni, Hopkinsonov efekt), elementi inicijalnog lanca.

2. Pentrit - brizantna EM. Koristi se u slične svrhe kao RDX

3. Nitroglicerin - za proizvodnju baruta

4. Tetrit - za elemente inicijalnog lanca

5. Pikrinska kiselina - retko se kod nas koristi

6. Nitroceluloza - za proizvodnju baruta

7. TNT - kao eksplozivno punjenje

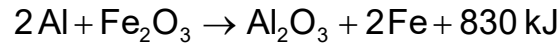
Gasoviti produkti reakcije. Visoki pritisci koji se javljaju pri eksploziji ne bi mogli biti dostignuti, ako se hemijske reakcije ne bi odigravale uz formiranje velike količine gasovitih produkata. Zapremina gasovitih produkata eksplozivne reakcije (svedena na normalne fizičke uslove) nekih EM data je u Tabeli 1.4.

Tabela 1.4

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Zapremina gasovitih produkata [l]	
	za 1 kg EM	za 1 l EM
Crni barut	280	336
Nitroceluloza (13.3 % N ₂)	765	995
Pikrinska kiselina	715	1145
Trotil	740	1180
Nitroglicerin	690	1105

Od 1 l EM stvara se oko 1000 l gasovitih produkata, koji se u trenutku eksplozije nalaze pod velikim, pritiskom, jer usled velike brzine reakcije na kraju eksplozije zauzimaju prvobitnu zapreminu EM. Maksimalni pritisak kod čvrstih EM dostiže vrednost i preko 100000 bar.

Koliko je značajno da se pri reakciji obrazuju gasoviti produkti potvrđuje i primer termitne reakcije:



koja nije praćena eksplozijom i pored toga što u toku reakcije temperatura dostiže 3000 °C, jer su produkti reakcije, gvoždje i aluminijumoksid, u tečnom stanju.

Jasno je, dakle, da samo u uslovima jednovremenog spajanja triju izloženih osnovnih kvalitativnih karakteristika - velika brzina reakcije, egzotermnost reakcije i obrazovanje gasovitih produkata - jedna hemijska reakcija može da ima karakter normalne eksplozije. Ove tri osnovne kvalitativne karakteristike eksplozivnih reakcija određuju hemijski sastav EM i dovode do kvalitativne razlike npr. između goriva i EM. Razlika je upravo u tome što goriva sagorevaju uz pomoć kiseonika iz vazduha, a EM ga sadrže kao jednu od bitnih komponenti.

1.2 Podela eksplozivnih procesa

U zavisnosti od uslova i načina aktiviranja, prirode EM i nekih drugih faktora procesi eksplozivnog preobražaja se mogu rasprostrirati različitim brzinama. Po karakteru i brzini rasprostiranja svi poznati eksplozivni procesi dele se na sledeće osnovne vidove: **sagorevanje**, **eksplozija** i **detonacija**.

Proces **sagorevanja** eksplozivne materije odvija se najčešće promenljivom brzinom koja može da dostigne vrednost od nekoliko m/s. Brzina sagorevanja bitno zavisi od spoljnog pritiska i znatno raste sa njegovim porastom. Na atmosferskom pritisku (u slobodnoj atmosferi) sagorevanje teče skoro bez zvučnih efekata. U ograničenoj zapremini npr. kanalu cevi oruđa, proces se odvija znatno brže i praćen je više ili manje brzim porastom pritiska gasovitih produkata. Sagorevanje je osnovni vid eksplozivnog razlaganja baruta i raketnih goriva.

Eksplozija je proces kod koga brzina eksplozivnog razlaganja ima vrednost nekoliko stotina, pa čak i nekoliko hiljada m/s i malo zavisi od spoljnih uslova. Karakteristična obeležja eksplozije, pored male zavisnosti od spoljnih faktora, su nagli skok pritiska na mestu eksplozije i promenljiva brzina rasprostiranja procesa. Karakter dejstva eksplozije je nagli udar gasova na okolnu sredinu, koji izaziva drobljenje i velike deformacije predmeta na relativno malom rastojanju od mesta eksplozije.

Detonacija se po svojoj prirodi ne razlikuje od eksplozije, već predstavlja njenu stacionarnu formu. Detonacija je eksplozivni proces koji se odvija konstantnom brzinom, maksimalnom za datu eksplozivnu materiju i date uslove i prelazi brzinu zvuka u toj EM. Brzina detonacije predstavlja jednu od najvažnijih karakteristika svake EM, jer se u uslovima detonacije postiže maksimalno rušeće dejstvo.

Procesi eksplozije i detonacije se suštinski razlikuju od procesa sagorevanja po mehanizmu svog prostiranja: sagorevanje se prenosi kroz masu EM putem toplotne provodljivosti, difuzijom i zračenjem, a eksplozija i detonacija putem sabijanja materije udarnim talasom.

1.3 Podela eksplozivnih materija

a) Podela prema agregatnom stanju:

Gasovite EM. Kod njih je koncentracija energije najmanja, pa se prilikom eksplozivnog procesa razvija 200 do 2000 puta manje energije po jedinici zapremine nego kod tečnih i žvrstih EM; zato su se primenjivale u motorima SUS. Od 1960-tih godina proučavaju se gasne smeše određenih koncentracija i primenjuju za rušeci efekat u vojne svrhe; to su tzv. "aerosolne bombe", najčešće se za njih koriste sledeće smeše goriva: kerozin, heptan, metan, propilnitrat, itd. Te smeše sa vazduhom u određenim koncentracijama stvaraju gasovite EM koje imaju rušeci dejstvo i do 500 m u prečniku, a živu silu ubijaju i do 1000 m u prečniku.

Tečne EM. Iako imaju veliku sposobnost razaranja ne upotrebljavaju se mnogo u praksi i to najčešće zbog prevelike osetljivosti i smanjene stabilnosti. Neke tečne materije su zbog specifičnih svojstava želatinizacije sa nitrocelulozom upotrebljene kao komponente kod potisnih EM (npr. gliceroltrinitrat ili nitroglicerol - NG), a neke se koriste u raketnom pogonu.

Čvrste EM. Imaju široku primenu u praksi (u vojne i privredne svrhe).

b) Podela prema nameni

Ovo je najjednostavnija podela EM i po njoj sve EM se mogu podeliti u četiri grupe:

- inicirajuće EM
- brizantne EM
- pogonske EM (baruti i raketna goriva)
- pirotehničke smeše

Inicirajuće EM. Poznate su još pod imenom **primarni eksplozivi**. Primenjuju se kao sredstva za izazivanje eksplozivnih procesa i detonacije drugih eksplozivnih materija (npr. za izazivanje detonacije u projektilima, minerskim sredstvima itd.)

Glavne karakteristike ove vrste eksplozivnih materija su sledeće:

- eksplozivni proces u obliku detonacije javlja se kao posledica relativno malog spoljašnjeg toplotnog ili mehaničkog uticaja,

- maksimalna brzina eksplozivne reakcije postiže se za izvanredno kratko vreme, neuporedivo kraće nego u slučaju eksplozivne reakcije drugih vrsta eksploziva (kod nekih inicijalnih eksploziva, npr. kod azida olova, praktično ne postoji period porasta brzine eksplozivne reakcije - proces se nezavisno od dimenzije eksplozivnog punjenja odvija u celini u detonacionom obliku).

Zahvaljujući ovim karakteristikama, veoma malo punjenje inicijalnog eksploziva je dovoljno za izazivanje eksplozije brizantnih eksploziva. Otuda je i najčešća primena inicijalnih eksploziva u tzv. inicirajućim sredstvima - inicijalnim i detonatorskim kapislama.

Najvažniji predstavnici ove grupe eksplozivnih materija su:

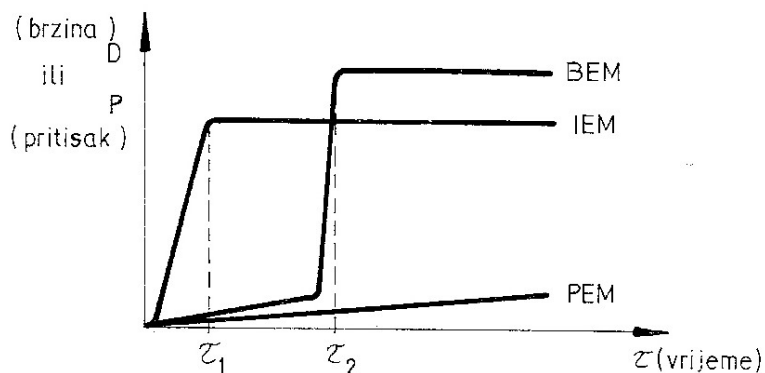
- soli teških metala i prskave žive - fulminati (najznačajniji je živin fulminat $\text{Hg}(\text{ONC})_2$)
- soli azotovodonične kiseline - azidi (najčešću primenu našao je azid olova PbN_6)
- soli teških metala i stifninske kiseline (najpoznatiji je stifnat olova $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_8\text{Pb}$)
- karbidi teških metala - acetilenidi (npr. acetilenid srebra Ag_2C_2)

U inicijalne EM spada i tetrazen $\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$.

Inicirajuće smeše (najčešće se sastoje od živinog fulminata, kalijum hlorida itd.) koriste se u svojstvu detonirajućih i pripalnih sastava.

Brizantne EM (Brizantni eksplozivi). Poznate su još pod imenom jakih eksploziva i sekundarnih EM. Ova grupa eksploziva razlikuje se od grupe primarnih eksploziva znatno većom postojanošću, odnosno manjom osetljivošću - detoniraju pod dejstvom značajnog spoljnog uticaja, najčešće uz pomoć inicijalnih eksploziva.

Osnovni oblik eksplozivnog preobražaja i kod ove vrste eksploziva jeste detonacija, ali je porast brzine reakcije do maksimalne detonacione brzine znatno sporiji nego kod primarnih eksploziva (sl.1.1).



Slika 1.1. Zavisnost brzine detonacije i pritiska od vremena za različite vrste EM

Sekundarni eksplozivi imaju vrlo široku primenu u tehnici, posebno vojnoj. Upotrebljavaju se u rudarstvu, građevinarstvu (ugljenokopima, kamenolomima, u izgradnji tunela) i u vojne svrhe kao eksplozivno punjenje projektila i minsko-eksplozivnih sredstava.

Najvažniji predstavnici ove grupe eksploziva su:

- **Nitrati ili složeni estri azotne kiseline** (npr. **nitroglicerina**, tj. **glicerintrinitrat** $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$, **pentrit**, tj. **pentaeritritoltetranitrat** $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$, **nitrati celuloze** npr. $\text{C}_{24}\text{H}_{29}\text{O}_9(\text{ONO}_2)_{11}$).

• **Nitrojedinjenja** - najveću primenu imaju nitrojedinjenja aromatičnog tipa npr. **trotill**, tj. **trinitrotoluol** $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ (u SAD i drugim zapadnim zemljama poznat pod nazivom tolit; kod nas se upotrebljava skraćenica TNT), **pikrinska kiselina (trini-trofenol)** $C_6H_2(NO_2)_3OH$ i **tetril (trinitrofenilmetilnitramin)** $C_6H_2(NO_2)_3N(CH_3)(NO_2)$.

Izvestan značaj imaju nitrojedinjenja benzola i naftalina, npr. **dinitrobenzol** $C_6H_4(NO_2)_2$ i **dinitronaftalin** $C_{10}H_6(NO_2)_2$. Praktičan značaj imaju i neka nitrojedinjenja nearomatičnog tipa kao što su **heksogen (trimetiltrinitramin)** $C_3H_6N_6O_6$ i **nitroguanidin** $CH_4O_2N_4$.

• **Eksplozivne smeše** od kojih su najpoznatije: dinamiti (nitroglicerina+primese) i amoniti (amonitratne eksplozivne materije npr. amatol - 80% amonijumnitrata i 20% trotila ili amonal-82% amonijumnitrata, 12% ksilila i 6% aluminijuma); takođe se koriste smeše trotila i heksogena i dr. Eksplozivne smeše primenjuju se iz dva razloga:

- da se umiri neki "jak" i osetljiv eksploziv,
- u nedostatku sirovina (u ratnim uslovima).

Prva grupa, nitrati, upotrebljavaju se najčešće, sem pentrita, kao jedna od komponenti bezdimnih baruta i dinamita. Eksplozivi drugih dveju grupa, nitrojedinjenja i eksplozivne smeše, najčešće se koriste kao eksplozivna punjenja projektila, minerskih i eksplozivnih sredstava.

Baruti. Osnovni oblik preobražaja baruta je sagorevanje. Baruti se dele u dve grupe:

- baruti mehaničke smeše,
- baruti koloidnog tipa ili malodimni baruti.

Prvoj grupi pripadaju kompozitni baruti (vezivo+oksidator+aditivi) i dimni ili crni barut. Crni barut predstavlja smešu šalitre, sumpora i drvenog uglja. Odnos ovih sastojaka u crnom barutu kreće se u granicama oko 75% kalijumnitrata, 15% drvenog uglja i 10% sumpora. Tačan sastav crnog baruta zavisi od njegove upotrebe. Tako npr. lovački crni barut ima sastav 78:10:12. Pored gasovitih produkata sagorevanja (oko 280 l gasa na 1 kg CB) oko jedna trećina od ukupne količine sagorelog baruta ostaje u obliku čvrstih produkata sagorevanja. Danas se crni barut upotrebljava najviše za lovačku municiju, za razne vrste štapina (u minerskoj tehnici), za razne tempirne smeše, kao punjenje projektila za školska gađanja i kao sredstvo za pripaljivanje pogonskih punjenja projektila (klasičnih i raketnih) sastavljenih od malodimnih baruta.

Druga grupa, baruti koloidnog tipa, obuhvata nekoliko vrsta baruta koje određuje kvantitativni odnos aktivnih komponenata. Osnovu svih malodimnih baruta predstavlja nitroceluloza, ali se prema učešću drugih aktivnih komponenata u barutnoj masi razlikuju sledeće vrste malodimnih baruta:

• **Nitrocelulozni baruti** (baruti sa isparljivim rastvaračem) baruti sadrže nitrocelulozu (NC) i do 98%, ostatak je rastvarač, difenilamin i vlaga

• **Nitroglicerinski baruti** sadrže dve aktivne komponente: nitroglicerina (NG) i NC. Kod ove vrste baruta postoje sledeće podvrste:

- balistiti - sadrže oko 40% NG (baruti sa teško isparljivim rastvaračem); ostatak kolodijum pamuk (nitroceluloza).

- korditi - sadrže do 60% NG i kao dodatni rastvarač 1.5% acetona (baruti sa mešovitim rastvaračem); kolodijum pamuk je zamenjen praskavim pamukom (nerastvoriva nitroceluloza).
- baruti sa neisparljivim rastvaračem; kao plastifikatori NC služe EM kao trotil, dinitrotoluol i dr.

- **Diglikolski baruti** sadrže dve aktivne komponente: nitrocelulozu i dinitrodiglikol (20÷40%).

- **Nitrovanidinski baruti** sadrže tri aktivne komponente: NC, NG ili dinitrodiglikol i nitrovanidin.

Pored date podele malodimnih baruta u praksi je uobičajeno da se dele i prema broju aktivnih komponenti na jednobazne (nitrocelulozni), dvobazne (nitroglicerinski i diglikolski) i trobazne barute (nitrovanidinski).

Malodimni baruti se razlikuju od crnog baruta po znatno većoj energetskej moći, mogućnosti regulisanja brzine sagorevanja u širokim granicama i skoro potpunim odsustvom čvrstih produkata sagorevanja. Primenjuju se kao pogonsko punjenje klasičnih i raketnih projektila.

Pirotehničke smeše predstavljaju mehaničke smeše neorganskih oksidanata sa organskim i metalnim gorivima i vezujućim aditivima. U izvesnim uslovima imaju sposobnost detonacije i relativno visoku osetljivost na spoljne uticaje, ali je njihov osnovni oblik preobražaja sagorevanje.

Upotrebljavaju se uglavnom kao punjenja projektila specijalne namene (osvetljavajućih, zapaljivih, signalnih, dimnih, itd).

1.4 Osnovni zahtevi za eksplozivne materije

Praktična primena postavlja pred eksplozivne materije određene zahteve koji se moraju ispuniti ako se želi celishodna i bezbedna primena u tehnici. Ti zahtevi su:

- dovoljna energetska moć koja obezbedjuje zahtevanu pogonsku silu ili rušecé dejstvo,
- određene granice osetljivosti na spoljašnje uticaje koje, s jedne strane obezbeđuju sigurnost pri upotrebi i, s druge strane, obezbeđuju lako izazivanje eksplozije,
- sposobnost zadržavanja fizičko-hemijskih karakteristika, odnosno eksplozivnih karakteristika za dugi vremenski period,
- dostupne sirovine, jednostavnost i sigurnost fabrikacije,
- niz zahteva koji se odnose na fizička (nehigroskopsnost, neisparljivost, nerastvorljivost, gustina itd.) i eksplozivna svojstva (izdržljivost na mehanička naprezanja itd.).

1.5 Karakteristike eksplozivnih materija

1.5.1. Fizičke karakteristike

a) **Gustina EM.** Podrazumeva se odnos mase i zapremine EM: $\rho = m/V$. Gustina utiče na brzinu detonacije, prenos detonacije, osetljivost, kritični prečnik. Sreću se tri pojma gustine:

- kristalna gustina je maksimalna moguća gustina koju bi EM imala kada bi se sav prostor koji zauzima popunio kristalima,

- gravimetrijska gustina predstavlja odnos mase EM prema zapremini koju zauzima ta masa EM slobodnim padom, uključujući nepopunjeni prostor između čestica EM,

- gustina punjenja predstavlja odnos mase EM i zapremine koju zauzima materija u određenom prostoru.

b) Poroznost EM ili šupljikavost ima posebnu ulogu pri prelazu iz sagorevanja u detonaciju.

c) Disperznost definiše veličinu čestica. Razlikuju se :

- grubo dispergovani sistemi, sa česticama veličine od 0.1 do 10 mm (spadaju u granularne EM)

- fino dispergovani sistemi, sa česticama veličine od 10^{-3} do 10^{-6} mm (spadaju u praškaste EM)

d) Sipkost EM je sposobnost EM da se lako može isipati i dobro popuniti prostor u koji se stavlja. Karakteriše se uglom prirodnog pada kod slobodnog sipanja na horizontalnoj površini; što je manji taj nagib bolja je sipkost. Sipkost veoma mnogo zavisi od količine vlage, jer porast vlažnosti od 0.5 do 1% dovodi do naglog smanjenja sipkosti.

e) Plastičnost EM je karakteristika nesipkih EM. Plastične EM su one materije koje omogućavaju lagano deformisanje punjenja EM, primaju željeni oblik, ne rasipaju se i nemaju elastičnih deformacija. Kod plastičnih materija često dolazi do očvršćavanja, pa se gnječenjem dobija ponovo plastična struktura. Takva povratna prestrukturalizacija naziva se **tiksotropija**. Da bi se to sprečilo dodaju se površinski aktivne materije ili emulzije ulja.

f) Tečljivost. Zavisi od temperature, stepena zgušnjavanja tečne faze i dužine čuvanja EM.

g) Viskozitet se definiše kao unutrašnje trenje ili svojstvo EM da se opire tečenju.

1.5.2. Hemijske karakteristike

Hemijske karakteristike definišu reaktivnu sposobnost EM sa metalima, nemetalima, kiselinama, bazama, itd. Tu spadaju i unutrašnje reakcije autokatalitičke prirode od kojih zavisi hemijska stabilnost EM. Hemijske karakteristike zavise od hemijskog sastava EM, prisutnosti različitih primesa, temperature, vlažnosti, itd.

1.5.3 Termodinamičke karakteristike

a) Bilans kiseonika je broj koji pokazuje višak ili manjak O_2 za potpunu oksidaciju C i N_2 , izražen u procentima od količine EM.

b) Sastav produkata eksplozije predstavlja sastav produkata eksplozije neposredno posle završetka hemijskih reakcija u EM (ne postoje metode za određivanje sastava baš u tom trenutku).

c) Specifična zapremina gasova je zapremina gasova koji se stvaraju tokom eksplozije 1 kg EM.

d) Temperatura eksplozije je početna temperatura produkata eksplozije.

e) Pritisak eksplozije je pritisak gasovitih produkata eksplozije u trenutku dostizanja hemijske i termodinamičke ravnoteže.

f) Toplota stvaranja je ona količina toplote koja se izdvaja ili apsorbuje pri reakciji stvaranja 1 kg ili 1 mol EM iz jednoatomnih materija.

g) Toplota eksplozije je ona količina toplote koja se izdvaja pri potpunom eksplozivnom preobražaju 1 mol (1 kg) EM.

1.5.4 Eksplozivne karakteristike

a) Osetljivost je sposobnost EM da reaguje na neki spoljni početni impuls, da od njega primi energiju koja je dovoljna za početak eksplozivnog preobražaja.

b) Kritični prečnik je minimalni prečnik eksplozivnog punjenja kod kojeg se može odvijati proces detonacije.

c) Radna sposobnost je sposobnost EM da pri eksploziji vrši rad nad okolinom.

d) Rušće dejstvo je delovanje udarnih talasa, nastalih eksplozijom EM, na većoj daljini.

e) Brizantno delovanje je delovanje EM u neposrednoj blizini centra eksplozije.

f) Prenos detonacije je prenošenje eksplozije sa aktivnog punjenja EM na pasivno punjenje EM na određenoj udaljenosti.

g) Brzina detonacije je brzina prostiranja detonacionog talasa kroz EM.