

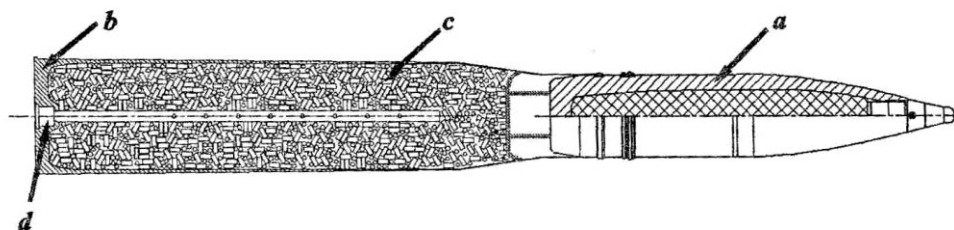
UVOD U SISTEME NAORUŽANJA

MUNICIJA

1. OPŠTI POJMOVI

Pod pojmom **projektil** podrazumevaju se sistemi koji se sa odredenom namenom upućuju ka izabranom cilju. **Bojeva glava** predstavlja izvršni element čitavog projektilskog sistema i od njene pouzdanosti i efikasnosti neposredno zavise pouzdanost i efikasnost (poseban pojam uglavnom kod raketnih projektila). Naziv projektil danas najbolje odgovara kada se jednim pojmom žele da obuhvate sve vrste streljačkih i malokalibarskih zrna, klasičnih artiljerijskih granata i bacačkih mina i sve vrste raketnih projektila bez obzira na način njihovog lansiranja i sistem vođenja. Uobičajeno je da se projektili zbog različitih sistema lansiranja dele na **klasične i raketne**. **Klasičan** projektil se na cilj upućuje posredstvom orudja ili oružja. **Raketni** projektil u opštem slučaju predstavlja konstruktivnu celinu koja sjedinjuje pogonski motor i koristan teret tzv. bojevu glavu.

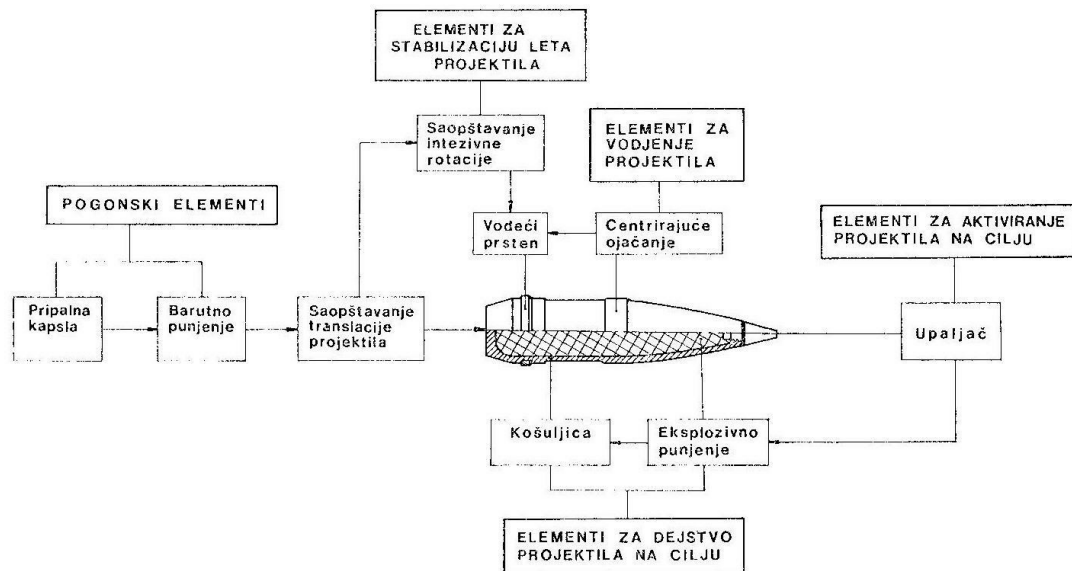
Iz praktičnih i taktičkih razloga klasični projektil je vrlo često pre lansiranja - upućivanja na cilj spojen sa barutnim punjenjem i na taj način predstavlja deo metka, koji, pored projektila obuhvata još i sledeće elemente: čauru, barutno punjenje i sredstvo iniciranja (pripaljivanja) barutnog punjenja (slika 1.1).



Slika 1.1. Metak artiljeriskog orudja

a - projektil, b - čaura, c - barutno punjenje
d - pripalno sredstvo (topovska kapsla)

Sva municija, bez obzira na sistem naoružanja čiji je sastavni deo, poseduje odredjene sastavne elemente koji joj omogućavaju izvršenje zadatka za koji je namenjena. Elementi municije mogu konstruktivno biti izvedeni na različite načine i često se može raditi o jednostavnim detaljima ili pak o složenim sklopovima i uređajima, ali njihova namena je u osnovi ista. U opštem slučaju elemente municije možemo razvrstati prema sledećem (slika 1.2):



Slika 1.2. Blok šema klasične artiljerijske municije

- a) elementi za pogon projektila (barutno punjenje, raketni motor i sl.),
- b) elementi za aktiviranje pogonskog punjenja ili pripalni elementi (udarne kapsle, elektrokapsle, pripale i sl.),
- c) elementi za vođenje projektila (vodeći prstenovi, centrirajući prstenovi, sistemi za upravljanje letom),
- d) elementi za stabilizaciju leta projektila (krilca i elementi za saopštavanje rotacije: vodeći prsten, zakošene mlaznice),
- e) elementi za dejstvo projektila na cilj (eksplozivno punjenje, košuljica i sl.),
- f) elementi za aktiviranje projektila na cilju (raznovrsni upaljači).

Pored ovih najvažnijih elemenata neke vrste municije mogu imati i druge sastavne elemente koji joj poboljšavaju izvesne eksploatacione karakteristike. Takvi elementi mogu biti: čaure (kod klasične i streljačke municije), traseri (za vizuelno ili optičko praćenje leta projektila), balističke kape (za aerodinamičko oblikovanje projektila), itd.

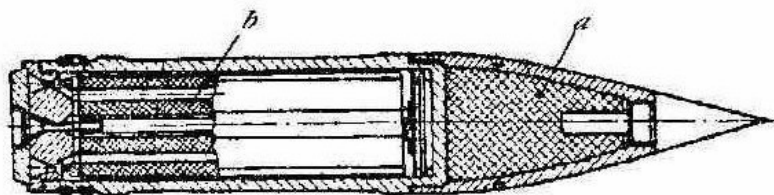
2. PODELA PROJEKTILA

Imajući u vidu veliki broj različitih vrsta projektila i mogućnost podele prema više različitih kriterijuma, čini se da je najjednostavnije projekte deliti po načinu lansiranja i prema nameni. I jedna i druga podela su najprikladnije sa taktičkog stanovišta, jer se već kroz naziv proizašao iz ovih podela, može doneti sud o taktičkoj nameni projektila.

2.1. Podela po načinu lansiranja

Prema načinu lansiranja projektili se dele na: klasične, raketne i projekte mešovitog tipa (aktivnoreaktivni, reaktivnoaktivni). Prethodno je bilo reči o prve dve grupe projektila.

Danas su široku primenu našli aktivnoreaktivni projektili (slika 2.1).



Slika 2.1. Aktivnoreaktivni projektil
a-bojeva glava, b-raketni motor

Ova vrsta projektila upućuje se na cilj posredstvom orudja, na potpuno identičan način kao i klasični projektil, samo što se na putanji pripaljuje raketni motor i na taj način povećava domet projektila. Prema načinu stabilizacije na putanji klasični i aktivnoreaktivni projektili mogu biti **rotirajući** i **nerotirajući**. Zavisno od načina kojim se ostvaruje željena putanja projektila raketni projektili se dele na **vodjene** i **nevodjene**.

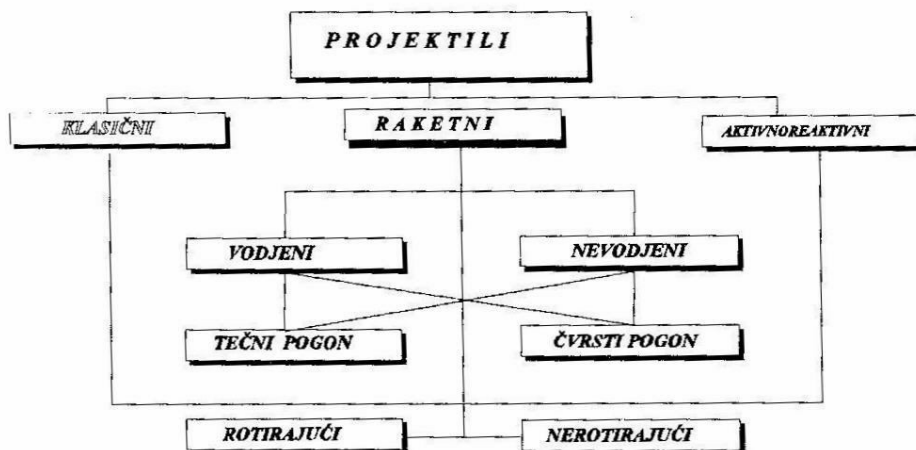
Klasični rotirajući projektili ispaljuju se iz orudja sa izolovanim cevima, a nerotirajući iz orudja glatkih cevi (minobacači). Posredstvom tzv. vodećeg prstena koji se urezuje u zavojne žljebove cevi, ostvaruje se obrtanje takvog intenziteta da omogućava žiroskopski moment dovoljan za stabilizaciju projektila na putanji. Kod projektila malog kalibra do 20 mm ulogu vodećeg prstena igra tanka košuljica od mekog metala.

Kod **klasičnih nerotirajućih projektila** stabilizacija se ostvaruje momentom koji stvara stabilizator sa krilcima.

Stabilizacija na putanji **vodjenih raketnih projektila** ostvaruje se posebnim sistemom za stabilizaciju ugrađenim u telo rakete (ovaj sistem je deo celokupnog sistema za vodjenje i upravljanje). Kod **nevodjenih raketnih projektila** ostvaruje se kao i kod klasičnih projektila

rotacijom oko uzdužne ose ili putem krilaca. Prema vrsti goriva, ima raketnih projektila sa **čvrstim i tečnim** gorivom.

Šematski prikaz podele projektila prema načinu lansiranja dat je na slici 2.2



Slika 2.2. Šematski prikaz podele projektila

2.2. Podela prema nameni

Podela prema nameni zasniva se upravo na karakteru dejstva projektila na cilju. Po ovoj podeli postoji pet grupa projektila i to: razorni, protivoklopni, protivavionski, za specijalnu namenu i nuklearni.

Grupa razornih projektila obuhvata projektele parčadnog, parčadno-rušećeg i rušećeg dejstva, koji se baš zbog razlike u načinu dejstva na cilju, međusobno razlikuju i u konstruktivnom pogledu.

Grupa protivoklopnih projektila obuhvata: pancirne i pancirnopodkalibarne projektele, kumulativne i projektele na bazi Hopkinsonovog efekta. Posle razornih projektila koji se koriste za rešavanje najvećeg broja borbenih taktičkih zadataka i koji predstavljaju osnovu bojevog kompleta najvećeg broja orudja, grupa protivoklopnih projektila dolazi na drugo mesto i po broju borbenih zadataka i po učešću u strukturi kopnenog naoružanja.

Grupa protivavionskih projektila obuhvata: razorne, razorno-zapaljive i zapaljive projektele.

Grupa projektila specijalne namene obuhvata: osvetljavajuće, dimne, zapaljive, propagandne, hemijske, biološke i vežbovne projektele.

Grupa nuklearnih projektila deli se prema količini oslobodjene energije na cilju na taktičke (do 10 kt) i stratejske.

3. OPŠTE KARAKTERISTIKE EKSPLOZIVNIH MATERIJIA

3.1. Pojam eksplozije i eksplozivne materije

Eksplzija, 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.

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

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

- 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 izravnavaju 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 ($4 \cdot 10^{13} \div 4 \cdot 10^{18}$ 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 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 dovodjenje toplote spolja ne mogu raspolagati eksplozivnim svojstvima.

Na račun oslobodjene 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 pretvaranja 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 oslobodjene energije (koja je često manja od energije oslobodjene sagorevanjem drugih goriva) putem provodjenja toplote 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 oslobodjena 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

Eksplozivne EM i zapaljive smeše	Zapreminska koncentracija energije (kJ/dm ³)
Nitroceluloza (13.3 % N ₂)	5650.
Nitroglicerol	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 oslobađanju 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		
		benzin	44000		
	tečno	D-2	42000	360 ÷ 600	17.5
		lož ulje	40000		
		kameni ugalj	30500÷35000		
	čvrsto	lignit	24700÷29400	540÷900	14.7
		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
Nitroglicerín	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. Nitroglicerín-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

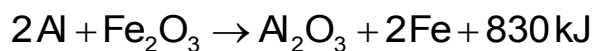
Gasoviti produkti reakcije. Visoki pritisci koji se javljaju pri eksploziji ne bi mogli biti dostignuti, ako se hemijske reakcije ne bi odigravale uz formiranje velike količine gasovitih produkata. Zapremina gasovitih produkata eksplozivne reakcije (svedena na normalne fizičke uslove) nekih EM data je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

3.2. Podela eksplozivnih procesa

U zavisnosti od uslova i načina aktiviranja, prirode EM i nekih drugih faktora procesi eksplozivnog preobražaja se mogu rasprostirati 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 orudja, 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.

3.3. 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 60-tih godina proučavaju se gasne smeše određenih koncentracija i primenjuju za rušeći efekt 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 rušeće 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
- baruti
- 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 beznačajnog 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 kapslama.

Najvažniji predstavnici ove grupe eksplozivnih materija su:

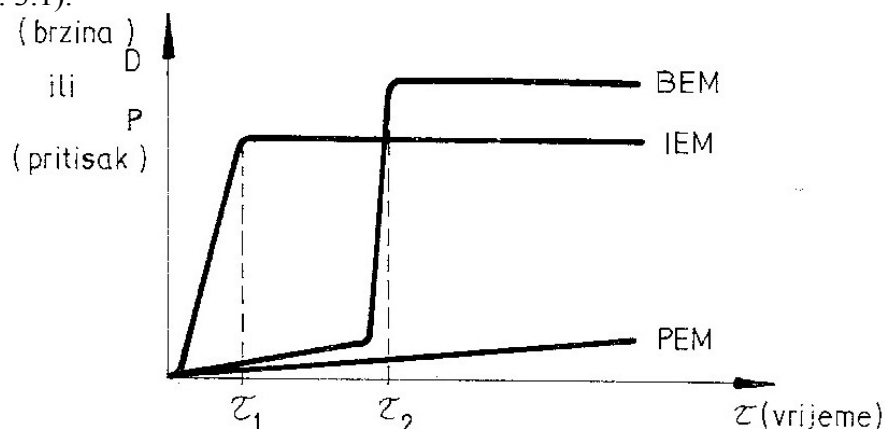
- soli teških metala i praskave žive - fulminati (najznačajniji je živin fulminat $\text{Hg}(\text{ONC})_2$)
- soli azotovodonične kiseline - azidi (najčešću primenu našao je azid olova PbN_6)
- soli teških metala i stfinnske kiseline (najpoznatiji je stifnat olova $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb} \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- karbidi teških metala - acetilenidi (npr. acetilenid srebra Ag_2C_2)

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

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-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. 3.1).



Slika 3.1. Stepen stabilnosti preobražaja eksplozivnih materija

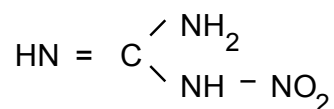
Sekundarni eksplozivi imaju vrlo široku primenu u tehnici, posebno vojnoj. Upotrebljavaju se u rudarstvu, građevinarstvu (ugljenokopima, kamenolomima, u izgradnji tunela) i u vojne svrhe kao eksplozivno punjenje projektila i minersko-diverzantskih sredstava.

Najvažniji predstavnici ove grupe eksploziva su:

- **Nitrati** ili **složeni estri azotne kiseline** (npr. **nitroglicerina**, tj. **glicerintrinitrat** $C_3H_5(ONO_2)_3$, **pentrit**, tj. **pentaeritritoltetranitrat** $C(CH_2ONO_2)_4$, **nitrati celuloze** npr. $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$).

- **Nitrojedinjenja**-najveću primenu imaju nitrojedinjenja aromatičnog tipa npr. **troti**, 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 **tetrit (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 **nitrogvandin**



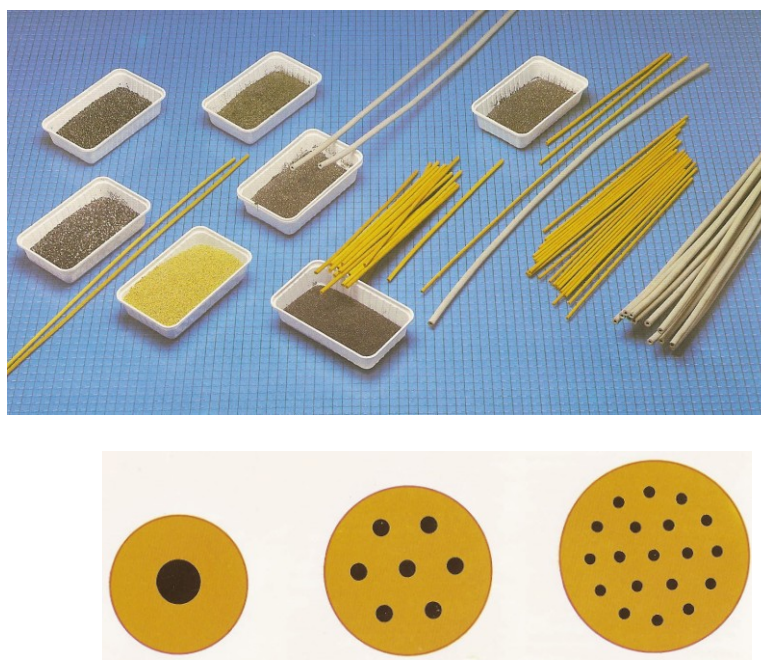
- **Eksplozivne smeše** od kojih su najpoznatije: dinamiti (nitroglicerina + primese) i amoniti (amonitratne eksplozivne materije npr. amatol-80% amonijumnitrata i 20% trotila ili amonal-82% amonijumnitrata, 12% ksilila i 6% aluminijuma); takodje se koriste smeše trotila i heksogena i dr. Eksplozivne 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 (sl. 3.2.) se dele u dve grupe:

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



Slika 3.2. 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 gadjanja 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: nitroglicerin (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. Primenuju 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.).

3.4. 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 tehnicu. Ti zahtevi su:

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

3.5. Karakteristike eksplozivnih materija

3.5.1. 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 i granularne EM)
- fino dispergovani sistemi, sa česticama veličine od 10^{-3} do 10^{-6} mm (spadaju i 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 očvrscavanja, 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.

3.5.2. 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.

3.5.3. 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.

3.5.4. 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) Rušeeće delovanje 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.

4. STRELJAČKA MUNICIJA

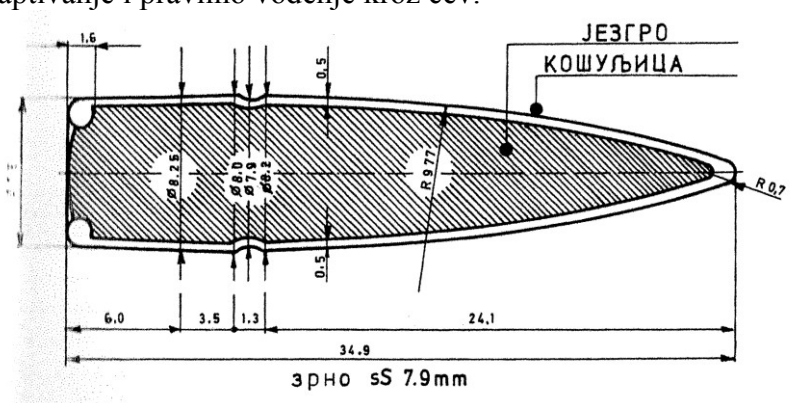
Streljačka municija kao pojam obuhvata skup streljačkih metaka. Metak streljačkog oružja je skup elemenata čija funkcija obezbeđuje da se iz cevi oružja izbacii zrno radi postizanja željenog efekta na cilju. Klasičan streljački metak (slika 4.1) čine sledeći elementi: zrno, čaura, barutno punjenje i inicijalna kapsla.



Slika 4.1 Streljački metak

4.1. Zrno

Zrno, kao nosilac kinetičke energije svojim dejstvom na cilju proizvodi određeni efekat. Za razliku od specijalnih zrna (zrna sa pirotehničkim punjenjima), obično zrno, tj. zrno koje deluje na cilj samo svojom kinetičkom energijom sastoji se od jezgra i košuljice (slika 4.2). Jezgro je nosilac kinetičke energije, dok košuljica predstavlja zaštitni omotač, obezbeđuje urezivanje u žljebove, dobro zaptivanje i pravilno vođenje kroz cev.



Slika 4.2. Zrno

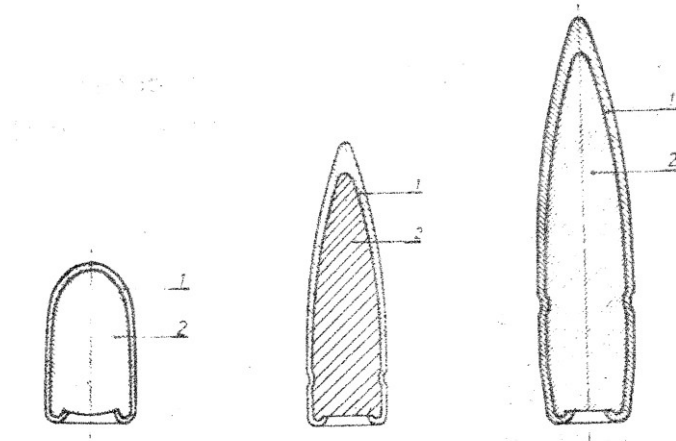
Košuljica je izrađena od tombaka ili plakiranog čelika, a jezgro najčešće od olovo-antimonke legure.

Prema obliku, zrna za onesposobljavanje živih ciljeva mogu biti:

- sa ovalnim vrhom i cilindričnim zadnjim delom (zrna za pištolje, revolvare i automate),
- sa oživalnim vrhom i cilindričnim zadnjim delom (laka ili nedalekometna zrna),
- sa oživalnim vrhom, cilindričnim srednjim i konusnim zadnjim delom (teška, univerzalna ili dalekometna zrna).

Na zrnima lakog i teškog tipa obično se nalazi poprečni žljeb za pertlovanje čaure.

Tipični predstavnici zrna za onesposobljavanje živih ciljeva prikazani su na slici 4.3.

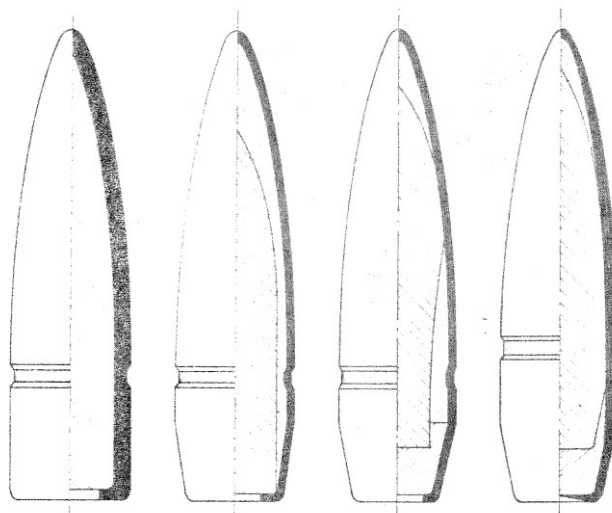


Slika 4.3. Tipični predstavnici zrna za streljačka oružja

Zrna za streljačku municiju prema nameni delimo na:

- zrna za onesposobljavanje živih ciljeva (do sada su razmatrana),
- zrna za uništavanje tehničkih sredstava (pancirno, pancirno-zapaljivo, pancirno-obeležavajuće i pancirno-zapaljivo-obeležavajuće),
- zrna za korekturu vatre (obeležavajuće).

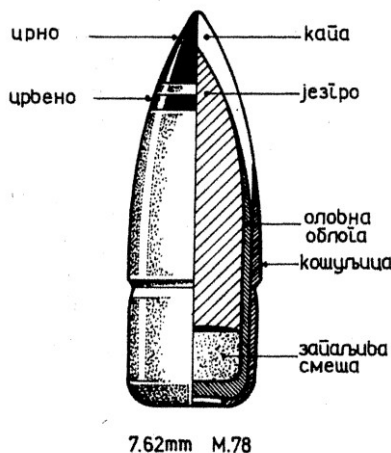
Pancirna zrna (slika 4.4) služe za probijanje tvrdih prepreka (tehničkih sredstava i zaklona). Po spoljnjem obliku se ne razlikuju od univerzalnih, ali je njihovo jezgro izrađeno od legiranog čelika visokog kvaliteta (sa volframom, manganom, molibdenom, itd.). Ovi čelici, pored velike tvrdoće, poseduju i dosta veliku gustinu. Kod nekih modela zrna, kao što je prikazano na slici 4.4, između košuljice i jezgra nalazi se sloj olovo-antimonske legure koja olakšava urezivanje zrna. Jezgro je redovno nešto tuplje od zrna, a prostor između košuljice i vrha jezgra je ispunjen olovo-antimonskom legurom. Ovim se smanjuje mogućnost rikošeta i lomljenje vrha pri udaru u tvrdi prepreku.



Slika 4.4. Pancirna zrna

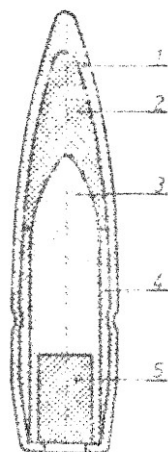
- a) sa debelom košuljicom,
- b) sa slojem olovo-antimonske legure između jezgra i košuljice,
- c) sa suženim jezgrom,
- d) sa debelom košuljicom i vrhom i dnom ispunjenim sa olovo-antimonskom legurom

Pancirno-zapaljivo zrno (PZ) (slika 4.5) služi za uništavanje lako oklopljenih tehničkih sredstava sa zapaljivim materijama, kao što su rezervoari na vozilima, cisterne, itd. Za razliku od običnog, jezgro ovakvog zrna je izrađeno od visoko kvalitetnog čelika. U prednjem ili zadnjem delu zrna u prostoru između košuljice i jezgra stavlja se zapaljiva smeša. Kao zapaljiva smeša koristi se uglavnom alumunijumski prah pomešan sa metalnim oksidom, koja se pri udaru u tvrdi prepreku pali razvijajući visoku temperaturu (oko 2000°C) i jak plamen koji se brzo prenosi na zapaljivi materijal.



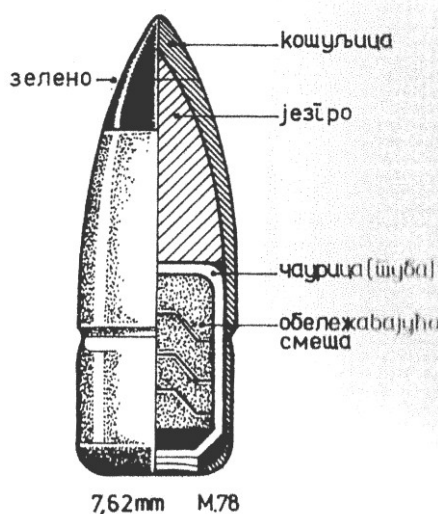
Slika 4.5. Pancirno-zapaljivo zrno

Pancirno-zapaljivo-obeležavajuće zrno (PZO) (slika 4.6) je jako slično PZ zrnu s tom razlikom što je u zadnji deo pancirnog jezgra postavljen tzv. traser. Trasersko punjenje pripaljuje se pri opaljenju zrna pod dejstvom toplih gasova barutnog punjenja. Tokom leta zrna traser svetli tako da strelac može da vrši korekturu vatre u slučaju promašaja cilja.



Slika 4.6. Pancirno-zapaljivo-obeležavajuće zrno
 1 – košuljica, 2 - zapaljiva smeša, 3 - čelično jezgro
 4 - olovo-antimonska legura, 5 - traser

Obeležavajuće zrno (slika 4.7) služi za korekturu vatre i obično ima kraće jezgro i čauricu sa obeležavajućom smešom koja se stavlja iza jezgra. Obeležavajuću smešu sačinjavaju: gorivna materija (magnezijum u prahu), nosilac kiseonika (kalijum hlorat ili barijum nitrat) i vezivno sredstvo (kalofonijum, šelak, itd.). Kod nekih zrna obeležavajućoj smeši se dodaju i materije za bojenje plamena. Tako barijum peroksid daje zelenu boju, stroncijum crven, itd. U zadnjem delu zrna je pripala tj. smeša koja se pali od gasova barutnog punjenja i tek pošto sama sagori prenosi plamen na obeležavajuću smešu. Trag zrna je dovoljno vidljiv i po dnevnoj svetlosti.

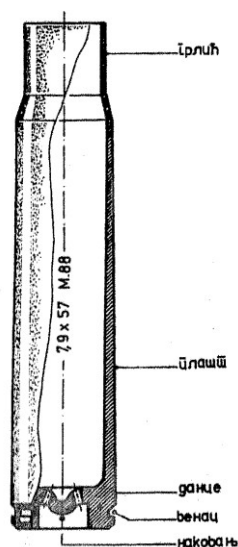


Slika 4.7. Obeležavajuće zrno

Putanja obeležavajućeg i običnog zrna se ne poklapaju na celoj dužini leta. Ovo je posledica manje mase obeležavajućeg u odnosu na obično zrno za isto oružje. Takođe, gubitak mase gorećeg trasera odnosno promena položaja težišta zrna, imaju bitan uticaj na stabilnost leta.

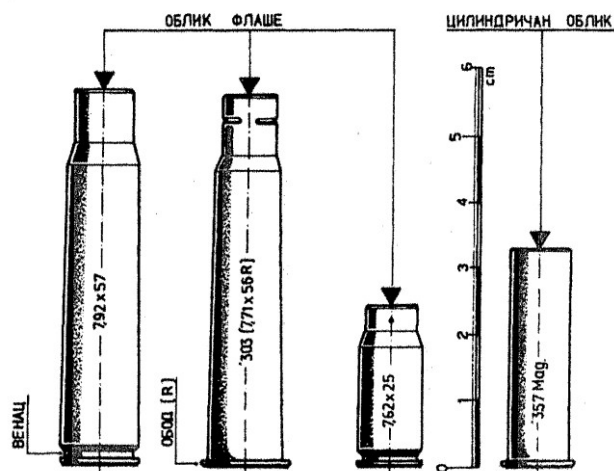
4.2. Čaura

Čaura (slika 4.8.) objedinjuje elemente metka u celinu, štiti barutno punjenje od spoljnih uticaja, onemogućava prodor barutnih gasova unazad kroz spoj zatvarač-ležište metka, štiti ležište metka od erozivnog dejstva barutnih gasova za vreme opaljenja i omogućava brzo punjenje i pražnjenje oružja.



Slika 4.8. Čaura

Na čauri razlikujemo plašt i dance (dno). Plašt je obično blago konusan radi lakšeg izvlačenja iz ležišta metka posle opaljenja i najčešće se završava dodatnim suženjem koje se zove grlić čaure. Elementi danceta su: ležište za kapslu na čijem dnu je nakovanj za gnječenje kapsli, jedan ili dva otvora za prolaz plamena i u zavisnosti od oblika zuba izvlakača, venac (kanal) ili obod (ispust). Zavisno od konstruktivnih osobina oružja čaure mogu izrađene u obliku flaše ili cilindra (slika 4.9).



Slika 4.9. Čaure u obliku flaše i cilindra

Cilindrične čaure su nepodesne sa stanovišta izvlačenja iz cevi posle opaljenja. Zato se ovaj oblik čaure primenjuje samo za revolversku i pištoljsku municiju sa slabijim karakteristikama. Pri opaljenju metka čaura se širi prenoseći pritisak na zidove ležišta metka, a posle opaljenja se vraća na prvobitne dimenzije, tako da je odgovarajući mehanizam može izbaciti. Da bi funkcionalno zadovoljila čaura mora biti izrađena od materijala koji je mehanički dovoljno otporan, a istovremeno i elastičan. Obično se za izradu čaura upotrebljava mesing, koji je po prirodi zaštićen od korozije ili čelik, kada čauru treba naknadno zaštititi fosfatiranjem u kombinaciji sa lakiranjem, ili galvanizacijom (nanošenje sloja bakra ili mesinga).

4.3. Barutno punjenje

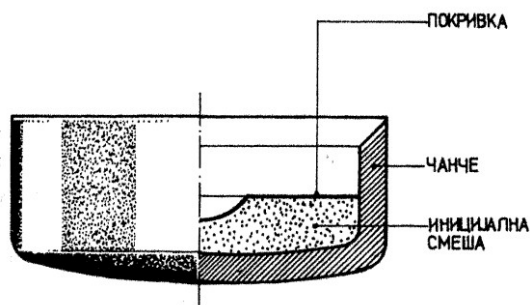
Barutno punjenje predstavlja tačno određenu količinu baruta odgovarajućih fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika, koja je namenjena da sagorevanjem u barutnoj komori i cevi oruđa formira potreban tok pritiska za izbacivanje zrna iz cevi zahtevanom početnom brzinom.

Kod izvesnih automatskih i poluautomatskih oružja energija dela barutnih gasova iskorišćena je rad automatike ili poluautomatike.

Za barutna punjenja se uglavnom upotrebljavaju nitrocelulozni, ređe nitroglicerinski baruti. Barut je najčešće u obliku pločica, a u poslednje vreme masovno se koriste i sferični baruti.

4.4. Inicijalna kapsla

Inicijalna kapsla ima zadatak da se, po prijemu spoljnog impulsa u ovom slučaju udara udarne igle, aktivira i plameni impuls prenese na barutno punjenje. Tipičan izgled inicijalne kapsle prikazan je na slici 4.10. Postoje i inicijalne kapsle koje u svom sklopu imaju i nakovanj.



Slika 4.10. Inicijalna kapsla

Inicijalna smeša se načelno sastoji od živinog fulminata, kalijum hlorata i antimontrisulfida. Ovakav sastav inicijalne smeše izaziva ubrzanu koroziju cevi. Da bi se sprečila korozija cevi izrađuju se smeše kod kojih je živin fulminat zamenjen tricinatom, a kalijum hlorat barijum nitratom. Radi povećanja osetljivosti na udar, ovim se smešama dodaje tetrazen, a u cilju povećanja inteziteta plamena kalcijum-silicid.

Pokrivka se izrađuje od staniola, a ima zadatak da zaštiti smešu od vlage. Čanče inicijalne kapsle radi se od mesinga.

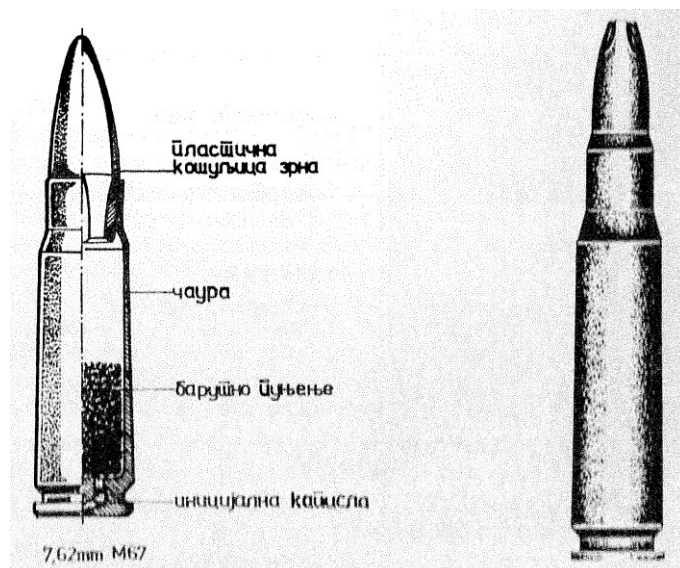
4.5. Podela streljačke municije

Podela streljačke municije prema nameni je:

- bojeva,
- manevarska,
- vežbovna,i
- školska.

Do sada je bilo reči o bojevoj municiji.

Manevarska streljačka municija namenjena je za obuku u nišanjenju i otvaranju vatre, za imitaciju pucnja za vreme izvođenja taktičkih vežbi, manevara i sl. Zrno manevarske municije može biti izrađeno od drveta, kartona, bakelita, plastične mase ili pak municija može biti bez zrna (slika 4.11). Osnovni zahtev pri izradi ovakvog metka je apsolutna bezbednost na odstojanju od 20m.



Slika 4.11 Manevarska municija

- a) zrno od plastične mase
- b) bez zrna

Vežbovna streljačka municija namenjena je za izvršenje nastavnih gađanja. Ona ustvari predstavlja zamenu za bojevu municiju iz bezbednosnih i ekonomskih razloga. Vežbovni metak se razlikuje od bojevog po tome što ima manje barutno punjenje i zrno je izrađeno od smeše bakelita i olova. Ovakva zrna se raspadaju pri udaru u bilo kakvu prepreku/metu, pa je na taj način izbegnuto rikošetiranje zrna.

Školska municija je namenjena za obuku u punjenju i pražnjenju oružja. Po obliku ova municija je ista kao i bojeva s tim što su svi bojevi sastavi iz metka izvađeni i zamenjeni inertnim tj. metak je ispunjen nekom plastičnom masom ili nekom drugom inertnom masom. Radi boljeg raspoznavanja školske municije od bojeve, na školskom metku se prave otvori po plaštu čaure i zrnju.

Prema vrsti oružja za koja je namenjena, streljačka municija se deli na:

- municija za pištolje i automate,
- municija za puške, puškomitraljeze i mitraljeze,
- municija za mitraljeze.

5. RAZORNI PROJEKTILI

5.1. Namena razornih projektila

Neuporedivo najbrojniju vrstu predstavljaju svakako razorni projektili, kod kojih je metalna košuljica (najčešće od čelika) ispunjena jednim od brizantnih eksploziva (trotilom, mešavinom trotil-heksogen, flegmatizovanim heksogenom, amatolom i dr.) i snabdevena mehanizmom koji u željenom trenutku ili pri susretu sa ciljem izaziva eksploziju projektila. U opštem slučaju razorni projektil se može koristiti za rešavanje vrlo raznovrsnih borbenih zadataka. Međutim, zavisno od vrste cilja, konstruktivnih karakteristika razornih projektila i drugih taktičkih uslova primene dolazi do lošijeg ili boljeg iskorišćenja mogućnosti projektila.

Glavni ciljevi razornih projektila su:

- otkriveno ili lako zaštićeno ljudstvo ("živa sila") na koje projektil djeluje parčadima svoje košuljice, udarnim talasom prouzrokovanim širenjem produkata eksplozije i tzv. moralnim dejstvom izazvanim zvučnim efektom koji prati eksploziju,
- ratni materijal na koji projektil djeluje parčadima i udarnim talasom (ako je u pitanju materijal male izdržljivosti),
- zemljana, drveno-zemljana i slična utvrđenja (utvrđene vatrene tačke) i razni građevinski i komunikacijski objekti na koje projektil deluje snagom eksplozije eksplozivnog punjenja i parčadima košuljice.

Konstruktivni parametri razornog projektila zavise od toga protiv koje grupe ciljeva se zahteva najbolje iskorišćenje projektila, odnosno od toga da li se želi primarno dejstvo parčadima, snagom eksplozije ili istovremeno dejstvo parčadima i snagom eksplozije. Otuda i podela grupe razornih projektila na projekte parčadnog, parčadno-rušećeg i rušećeg dejstva.

Navedene tri podgrupe međusobno se razlikuju po izvesnim konstruktivnim parametrima i po karakteristikama upaljača - mehanizma za iniciranje eksplozije projektila. Uobičajeno je da se o načinu dejstva projektila sudi na osnovu vrednosti karakterističnih konstruktivnih parametara:

- debljine zida košuljice δ (najčešće date u kalibrima),
- koeficijenta punjenja datog odnosom $\alpha = (m_e/m_p) \cdot 100$ [%]
(m_e - masa eksplozivnog punjenja; m_p - masa projektila)
- relativne mase eksplozivnog punjenja date odnosom $C_e = m_e/d^3$

U tabeli 5.1 date su vrednosti navedenih parametara za sve tri podgrupe razornih projektila.

Tabela 5.1

Karakteristika	Razorni projektili		
	Parčadno dejstvo	Padčadno-rušeće dejstvo	Rušeće dejstvo
δ ([kal.])	0.15 ÷ 0.20	0.11 ÷ 0.17	0.06 ÷ 0.15
α ([%])	4 ÷ 14	10 ÷ 17	10 ÷ 25
C_e ([%])	1.00 ÷ 1.65	1.15 ÷ 2.2	2.0 ÷ 3.0

Podaci u tabeli pokazuju da projektili parčadnog dejstva imaju deblje zidove košuljice, manju relativnu masu i koeficijent punjenja u odnosu na projektele parčadno-rušećeg i rušećeg dejstva.

U tabeli 5.2 date su karakteristike spoljne trase artiljerijskih razornih projektila, a u tabeli 5.3 karakteristike spoljne trase nerotirajućih bacačkih projektila.

Tabela 5.2

V_0/a	L/d	l_p/d	R/d	l_c/d	l_z/d	$\alpha(^{\circ})$	b/d
<1	3.5÷4.0	1.0÷2.0	2.5÷3.0	2.0÷2.5	0.7÷1.0	9÷10	0.8÷1.2
1-2	4.0÷4.5	2.0÷2.4	3.0÷6.0	≈ 2.0	0.5÷0.7	9÷10	0.6÷0.8
2-3	4.5÷5.0	2.2÷2.6	8.0÷10.0	1.8÷2.0	0÷0.5	7÷9	0.5÷0.7

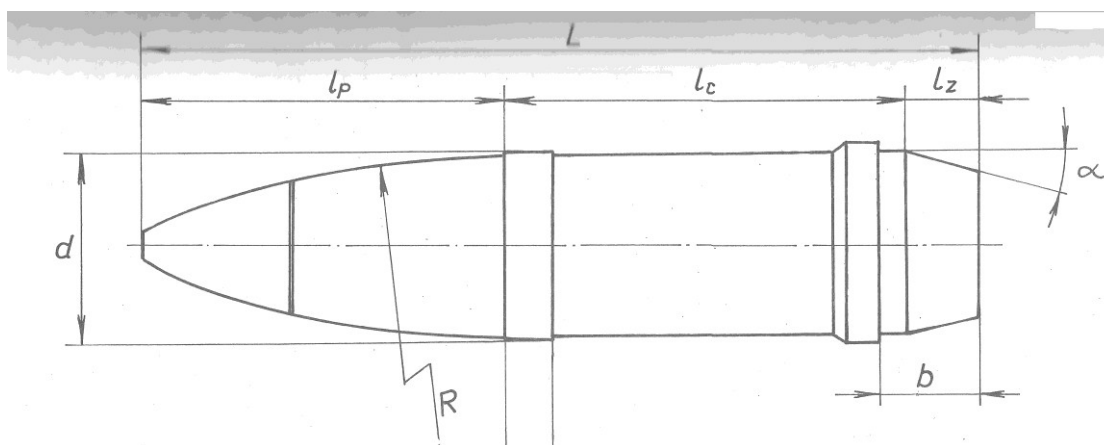
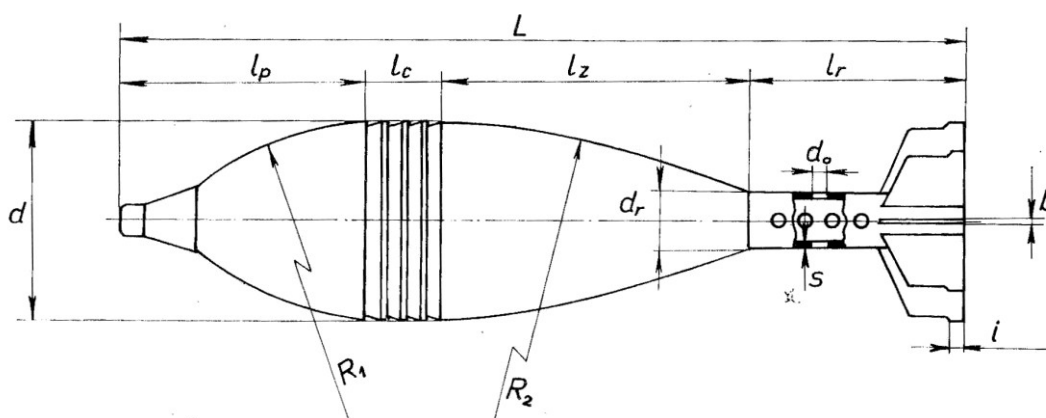


Tabela 5.3

kalibar	L/d	l_p/d	l_c/d	l_z/d	l_r/d	R_1/d	R_2/d
$d=50\div 100\text{mm}$	$3.5\div 5.5$	$1.0\div 1.5$	$0.2\div 0.5$	$0.8\div 2.0$	$1.0\div 1.5$	$0.8\div 2.0$	$7.5\div 15$
$d>100\text{mm}$	$4.5\div 7.0$	$1.1\div 1.8$	$0.25\div 1.0$	$1.5\div 2.8$	$1.1\div 1.8$	$0.5\div 3.0$	$10\div 15$

kalibar	d_r/d	s/d_r	$d_0(\text{mm})$	$i(\text{mm})$	$b(\text{mm})$
$d=50\div 100\text{mm}$	$0.25\div 0.33$	$0.15\div 0.25$	$7.0\sqrt{Q/n}$	$5\div 15$	$2\div 2.5$
$d>100\text{mm}$	$0.25\div 0.33$	$0.15\div 0.25$	$7.0\sqrt{Q/n}$	$15\div 35$	$2.5\div 3.0$



Projektili parčadnog dejstva snabdeveni su udarnim upaljačima trenutnog, trenutno-inercionog dejstva, ili tempirnim upaljačima. Projektili rušecog dejstva snabdeveni su udarnim upaljačima sa usporenim dejstvom, a projektili parčadno-rušecog dejstva udarnim upaljačima trenutnog i usporenog dejstva ili tempirnim, odnosno blizinskim upaljačima.

Treba reći da je u grupi razornih projektila danas najbrojnija podgrupa projektila parčadno-rušecog dejstva. Projektili ove podgrupe imaju nesumnjive prednosti:

- zahvaljujući savremenim rešenjima upaljača (imaju dva ili tri dejstva: trenutno i usporeno ili trenutno, inerciono i usporeno) uspešno dejstvo je parčadima i snagom eksplozije, zavisno od podešenosti upaljača, pa im je taktička primena u borbenim dejstvima znatno šira,
- znatno pojednostavljaju službu snabdevanja jako pokretnih jedinica u ratnim uslovima,
- pojednostavljuju i pružaju mogućnost šire upotrebe artiljerijskih orudja.

Po pravilu danas se usvaja rešenje projektila isključivo parčadnog, odnosno rušecog dejstva samo u izuzetnim slučajevima. Razorni projektili automatskih protivavionskih orudja (za protivavionsku odbranu na malim i srednjim visinama) su isključivo parčadnog dejstva, zatim bojeve glave nekih vrsta raketnih projektila obično su samo parčadnog ili samo rušecog dejstva i konačno nerotirajući projektili bacačkih orudja, kalibra do 82 mm su samo parčadnog dejstva.

Efikasnost razornih projektila, kao i drugih vrsta projektila predstavlja meru učinka na cilju, pa je, obzirom na ogromne količine koje se utroše u toku borbrnih operacija, pitanje efikasnosti od izuzetnog taktičko-strateškog i ekonomskog značaja. Razmatranje efikasnosti razornih projektila mora početi od analize svih faktora od kojih može zavisiti učinak projektila na unapred definisanom cilju, da bi se utvrdile metode određivanja ili procene mere efikasnosti.

5.2 Parčadno dejstvo

Parčadno dejstvo razornog projektila zavisi od:

- broja, pojedinačne mase i oblika padčadi
- izgleda i pravca snopa parčadi
- ubitačnog dometa parčadi

5.2.1. Broj, pojedinačna masa i oblik parčadi

Broj parčadi koja nastaju rasprskavanjem košuljice projektila zavisi u prvom redu od kalibra i već navedenih karakteristika δ , α i C_e . Sa povećanjem kalibra uz iste ili povećane vrednosti δ , α i C_e povećava se i broj parčadi. Ako se, pak, pri jednom istom kalibru menjaju karakteristike δ , α i C_e utvrdiće se da postoje optimalne vrednosti ovih karakteristika pri kojima se dobija najveći broj parčadi tzv. ubitačnog dometa.

Pojedinačna masa parčadi zavisi u prvom redu od vrednosti koeficijenta punjenja α , odnosno od relativne mase eksplozivnog punjenja C_e . Ukoliko su α i C_e veći za projektil datog kalibra, treba očekivati sitniju parčad, male pojedinačne mase. U pogledu pojedinačne mase parčadi postoje ograničenja koja potiču iz zahteva za minimalno potrebnom kinetičkom energijom svakog pojedinačnog komada košuljice projektila na određenom rastojanju od mesta eksplozije. Ovaj zahtev za minimalno potrebnom ubitačnom energijom dovodi do tzv. minimalne mase efikasnog parčeta. Naravno, optimalan slučaj bi bio ako bi se košuljica projektila rasprskavala na parčad ove i neznatno veće mase, jer bi se u tom slučaju dobio najveći broj efikasne parčadi. Praksa međutim pokazuje da se košuljica razornog projektila parčadnog i parčadno-rušecog dejstva rasprskava u parčad vrlo različite mase, pri čemu se najviše do 40 % od ukupnog broja parčadi može smatrati ubitačnim. Veći deo predstavljaju parčad male mase koja zbog naglog gubitka brzine ne mogu da obezbede traženi ubitačni domet i parčad velike mase, znatno veće od minimalne mase efikasnog parčeta. Ova krupna parčad, iako imaju veći ubitačni domet od traženog, ne mogu se smatrati ekonomičnim sa gledišta efikasnosti protiv živih ciljeva, jer znatno umanjuju broj parčadi optimalne mase.

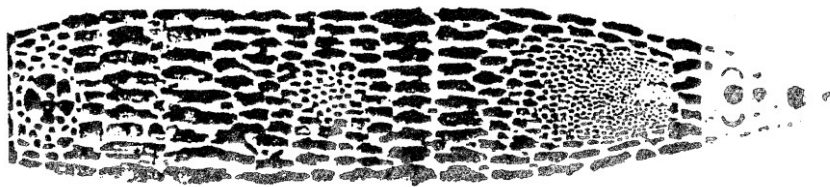
Kako zahtevani minimalni ubitačni domet parčadi zavisi od kalibra, vrste i bliže namene projektila, a polazeći od činjenice da je praktično nemoguće ostvariti rasprskavanje u parčad podjednake mase, usvajaju se granice mase pojedinačnih parčadi u kojima se ona smatraju ekonomičnim:

- | | |
|--|-------------|
| - za nerotirajuće bacačke projekte kalibra do 60 mm | 1.5 do 15 g |
| - za nerotirajuće bacačke projekte kalibra od 60 do 120 mm | 3 do 100 g |
| - za rotirajuće artiljerijske projekte | 5 do 100 g |

U slučaju razornih protivavionskih projektila donja granica mase ekonomične (i efikasne) parčadi je znatno iznad navedenih (30g do 50g) s obzirom na karakteristike savremenih borbenih letilica.

Parčad košuljice razornih projektila je nepravilnog oblika i oštih ivica. Ovakav oblik je povoljan sa stanovišta efekta na pogodjenom cilju, ali je nepovoljan sa stanovišta balistike, jer zbog povećanog otpora vazduha dolazi do naglog pada brzine parčadi. Oblik parčadi zavisi od vrste i mehaničkih karakteristika materijala košuljice. Naprimer, parčad košuljice izradjene od

čeličnog liva ima prizmatični oblik, manje oštih ivica, za razliku od košuljice izradjene od valjanog čelika čija su parčad oštih ivica, pljosnata i izdužena. Izgled parčadi razornog projektila dat je na slici 5.1.



Slika 5.1. Izgled parčadi razornog projektila

Broj i pojedinačna masa parčadi zavisi još i od:

- hemijskih i mehaničkih karakteristika materijala košuljice projektila,
- vrste eksploziva i načina iniciranja.

Kada se radi o projektilu datog kalibra i datih konstruktivnih karakteristika (odredjene spoljne i unutrašnje trase, odredjene mase) vrsta materijala, hemijske i mehaničke karakteristike materijala košuljice do te mere utiču na broj ekonomičnih parčadi da optimalno rešenje može imati i do 50 % veći broj ekonomičnih parčadi od lošeg rešenja.

Košuljice razornih projektila izrađuju se od čeličnog liva ili valjanog čelika. Zbog manje žilavosti i razlike u strukturi metala, košuljice od čeličnog liva rasprskavaju se uglavnom u veliki broj sitnih parčadi prizmatičnog oblika. Broj sitnih parčadi (mase do 5 g) je i do deset puta veći od odgovarajućeg broja parčadi košuljice izradjene od granatnog čelika. Razlika u broju ekonomične parčadi postoji ne samo između čelika i čeličnog liva, već i između raznih vrsta čelika pri istim ili sličnim mehaničkim karakteristikama. Ova razlika može da iznosi i do 30 % (naprimer, izvestan procenat bakra u granatnom čeliku - do 1.3 % - znatno povećava sposobnost rasprskavanja).

Na broj parčadi može se uticati termičkom obradom košuljice. Dobijanje najvećeg broja ekonomične parčadi opsežna eksperimentalna ispitivanja radi određivanja najpovoljnije termičke obrade.

Broj parčadi je direktno srazmeran brzini detonacije eksploziva koji se koristi kao eksplozivno punjenje razornog projektila. Ovo znači da se u izvesnoj meri može smanjiti ili povećati broj parčadi primenom manje ili više brizantnih eksploziva. Međutim, danas se u većini slučajeva koristi trinitrotoluol (TNT) kao eksplozivno punjenje razornih projektila, a samo u izuzetnim slučajevima amatol i tzv. kompozicija B (50 % heksogena i 50 % TNT). Amatol se predviđa kao alternativa (zamena TNT-a) za proizvodnju razornih projektila u ratnim uslovima, a kompozicija B kod projektila kod kojih je zahtev za brojem ekonomičnih parčadi izuzetno visok (za protivavionske razorne projekte i artiljerijske projekte). Amatol 50/50 kod razornih projektila srednjeg kalibra daje za oko 20 % manji broj ekonomičnih parčadi od TNT-a. Kompozicija B daje nešto veći broj ekonomičnih parčadi, ali je značajnija činjenica što je efikasna daljina parčadi u ovom slučaju veća od efikasne daljine u slučaju primene TNT-a.

Razorni projektil, kod koga je postignut optimalan odnos između mase metala i eksploziva sa stanovišta broja ekonomične parčadi, može ostvariti puni učinak samo pri maksimalno mogućem iskorišćenju eksploziva, odnosno pri detonacionom obliku eksplozivne reakcije. Otpočinjanje eksplozivne reakcije eksplozivnog punjenja vrši se početnim impulsom izazvanim detonacijom detonatora koji je u ovom slučaju transmisija i pojačivač početnog impulsa inicijalne, odnosno detonatorske kapsle. Za svako eksplozivno punjenje postoji jedan optimalan detonator koji daje dovoljni početni impuls za trenutno postizanje pune detonacione brzine. Kod razornih projektila gde detonator upotrebljenog upaljača nije dovoljan da obezbedi trenutno ostvarenje pune detonacione brzine upotrebljavaju se tzv. detonatorski pojačnici. Veličina i oblik

detonatorskih pojačnika određuje se za svaki konkretan slučaj isključivo eksperimentalnim putem.

Do sada je bilo više pokušaja iznalaženja jedne, sa praktičnog stanovišta, zadovoljavajuće metode proračuna broja ekonomične parčadi. Međutim, kada se imaju u vidu izloženi faktori od kojih zavisi broj parčadi, sasvim je razumljivo što ovi pokušaji nisu doveli do rezultata koji se može smatrati u potpunosti prihvatljivim. Za preliminarne proračune koristi se formula Justrova (Justrow) za izračunavanje broja parčadi:

$$N = k_p \frac{M}{d} \frac{\sigma_e}{\sigma_m \delta} \frac{K^2 + 0.5}{K^2 - 1} \quad (5.1)$$

gde je:

- k_p - koeficijent koji zavisi od vrste eksploziva
- M - masa eksplozivnog punjenja (g)
- d - kalibar projektila (cm)
- σ_m - zatezna čvrstoća materijala košuljice
- σ_e - granica razvlačenja materijala košuljice
- δ - relativno izduženje materijala košuljice (%)

$\kappa = \frac{D_s}{D_u} = \frac{R_s}{R_u}$ gde su

$D_s = 2R_s$ - spoljni prečnik šupljeg valjka ravnomerne debljine zidova čija je masa jednaka masi košuljice (cm)

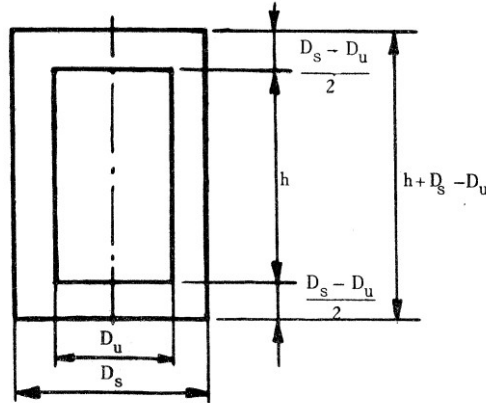
$D_u = 2R_u$ - unutrašnji prečnik valjka prema gornjoj definiciji (cm)

Koeficijent k_p je određen eksperimentalno i njegove vrednosti su u tabeli 5.4.

Tabela 5.4

Vrsta eksploziva	k_p
Nitroglicerina	54
Pikrinska kiselina	50
Trinitrotoluol	46
Visokonitrovana celuloza	40
Amatol	30
Crni barut	3

Pri primeni Justrovove formule čini se često greška, pa se veličine D_s i D_u usvajaju kako su date u crtežu košuljice, a ne prema prethodnoj definiciji. Ustvari, košuljicu je potrebno zameniti šupljim cilindrom (slika 5.2).



Slika 5.2. Zamena košuljice cilindrom prema Justrovu

Potrebno je izračunati zapreminu valjka od metala gustine ρ_k , čija će masa biti jednaka masi realne košuljice. Ako je masa košuljice M_k biće:

$$\frac{\pi(D_s^2 - D_u^2)h}{4} + 2 \frac{\pi D_s^2}{4} \frac{D_s - D_u}{2} = \frac{M_k}{\rho_k} \quad (5.2)$$

Da bi šupljina cilindra odgovarala zapremini eksploziva gustine ρ_e treba da bude:

$$\frac{\pi D_u^2}{4} h = \frac{m_e}{\rho_e} \quad (5.3)$$

gde je:

m_e - masa eksploziva

Kada se ove jednačine reše po h dobija se:

$$\left(\frac{\pi D_s^3}{4} - \frac{M_k}{\rho_k} - \frac{m_e}{\rho_k} \right) \frac{D_s}{D_u} + \frac{D_s^3}{D_u^3} \frac{m_e}{\rho_e} - \frac{\pi D_s^3}{4} = 0 \quad (5.4)$$

Ako se uvrsti $K = D_s/D_u$ dobija se jednačina oblika:

$$aK^3 + bK - c = 0 \quad (5.5)$$

sa koeficijentima:

$$a = \frac{m_e}{\rho_e}, \quad b = \frac{\pi D_s^3}{4} - \frac{M_k}{\rho_k} - \frac{m_e}{\rho_k}, \quad c = \frac{\pi D_s^3}{4}$$

Rešavanjem jednačine (5.5) dobija se K . Za brze proračune može poslužiti dijagram koji daje zavisnosti odnosa K od koeficijenta punjenja projektila α [%]. Dijagram se može konstruisati iz poznatih vrednosti koje su:

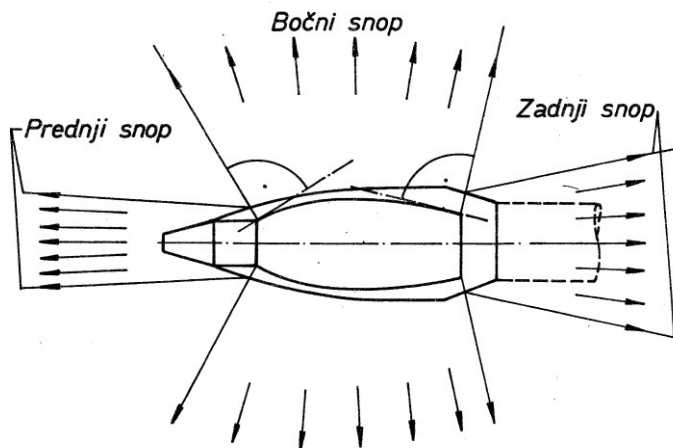
- za $\alpha = 7\%$ $K = 1.80$,
- za $\alpha = 10\%$ $K = 1.50$,
- za $\alpha = 15\%$ $K = 1.40$.

Vrednosti izmedju ovih mogu se sa dovoljno tačnosti odrediti interpolacijom. Ako je poznat broj parčadi i masa metalnih delova može se izračunati srednja masa parčeta:

$$m_{\text{pr}} = \frac{M_k}{N} \quad (5.6)$$

5.2.2 Izgled i pravac snopa parčadi

Kod realnog projektila klasičnog oblika sa cilindričnim delom i oživalom mogu se primetiti tri dosta jasno izražene zone u koje eksplozija usmerava najveći broj parčadi. To su (slika 5.3.):



Slika 5.3. Pravci razletanja parčadi

1. **Prednji snop** u koji se usmeravaju parčad oživalnog vrha. Ova parčad su obično dosta velika, jer grlo košuljice (ispunjeno najčešće telom upaljača) praktično ne sadrži eksploziv tj. odnos mase zida i eksploziva je vrlo nepovoljan. Osim toga, kod projektila parčadnog dejstva koji deluju na površini zemlje ova parčad obično ostaju u tlu na mestu pada projektila kod normalnih padnih uglova.

2. **Bočni snop** u koji se usmerava najveći broj parčadi projektila (70÷80 %) različitih dimenzija. Ovaj snop je od najvećeg interesa za proučavanje efikasnosti.

3. **Zadnji snop** u koji se kod artiljerijskih granata usmeravaju obično loše fragmentisani delovi masivno dimenzionisanog danceta košuljice, zbog čega je i tu odnos mase eksploziva i zida nepovoljan. Kod minobacačkih projektila zadnji snop sadrži delove stabilizatora (takodje velike mase), što kvvari opštu karakteristiku fragmentacije u ovom snopu, mada je ona inače povoljnija nego kod artiljerijskih projektila, zbog toga što su zidovi mine na zadnjem delu obično tanji, pa je odnos mase eksploziva i mase košuljice bolji.

Vidi se da je bočni snop od najvećeg značaja kada se procenjuje efikasnost parčadnog dejstva projektila. Budući da je deo košuljice projektila koji stvara bočni snop samo izuzetno pravilnog cilindričnog oblika i jednake debljine zida, bočni snop ima redovno izvestan ugao 2β . Ovaj ugao kod artiljerijskih projektila iznosi oko 40° .

5.3. Mere za povećanje parčadnog efekta projektila

Na osnovu svega što je rečeno o parčadnom dejstvu očigledno je da su putevi za povećanje parčadnog dejstva sledeći:

1. povećanje početne brzine i efikasnog dometa parčadi,
2. poboljšanje fragmentacije, tj. optimalno iskorišćenje materijala košuljice na taj način da se pri rasprskavanju dobije parčad najpovoljnije veličine i oblika,
3. smanjenje gubitaka, tj. smanjenje procenta pulverizovanog materijala i nefragmentisanih delova košuljice projektila
4. kod raketnih projektila iskorišćenje u smislu parčadnog dejstva i drugih delova projektila koji stižu na cilj zajedno sa bojevom glavom.

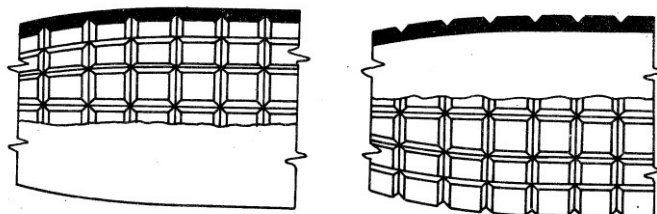
Ako je kod neke konstrukcije nadjeno optimalno rešenje za većinu opštih faktora koji utiču na fragmentaciju i parčadni efekt projektila kao što su izbor vrste eksploziva i materijala košuljice, izbor i smeštaj upaljača i rešenje procesa inicijacije eksplozivnog punjenja, mere koje se još mogu preduzeti za poboljšanje parčadnog dejstva su čisto konstruktivne prirode i odnose se podjednako na sve četir gore navedene tačke. Te mere su:

1. prefragmentacija,
2. povećanje efektivne fragmentisane mase.

Prefragmentacija. Cilj prefragmentacije košuljice je da se pomoću posebnih konstruktivno-tehnoloških rešenja unapred odredi broj ekonomičnih parčadi, praktično podjednake mase i oblika. To se može postići na više načina, od kojih su najpoznatiji:

- spoljno ili unutrašnje narezivanje košuljice
- izrada košuljice od prstenova ili namotavanjem čelične šipke
- ugradnja čeličnih kuglica

Spoljno ili unutrašnje narezivanje košuljice uzdužnim i poprečnim kanalima primenjuje se najčešće kod projektila koji u cevi i u letu ne trpe velika opterećenja (minobacački, tromblonski i neki raketni projektili parčadnog dejstva), ili kod ubojnih sredstava koja uopšte nisu izložena opterećenjima te vrste (naprimer kod ručnih bombi i protivpešadijskih mina). Da bi narezivanje bilo efikasno, mora se izvesti dubokim kanalima (dubina kanala dostiže čak i preko polovine debljine košuljice). Ustanovljeno je, naime, da plitki kanali nemaju efekta zbog izvanredno velike brzine kojom se obavlja proces rasprskavanja košuljice, tako da se fragmentacija odvija kao da nema kanala. Prefragmentacija ove vrste, pored pozitivnih strana ima i izvesne nedostatke koji ograničavaju njenu primenu na mali broj razornih projektila i protivpešadijskih mina. Prefragmentacija narezivanjem povećava cenu izrade, a smanjuje otpornost košuljice projektila. Spoljno narezivanje znatno povećava aerodinamički otpor pri letu projektila, a unutrašnje narezivanje je tehnološki teško izvodljivo i skupo. Unutrašnje i spoljno narezivanje košuljice bojne glave raketnog projektila dato je na sl. 5.4.

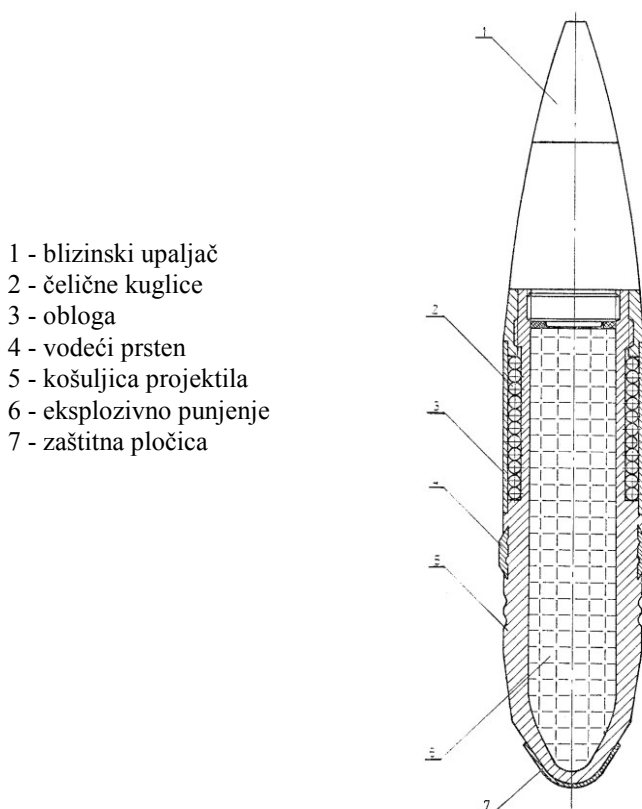


Slika 5.4. Unutrašnje i spoljno narezivanje košuljice bojne glave

Prefragmentacija izradom košuljice od prstenova ili namotavanjem profilisane čelične šipke primenjuje se kod projektila koji nisu izloženi velikim opterećenjima, kao što su raketni projektili ili avionske bombe parčadnog dejstva. Prva metoda je vrlo efikasna, ali i skupa, i isplati se samo kod onih projektila koji su već sami po sebi skupi i zato treba da budu i izuzetno

efikasniji, tj. kod vođenih raketnih projektila. Izrada košuljice namotavanjem profilisane šipke je jeftinija, ali i manje efikasna metoda. Na ovaj način su izradjena tela (košuljice) američkih avio-bombi parčadnog dejstva.

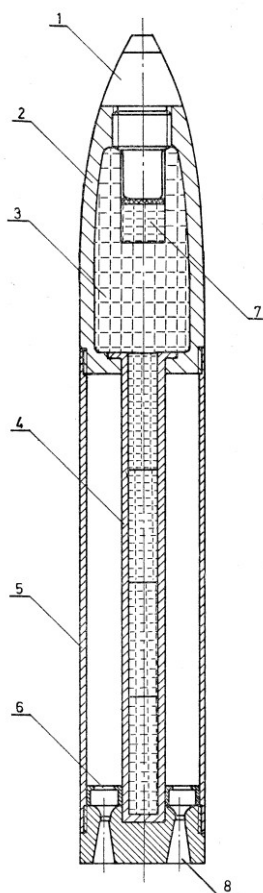
Najefikasnija metoda prefragmentacije postiže se ugradnjom čeličnih kuglica određene mase u zidove košuljice. Ova metoda je primenjena kod najnovijih projektila namenjenih za dejstvo protiv živih ciljeva na zemlji (ručne bombe, minobacački i raketni projektili parčadnog dejstva) i za dejstvo protiv ciljeva u vazduhu. Na slici 5.5 je prikazana savremena konstrukcija jednog razornog projektila sa prefragmentisanom košuljicom i blizinskim upaljačem za dejstvo protiv ciljeva u vazduhu, kod koga je parčadno dejstvo višestruko uvećano u odnosu na klasičnu konstrukciju.



Slika 5.5. Protivavionski razorni projektil sa kuglicama

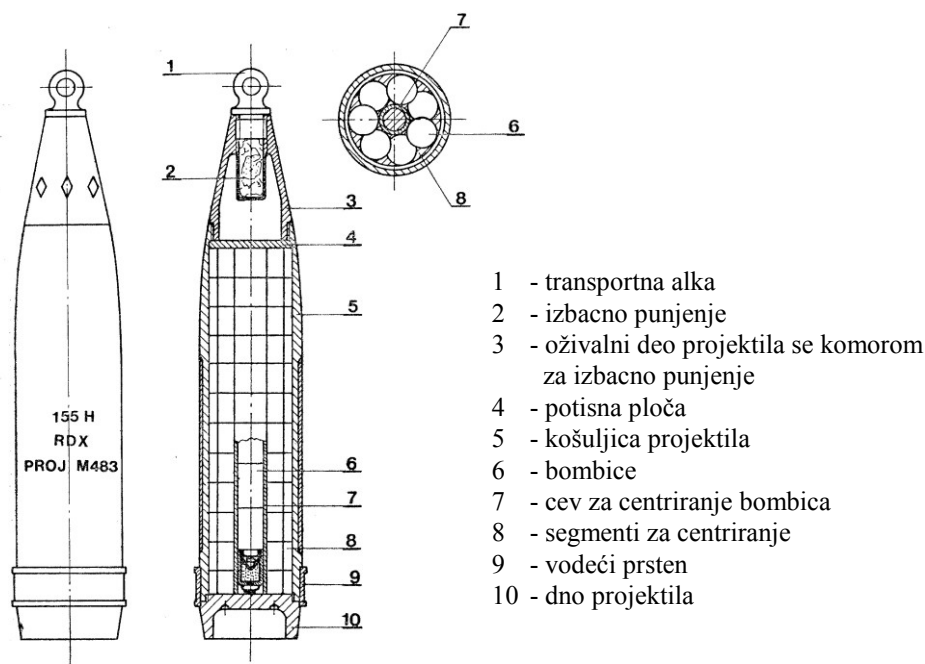
Povećanje efektivne fragmentisane mase. Ako postoji takva mogućnost, a ona se često pojavljuje kod raketnih projektila, onda je pri konstrukciji bojeve glave potrebno težiti da se što više delova projektila koji stižu na cilj iskoristi za povećanje parčadnog efekta. Kod raketnih projektila motor je jedan od elemenata koji zbog svog oblika, dimenzija i materijala pruža posebne mogućnosti u ovom pogledu. Jedna od mogućnosti da se prilikom eksplozije bojeve glave i raketni motor fragmentiše u efikasnu parčad jeste produženje eksplozivnog punjenja bojeve glave u unutrašnjost motora pomoću produžne cevi (slika 5.6.). Naravno da takvo rešenje zahteva preduzimanje mera da se produženo punjenje zaštiti od visoke temperature i pritiska u raketnom motoru.

- 1 – upaljač
- 2 – košuljica bojne glave
- 3 – eksplozivno punjenje
- 4 – obloga eksplozivnog punjenja u komori motora
- 5 – komora raketnog motora
- 6 – rešetka
- 7 – pojačnik detonatora
- 8 - mlaznica



Slika 5.6. Povećanje parčadnog dejstva raketnog projektila iskorišćenjem komore motora

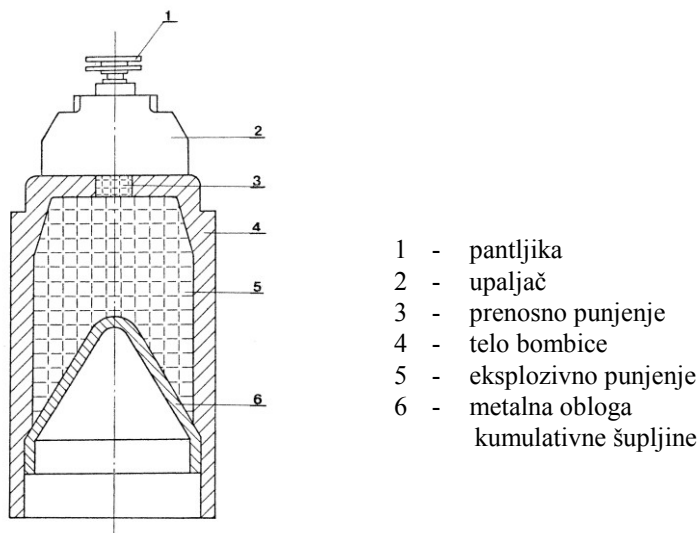
Posebne mogućnosti za povećavanje fragmentisane mase pružaju se kod municije sa kasetnim projektilima, kod kojih se osnovni projektil - "nosač" razdvaja na optimalnoj visini iznad cilja i izbacuje subprojektile (bombice) koji padaju na zemlju, pokrivajući veliku površinu cilja, i nakon udara u zemlju rasprskavaju se i dejstvuju parčadno protiv žive sile i vatrenih sredstava. Zona dejstva takvih projektila je znatno veća u odnosu na klasični rasprskavajući projektil. Na slici 5.7. šematski je prikazan kasetni projektil 155 mm, čija je osnovna namena borba protiv žive sile i oklopnih sredstava. U cilindrični deo košuljice projektila simetrično je smešteno 88 bombica parčadno-kumulativnog dejstva. Projektil je snabdeven tempirnim upaljačem bez detonatora, a sa donje strane košuljica projektila je zatvorena dancetom.



Slika 5.7. Artiljerijski kasetni projektil 155 mm

Pri aktiviranju upaljača pripaljuje se izbacno punjenje koje preko potisne ploče izbacuje bombice iz košuljice projektila uz prethodno smicanje danceta. Usled rotacije projektila bombice se rasturaju i aktiviraju pri udaru u cilj.

Parčadno-kumulativne bombice (slika 5.8) se sastoje od: udarnog upaljača, tela (košuljice) bombice, eksplozivnog punjenja i kumulativnog levka. Telo bombice je najčešće nareckano sa unutrašnje strane radi programiranog parčadnog dejstva. Upaljač je osiguranog tipa. Osiguran je dok se bombice nalaze u projektilu i neposredno posle izbacivanja iz projektila (dok se pantljika ne odmota). Kod izbačenih bombica u vrtložnoj struji vazduha odvija se držač pantljike na upaljaču.



Slika 5.8. Parčadno-kumulativna bombica

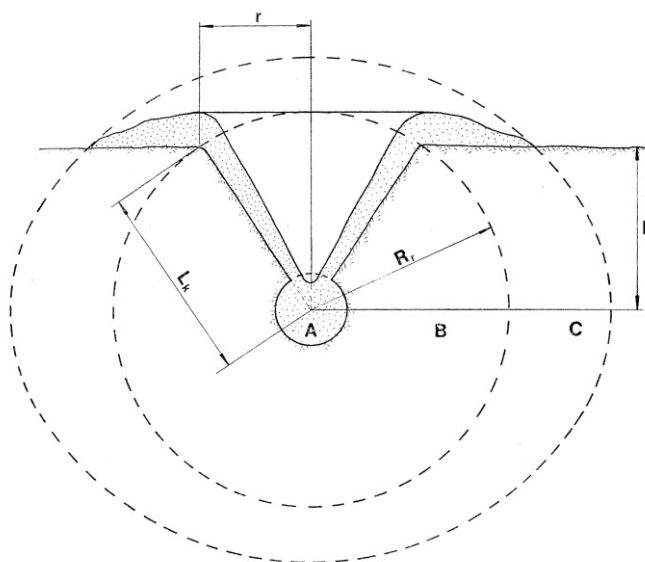
U toku daljeg pada bombica rotira, a pantljika usled otpora zaostaje u rotaciji i odvrće udarnu iglu. Odvrtanjem udarne igle oslobadja se nosač kapsle koji usled centrifugalne sile dovodi kapslu u pravac udarne igle.

5.4. Rušeće dejstvo

Rušeće dejstvo razornih eksploziva proističe iz rušecćeg dejstva eksplozivnog punjenja smeštenog u košuljici projektila. Zahvaljujući izuzetno visokom pritisku gasovitih produkata eksplozivne reakcije dolazi do njihovog naglog širenja koje je praćeno rušenjem okolne sredine.

Sa praktičnog stanovišta najveći značaj ima rušeće dejstvo projektila posle udara i prodiranja u prepreku - odbrambeno utvrđenje. Osnovna pretpostavka efikasnog rušecćeg dejstva je optimalna dubina prodiranja u prepreku koju treba razrušiti. Vreme koje protekne od momenta susreta sa ciljem do eksplozije projektila zavisi od karakteristika upaljača. Ako se želi rušeće dejstvo, razorni projektil mora biti snabdeven upaljačem udarnog ili udarnoinercionog tipa sa usporenjem. Podešavanjem upaljača reguliše se vreme njegovog reagovanja: podešen na inerciono dejstvo upaljač aktivira eksplozivno punjenje nekoliko milisekundi nakon udara u cilj; upaljač podešen na usporeno dejstvo aktivira eksplozivno punjenje nakon isteka vremena koje diktira usporač.

Pri eksploziji projektila u tlu, nakon izvesnog prodiranja, rušeće dejstvo se manifestuje izbacivanjem materijala tla u pravcu najmanjeg otpora, pri čemu na mestu eksplozije ostaje krater (levak) šematski predstavljen na slici 5.9. Kvantitativna ocena rušecćeg dejstva donosi se na osnovu dimenzija kratera.



Slika 5.9. Krater na tlu kao posledica rušecćeg dejstva projektila
A - zona sabijanja, B - zona rušenja, C - zona rastresanja

Kako su projektili rušecćeg dejstva namenjeni za dejstvo protiv utvrđenih ciljeva vrlo različite prirode i otpornosti, to se na osnovu dimenzija i izgleda kratera na horizontalnom tlu donosi sud o efikasnosti rušecćeg dejstva projektila, nezavisno od prirode i izdržljivosti stvarnog mogućeg cilja. Na ovaj način se znatno uprošćava analiza rušecćeg dejstva i sistematizacija eksperimentalnih rezultata.

U sredini u kojoj dejstvuje razorni projektil gasovitim produktima eksplozije razlikuju se tri zone: zona sabijanja, zona rušenja i zona rastresanja. Sredina u zoni sabijanja je razbijena i njene su čestice istisnute van zone. Zonu rušenja karakteriše kidanje veze između čestica sredine. U zoni rastresanja udarni talas izaziva samo talasno (oscilatorno) kretanje sredine, bez narušavanja veze između čestica sredine.

Zona sabijanja obuhvata malu zapreminu neposredno oko projektila koji eksplodira i zbog toga nema poseban praktičan značaj. Sa praktičnog stanovišta najveći značaj ima zona rušenja čiji se radijus može približno odrediti pomoću formule:

$$R_r = k_r \sqrt[3]{m_e} \quad [m] \quad (5.7)$$

Ovde je:

- k_r - koeficijent koji karakteriše sredinu (vrednosti date u tabeli 5.7)
- m_e - masa eksplozivnog punjenja ([kg])

Tabela 5.7

Sredina	k_r
rastresita zemlja	1.40
ledina	1.07
pesak	1.0 ÷ 1.04
glina sa peskom	0.96
krečnjak i pešćanik	0.92

Zona rastresanja nema praktičnog uticaja kod rušenja odbrambenih utvrđenja zbog njihove velike izdržljivosti. Ova zona igra značajnu ulogu u rušenju gradskih postrojenja pri upotrebi projektila velikog kalibra.

6. PANCIRNI PROJEKTILI

Osnovna namena pancirnih projektila je dejstvo protiv čeličnog oklopa ili pancira, po čemu su i dobili naziv. Pancirni projektili ispoljavaju svoje dejstvo na taj način što se kinetička energija projektila, pri udaru u cilj, najvećim delom utroši na probijanje napadnutog oklopa. Zbog toga se pancirni projektili danas primenjuju samo kod orudja za neposredno gadjanje, koja su u stanju da projektilu saopšte veliku početnu brzinu i položenu putanju.

6.1. Konstrukcije karakteristike pancirnih projektila

Artiljerijski pancirni projektili su namenjeni za uništenje oklopnih ciljeva: tenkova, oklopnih vozila, čelično-betonskih utvrđenja i dr.

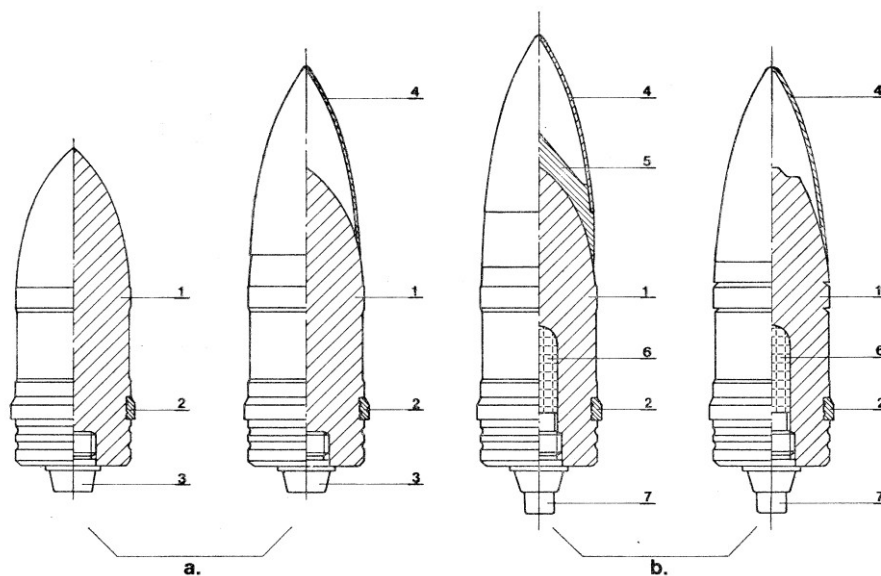
Pojavili su se krajem prošlog veka, prvobitno samo za dejstvo protiv oklopnih brodova, a u drugom svetskom ratu postaju osnovni protivoklopni projektili. U periodu posle drugog svetskog rata, primat u protivoklopnoj borbi preuzimaju klasični i raketni projektili sa kumulativnim eksplozivnim punjenjem, prvenstveno zbog masovne zastupljenosti kod najrazličitijih sistema naoružanja. Međutim, kada su u pitanju topovi, onda su pancirni projektili, zbog izvesnih svojih karakteristika (velika preciznost zbog velikih početnih brzina, sigurno uništenje cilja u slučaju proboja oklopa, efikasno dejstvo protiv ciljeva sa predoklopom i sendvič-oklopom), takodje doživeli značajna usavršavanja u posleratnom periodu. Njihovo usavršavanje išlo je u pravcu povećanja efikasnosti, čija je osnovna mera probojnost pancirne prepreke.

Prema konstrukciji artiljerijski projektili se mogu podeliti u dve osnovne grupe: kalibarni i podkalibarni.

6.1.1 Kalibarni pancirni projektili

Na slici 6.1. prikazane su različite vrste kalibarnih pancirnih projektila. Kao što se na slici vidi, postoje pancirni projektili čisto probojnog dejstva (bez eksplozivnog punjenja) i pancirni projektili probojno-razornog dejstva (sa eksplozivnim punjenjem), a u zavisnosti od oblika vrha tela, mogu biti rikošetni i antirikošetni.

Telo pancirnog projektila je izradjeno od legiranog čelika visokog kvaliteta (sa volframom, niklom, manganom, molibdenom i sl.), a projektovano je tako da izdrži velika naprezanja pri prolazu kroz prepreku. Vodjenje u cevi orudja ostvaruje se na klasičan način pomoću centrirajućih ojačanja (na prednjem i zadnjem delu projektila) i vodećeg prstena.



Slika 6.1 Kalibarni pancirni projektili

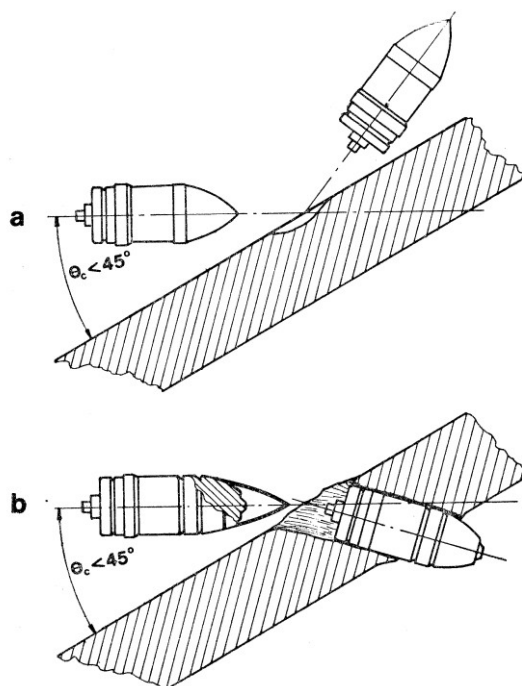
a) pancirni projektili bez eksplozivnog punjenja

b) pancirni projektili sa eksplozivnim punjenjem

**1 - telo projektila, 2 - vodeći prsten, 3 - traser, 4 - balistička kapa,
5 - pancirna kapa, 6 - eksplozivno punjenje, 7 - upaljač sa traserom**

Pored tehnoloških problema koje treba savladati pri proizvodnji tela projektila, od najvećeg je značaja, s konstruktivne strane, sprečavanje rikošeta ovih projektila pri sudaru sa kosim oklopom (rikošetiraju pri udarnim uglovima manjim od 45°). To se postiže na taj način što se telu projektila daje "antirikošetni" oblik. Suština antirikošetnog oblikovanja je u tome da rezultujuća sila otpora kose prepreke, koja deluje u dodirnoj tački, da takav moment u odnosu na težište projektila, koji će okretati projektil ka prepenci tako da se pravac kretanja projektila u toku probijanja približava ka normalni na oklop na mestu pogotka (slika 6.2). Zbog toga antirikošetno oblikovani pancirni projektili imaju tup vrh (kriva prednjeg oživala logaritamska spirala), ili im je vrh odsečen. Aerodinamičko oblikovanje, u takvim slučajevima, ostvaruje se dodavanjem balističke kape. Antirikošetni pancirni projektili rikošetiraju pri udarnim uglovima manjim od 30° .

Nedostatak antirikošetno oblikovanih projektila je u tome što tupi vrh izaziva veliko opterećenje tela projektila pri udaru u oklop pod pravim uglom, tako da može doći do uzdužnog prskanja projektila i kompromitovanja probojnog dejstva. Da prskotina ne bi dostigla zadnji deo, u telo projektila se urezuju poprečni kanali tzv. lokalizatori, koji zaustavljaju prskotine.



Slika 6.2 Sudar pancirnog projektila sa jako nagnutim oklopom
a) kretanje rikošetnog projektila
b) kretanje antirikošetnog projektila

Zadnji deo tela projektila je cilindričnog oblika i sa ravnim dnom. Sa zadnje strane, u telu projektila, postoji mala komora za smeštaj eksplozivnog punjenja, upaljača i trasera. Ukoliko je pancirni projektil bez eksplozivnog punjenja, u telu projektila sa zadnje strane postoji samo otvor za uvijanje trasera (ako je poseban element), ili za utiskivanje traserne smeše.

Traser je obavezan element svih artiljerijskih pancirnih projektila. Pali se od vrelih barutnih gasova u cevi orudja. Pri letu projektila traser gori i ostavlja svetao trag. Time se olakšava korektura gadjanja, posebno za brzopokretne ciljeve. Kod pancirnih projektila sa eksplozivnim punjenjem traser je sastavni deo upaljača.

Eksplozivno punjenje se načelno nalazi samo kod pancirnih projektila srednjih i velikih kalibara. Iniciranje eksplozivnog punjenja vrši se preko upaljača udarno-inercionog tipa, koji aktivira punjenje sa izvesnim usporenjem, tako da do eksplozije dodje nakon što projektil probije oklop. Konstruktivne karakteristike pancirnih projektila sa eksplozivnim punjenjem date su u tabeli 6.1.

Pancirna kapa smanjuje naprezanje vrha tela projektila u sudaru sa oklopom. Po pravilu je izrađena od istog materijala kao i telo projektila, ali sa nešto nižim mehaničkim osobinama (ima manju tvrdoću).

Tabela 6.1

Dimenzije projektila u kalibrima (d)							Relativna masa projektila (m_p/d^3) (kg/dm ³)
l_c	h	h_k	H	R	r	l_k	
1,5—2,0	0,8—1,0	0,3—0,4	2,0—2,5	1,30—1,36	0,2—0,4	0,8—1,3	15

Napomena:

- Projektilima bez pancirne kape odgovaraju veće vrednosti dužine l_c .
- Koefficient eksplozivnog punjenja (α) je oko 0,85%.
- Relativna masa eksplozivnog punjenja (C_p) je 0,1—0,4 kg/dm³.

Njena uloga se ogleda u tome što se pri sudaru projektila sa oklopom gnječi i povećava kontaktnu površinu između oklopa i vrha tela projektila i na taj način smanjuje specifično opterećenje vrha. Zbog toga je pancirna kapa naročito efikasna pri sudaru sa vertikalnim oklopom. Međutim, ako se udarni ugao smanjuje, pozitivni uticaj pancirne kape opada, tako da pri udarnim uglovima manjim od 50° nema više pozitivnog uticaja na proboj, već se povećavaju rikošetna svojstva. Upravo zbog toga pancirni projektili antirikošetnog tipa nemaju pancirnu kapu.

Balistička kapa se postavlja na vrh projektila da smanji silu otpora vazduha. Izrađuje se najčešće od čeličnog lima i učvršćuje navojima ili pertlovanjem.

6.1.2 Podkalibarni pancirni projektili

Kako pancirni projektili dejstvuju na cilj svojom kinetičkom energijom, razumljiva je težnja da ova energija u trenutku sudara sa preprekom bude što je moguće veća. Kinetička energija na cilju može se povećati:

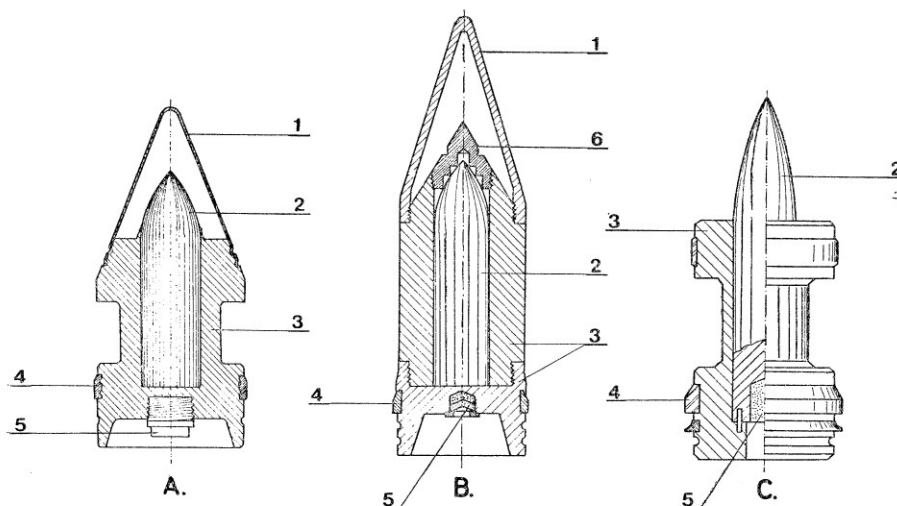
- povećanjem mase projektila,
- povećanjem početne brzine projektila,
- poboljšanjem aerodinamičkog oblika projektila (smanjenjem pada brzine od orudja do cilja).

Kako se zbog razloga koje diktiraju uslovi žiroskopske stabilizacije projektila (za ostvarenje stabilnosti potrebno je da odnos momenata inercije oko uzdužne i poprečne ose projektila bude u određenim granicama, što uslovljava i odnos prečnika i dužine projektila), masa projektila ne može povećavati produžavanjem projektila bez uticaja na pad početne brzine, prvi način nedvosmisleno vodi povećanju kalibra projektila. Međutim, povećanje kalibra iznad izvesne (optimalne) granice ima negativne posledice kao što su: povećanje mase i gabarita orudja, povećanje mase i potrebne snage vozila (tenka ili vučnog vozila), smanjenje prohodnosti orudja i vozila, povećanje cene orudja i municije, otežani transport municije i dr. Komplikuje se i manipulacija municijom, naročito u skučenom prostoru samahodnog orudja.

S druge strane, povećanje početne brzine iziskuje povećanje mase barutnog punjenja, pritiska i dimenzija cevi, sa konačnim posledicama sličnim kao u prvom slučaju. Maksimalne brzine koje se mogu postići sa klasičnim, kalibarnim, žiroskopski stabilisanim projektilima kreću se oko 1000 m/s.

Rešenje ovog problema nadjeno je u uvodjenju i usavršavanju podkalibarnih pancirnih projektila. Kao što je poznato, kinetička energija projektila je linearna funkcija mase projektila, a kvadratna funkcija brzine projektila. Ta činjenica je navela na ideju o podkalibarnim projektilima, koji imaju manju masu, ali znatno veću brzinu.

Podkalibarni pancirni projektili izvide se konstrukciono na nekoliko načina (slika 6.3).



Slika 6.3. Podkalibarni pancirni projektili starije konstrukcije

A - ruski BP-354P, 76 mm

B - američki HVAP-T M93A1, 76 mm

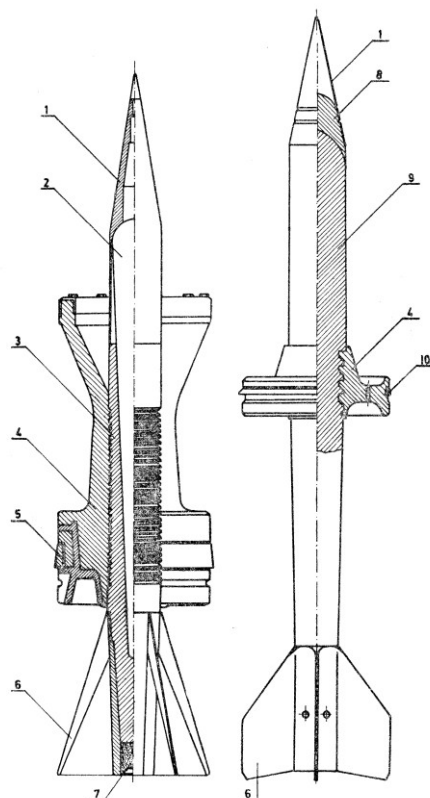
C - švedski HVAPDS-T, 76 mm

1 - balistička kapa, 2 - jezgro, 3 - nosač ili obloga jezgra

4 - vodeći prsten, 5 - traser, 6 - utvrdjivač jezgra

Kao što se na slici vidi, podkalibarno jezgro, kao nosilac kinetičke energije, stavljeno je u laganu kalibarnu oblogu (nosač), koja služi za vodjenje projektila kroz cev. Na oblozi se nalazi vodeći prsten koji se urezuje u žljebove cevi i tako projektilu saopštava intenzivnu rotaciju radi žiroskopske stabilizacije na putanji. Kod projektila na slici 6.3-c obloga otpada ispred usta cevi (usled dejstva vazdušnog otpora), a podkalibarno jezgro samo nastavlja kretanje prema cilju. Kod preostale dve konstrukcije, podkalibarno jezgro stiže na cilj u oblozi. Pri sudaru projektila sa preprekom, obloga se deformiše i ostaje ispred prepreke, a proboj pancira vrši samo jezgro. Početna brzina takvih projektila može se kretati od 950 do 1400 m/s.

Najsavremenije konstrukcije podkalibarnih pancirnih projektila su izduženog (strelastog) oblika i na repnom delu imaju ugrađena krilca (slika 6.4).



Slika 6.4 Savremeni pancirni podkalibarni projektili

A - za ožljebljene cevi, B - za glatke cevi

1 - balistička kapa, 2 - podkalibarno zrno, 3 - nosač jezgra, 4 - vodjica (segmenti),

5 - vodeći prsten, 6 - krilca, 7 - traser, 8 - pancirna kapa, 9 - podkalibarno telo, 10 - zaptivni prsten

Prvi tip projektila ima ugrađenu vodjicu u vidu segmenata, koji otpadaju posle izlaska projektila iz cevi orudja, tako da deo koji nastavlja let ima gotovo idealan aerodinamički oblik. Ovaj projektil se ispaljuje iz izljebljene cevi topa, pa zato na nosaču postoji pokretni (rotirajući) vodeći prsten koji se urezuje u žljebove cevi, tako da se na projektil prenosi samo blaga rotacija. Centrifugalne sile usled rotacije projektila, koje deluju u centru mase segmenata, treba da budu takvog intenziteta da su u stanju da, posle napuštanja cevi orudja, savladaju otpor vodećeg prstena i da razdvoje segmente. Drugi tip projektila je po konstrukciji sličan prvom, samo što se on izbacuje iz topa sa glatkom cevi. Zato ovaj projektil ima otpadajuće segmente sa bakarnim zaptivnim prstenom, koji predstavljaju vodjice.

Početna brzina najsavremenijih podkalibarnih pancirnih projektila kreće se u granicama od 1500 do 1800 m/s.

Podkalibarno jezgro i podkalibarno telo strelastih projektila izrađuje se od legura tvrdih metala postupkom sinterovanja. U novije vreme se koristi i legura osiromašenog urana sa nekim od tvrdih metala. Gustina ovih legura je sledeća:

a) Teški metal - dvojna legura volframovog karbida i kobalta ili volframovog karbida i nikla, gustine $14 \div 15 \text{ g/cm}^3$.

b) Teški metal - trojna legura volframa, nikla i bakra ili volframa, nikla i gvoždja, gustine $16 \div 18.5 \text{ g/cm}^3$.

c) Osiromašeni uran - legura urana sa molibdenom ili drugim elementom, gustine 18 g/cm^3 .

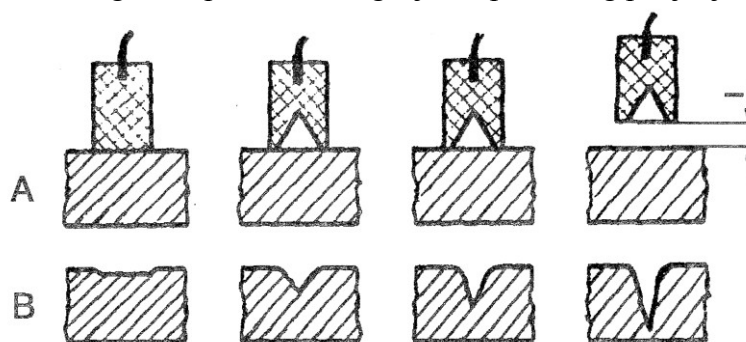
Za dejstvo podkalibarnih projektila od sinterovanog metala karakteristično je da se, zbog naglog rasterećenja posle proboja, u trenutku izlaska iz oklopa raspadaju, pa iza oklopa dejstvuju velikim brojem ubitačnih parčadi.

7. PROJEKTILI SA KUMULATIVNIM EKSPLOZIVNIM PUNJENJEM

7.1. Princip dejstva i opšta organizacija projektila

Pojava značajnog, specifičnog lokalnog dejstva detonacije realnog eksplozivnog punjenja naziva se kumulativnim efektom: zahvaljujući izvesnim konstrukcionim karakteristikama eksplozivnog punjenja i načinu iniciranja, dejstvo detonacije, odnosno njeno razorno dejstvo, u prostoru je orijentisano (usmereno) u unapred izabranom pravcu.

Ako se na jednu čeličnu ploču postavi cilindrično eksplozivno punjenje, a zatim dovede do detonacije iniciranjem sa gornje slobodne strane, na ploči posle detonacije ostaje neznatno udubljenje, čija površina odgovara površini naleganja eksplozivnog punjenja (slika 7.1).

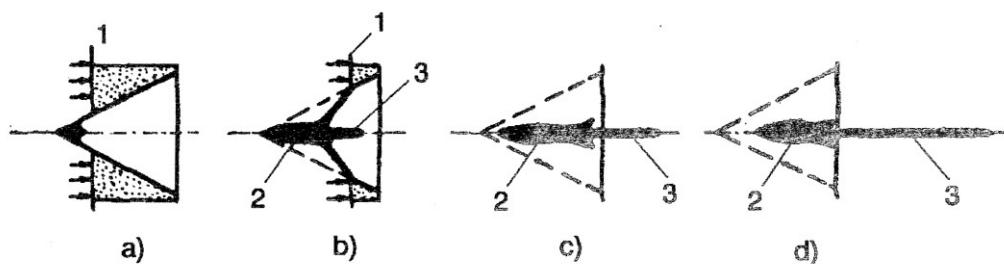


Slika 7.1. Zavisnost dejstva od oblika i položaja eksplozivnog punjenja:
A - pre eksplozije, B - posle eksplozije

Medjutim, ako na čeonj strani kojom naleže na čeonu ploču, eksplozivno punjenje ima konusnu šupljinu, posle detonacije na ploči ostaje udubljenje, koje je po obliku slično udubljenju u eksplozivnom punjenju. Ovo udubljenje u ploči biće veće, ukoliko je konusna šupljina eksplozivnog punjenja obložena metalnom oblogom.

Najveći efekat u čeličnoj ploči postiže se ako je eksplozivno punjenje, sa konusnom šupljinom obloženom metalnom oblogom, postavljeno na izvesnom rastojanju (x) od ploče. Eksplozivno punjenje sa konusnim ili drugim oblikom šupljine, obložene metalnom oblogom, naziva se kumulativnim eksplozivnim punjenjem.

Princip dejstva kumulativnog eksplozivnog punjenja sa metalnom oblogom šupljine je u osnovi sledeći. Detonacioni talas, iniciran u eksplozivnom punjenju na strani suprotnoj od kumulativne šupljine, kreće se prema šupljini i zahvata metalnu oblogu šupljine. Pod dejstvom pritiska u detonacionom talasu dolazi do razaranja obloge i do potiskivanja delova obloge prema osi kumulativne šupljine. Posle spajanja (sudara) na osi kumulativne šupljine delovi obloge se dele na dva dela (slika 7.2). Levo od tačke spajanja



Slika 7.2 Formiranje kumulativnog mlaza

1 - položaj detonacionog talasa

2 - sekundarni deo mlaza (čep)

3 - primarni deo mlaza

formira se od spoljnih slojeva metalne obloge sekundarni deo mlaza (tzv. čep). Ovaj deo mlaza praktično ne igra nikakvu ulogu u probijanju. Desno od tačke spajanja formira se od unutrašnjih slojeva metalne obloge primarni deo kumulativnog mlaza, koji se kreće udesno vrlo velikom brzinom. Upravo ovaj deo kumulativnog mlaza, iako je njegova masa znatno manja od mase sekundarnog mlaza, zahvaljujući velikoj brzini vrši probijanje prepreke velike debljine.

Na slici 7.2 šematski je prikazano formiranje kumulativnog mlaza u zavisnosti od položaja detonacionog talasa. Na skici a - detonacioni talas počinje razaranje metalne obloge; na skici c - detonacioni talas je prošao duž celog eksplozivnog punjenja; na skici d - prikazano je dalje odvijanje pojave izvesno vreme nakon što je detonacioni talas dostigao osnovu kumulativne šupljine, odnosno osnovu metalne obloge.

Na osnovu rezultata eksperimentalnih i teorijskih istraživanja utvrđeno je da je intenziviranje kumulativnog efekta pri postojanju obloge vezano za veoma snažnu i karakterističnu preraspodelu energije između produkata eksplozije i materijala obloge i za prelazak dela materijala obloge u kumulativni mlaz. Najveći deo energije aktivnog dela kumulativnog punjenja prenosi se na materijal obloge, koncentrišući se na tankom sloju obloge, koji upravo obrazuje kumulativni mlaz. Na ovaj način postiže se znatno veća "gustina" energije u mlazu, nego u slučaju eksplozije kumulativnog punjenja bez obloge.

U procesu formiranja i kretanja kumulativnog mlaza zapažaju se dve faze na koje bitan uticaj imaju fizičke i mehaničke osobine metala obloge kumulativne šupljine.

Prva faza odgovara nastajanju mlaza u toku procesa sabijanja i deformacije metalne obloge. U toku ove faze primarni i sekundarni deo mlaza predstavljaju celinu, iako se ova dva dela mlaza kreću različitim brzinama. Sekundarni deo mlaza kreće se relativno sporo (blizu 500 do 1000 m/s). Primarni deo mlaza kreće se znatno većom brzinom: čelo mlaza ima najveću brzinu, a zadnji deo brzinu blisku brzini sekundarnog dela. U zavisnosti od oblika i osobina metala obloge, svojstva eksploiva i drugih faktora, brzina čela primarnog dela mlaza menja se u širokim granicama.

Druga faza nastupa kratko vreme posle sabijanja, deformisanja i potiskivanja obloge: zbog razlike u brzinama sekundarnog i primarnog dela, dolazi do odvajanja primarnog dela mlaza. Može se smatrati da se najveća efikasnost kumulativnog punjenja sa metalnom oblogom postiže u slučaju, ako do razdvajanja primarnog i sekundarnog dela dodje kada prestane oticanje metala iz sekundarnog u primarni deo mlaza (sekundarni deo mlaza predstavlja neku vrstu rezervoara koji podržava kretanje primarnog mlaza). Oticanje metala iz sekundarnog u primarni deo mlaza traje sve dok se inercijalne sile, pod čijim dejstvom metal otiče, ne uravnoteže sa kohezionim silama između čestica metala. Sa ove tačke gledišta, visoka plastičnost metala je veoma povoljna, naročito u toku sabijanja, deformisanja i potiskivanja obloge. U toku deformisanja obloge ne sme doći do neelastičnog razaranja, jer bi se značajno smanjio koeficijent prelaska

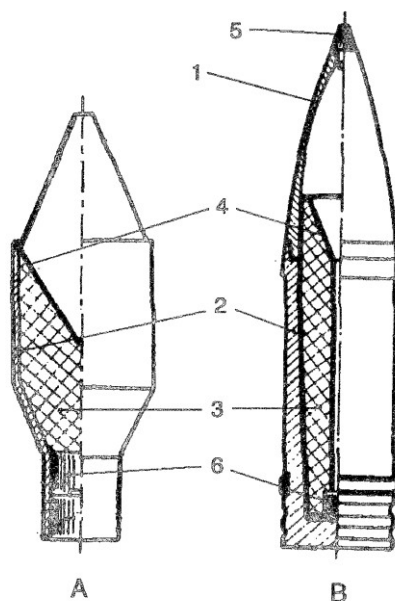
metala u primarni deo mlaza, a time i sposobnost probijanja napadnute prepreke. U primarni deo mlaza prelazi 6 do 11% ukupne mase obloge.

Očigledno je da uslove razdvajanja primarnog i sekundarnog kumulativnog mlaza određuju gradijent brzine i fizičko-mehanička svojstva metala obloge, od kojih zbog toga, zavisi i maksimalna dužina primarnog mlaza. Optimalno dejstvo kumulativnog mlaza može se obezbediti samo pri određenim fizičkim i mehaničkim svojstvima metala obloge. Pri ovome ne treba gubiti iz vida da se svojstva metala u uslovima brzih deformacija mogu značajno razlikovati od svojstava određenih pri realnim brzinama deformacije (u uslovima statičkog opterećenja). Naprimer, liveno gvoždje se kao obloga kumulativnog eksplozivnog punjenja ponaša pri detonaciji kao metal sa relativno visokom plastičnošću.

Metalografskom analizom metala kumulativnog mlaza, uhvaćenog u sredini relativno male gustine (naprimer u bazenu sa vodom), utvrđeno je da u procesu formiranja mlaza ne dolazi do topljenja metala. Ipak, temperatura mlaza u formiranju može dostići 900 do 1000 °C.

Kumulativni mlaz ostaje kompaktan samo na vrlo kratkom putu, približno jednakom polovini dužine primarnog mlaza, a zatim nastaje njegova disperzija, zbog različitih brzina elementarnih masa duž mlaza.

Projektil sa kumulativnim eksplozivnim punjenjem, kao i razorni projektil, ima metalnu košuljicu u koju je smešteno eksplozivno punjenje. U punjenju postoji šupljina (konusna, paraboloidna, polusferna, hiperboloidna) u prednjem delu projektila, obložena metalnom oblogom. Iniciranje punjenja ostvaruje se putem upaljača u vrhu projektila ili pri dnu eksplozivnog punjenja. Šema organizacije projektila sa kumulativnim eksplozivnim punjenjem predstavljena je na slici 7.3.



Slika 7.3. Projektili sa kumulativnim eksplozivnim punjenjem

A - nerotirajući

B - rotirajući

1-balistička kapa, 2-košuljica, 3-eksplozivno punjenje,

4-obloga šupljine, 5-upaljač, 6-detonator

7.2. Uticajni faktori na kumulativni efekat

Izložene teorijske osnove kumulativnog efekta daju mogućnost analize uticaja nekih osnovnih faktora na kumulativni efekat, odnosno na sposobnost prodiranja kumulativnog mlaza

u prepreku poznatih karakteristika. Kako je osnovna namena projektila sa kumulativnim eksplozivnim punjenjem dejstvo protiv oklopljenih ciljeva, sasvim je prirodno da glavnu meru efikasnosti ovih projektila predstavlja nominalna debljina čelične prepreke, određenih fizičko-hemijskih i mehaničkih osobina, koju projektil može da probije. Sa stanovišta efikasnosti projektila od interesa je poznavati faktore koji utiču na probojnost čelične prepreke i uslove pod kojima se u svakom konkretnom slučaju može da postigne maksimalna nominalna probojnost.

Eksperimentalno iskustvo pokazuje da kumulativni efekat zavisi od velikog broja faktora, od kojih su samo neki, najvažniji, obuhvaćeni teorijskim razmatranjima, čije su osnove izložene. Treba takodje imati u vidu da se još uvek najnoviji teorijski i eksperimentalni rezultati, posebno oni vezani za specifična tehnološka rešenja kojima se obezbeđuje značajno povećanje kumulativnog efekta, smatraju strogom vojnom tajnom strateškog značaja, pa se ne objavljuju u otvorenoj stručnoj literaturi.

7.2.1. Eksploziv

Eksploziv je jedan od odlučujućih faktora kumulativnog efekta. Uz prirodu eksploziva, značaj ima tehnologija izrade kumulativnog eksplozivnog punjenja.

U savremene kumulativne projekte ugrađuju se skoro isključivo dvokomponentni jaki eksplozivi (naprimer, mešavina trotila i heksogena, trotila i oktogena i druge) ili flegmatizovani eksplozivi visoke razorne sposobnosti (naprimer, flegmatizovani heksogen i flegmatizovani oktogen). Izbor vrste eksploziva zavisi pre svega od tehnologije njegove ugradnje u košuljicu projektila, ali se nezavisno od izabrane tehnologije nastoji da se ostvari što je moguće homogenije punjenje i što veća brzina detonacije, uz razume se, tehničko-tehnološki prihvatljive uslove iniciranja stabilne detonacije eksplozivnog punjenja.

Za izradu eksplozivnih kumulativnih punjenja koriste se dve tehnologije: livenje i presovanje. U oba slučaja je najvažnije da se pouzdano reprodukuje hemijski i fizički homogeno eksplozivno punjenje. Pod fizički homogenim eksplozivnim punjenjem podrazumeva se punjenje bez unutrašnjih šupljina i gasnih mehurića, koji nastaju kod livenih punjenja kao posledica zaostalog vazduha i jake kontrakcije pri očvršćavanju punjenja (naprimer, pri očvršćavanju trotila kontrakcija iznosi oko 12 %).

Tehnologija livenja može se realizovati u nekoliko varijanti:

- taložno (sedimentaciono) livenje
- centrifugalno livenje
- livenje pod pritiskom
- vibraciono livenje

Klasični postupak livenja ne daje eksplozivno punjenje potrebnog kvaliteta (naprimer, u uzdužnom preseku punjenja dobijenog klasičnim livenjem, brzina detonacije varira oko 150 m/s, a u slučaju vibracionog livenja samo 10 do 20 m/s).

Sa tehnološkog stanovišta najsloženije je livenje pod pritiskom, ali ono omogućuje značajno ubrzavanje procesa livenja i potreban kvalitet eksplozivnog punjenja.

Sedimentaciono i centrifugalno livenje daju eksplozivna punjenja potrebne homogenosti, ali se ovim postupcima ne mogu postići gustine eksploziva kao u slučaju vibracionog livenja. Otuda od svih navedenih varijanti vibraciono livenje daje najbolje rezultate.

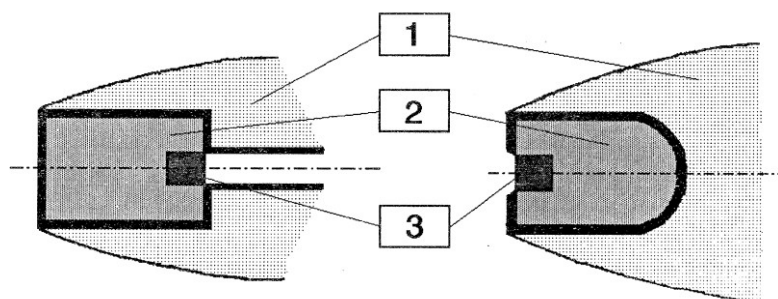
Pri primeni tehnologije presovanja u nekim slučajevima, zbog veličine punjenja, vrši se višefazno presovanje da bi se dobila potrebna ujednačenost gustine po uzdužnom preseku punjenja. Tehnologijom presovanja ostvaruju se visoke gustine i potpuno homogeno eksplozivno

punjenje (u nekim slučajevima mogu se postići gustine koje su od kristalne gustine manji samo za 1 do 2 %).

7.2.2. Detonator

Detonator igra ulogu početnog impulsa u mehanizmu pobudjivanja stabilne detonacije kumulativnog eksplozivnog punjenja i nalazi se u punjenju suprotno od kumulativne šupljine. Otuda je uz konstrukciju detonatora veoma važan pravilan izbor eksploziva i njegove gustine, odnosno kapsle kojom se pobudjuje detonator.

U zavisnosti od načina iniciranja kumulativnog eksplozivnog punjenja, koristi se ravan detonator za prednju inicijaciju (upaljač u vrhu projektila) i polusferni detonator za zadnju inicijaciju (upaljač u dnu eksplozivnog punjenja). Na slici 7.4. šematski su prikazani ravan i polusferni detonator (ovaj poslednji se skoro isključivo koristi u savremenim rešenjima).

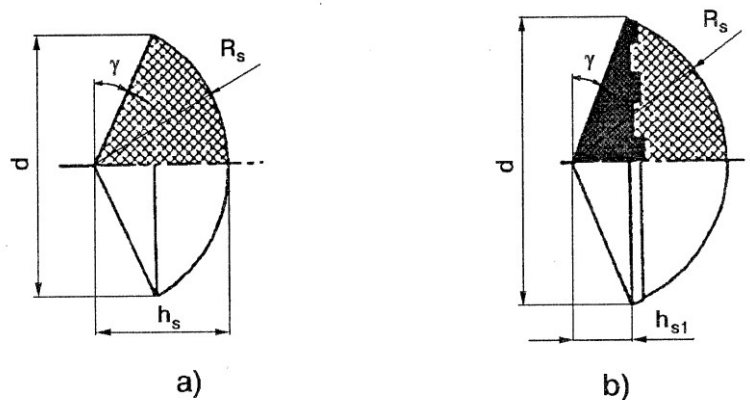


Slika 7.4. Detonator: A - ravan, B - sferni

1 - eksplozivno punjenje, 2 - detonator,
3 - detonatorska kapsla, 4 - sprovodna cevčica

Polusferni detonator je povoljniji, jer ima veću površinu naleganja na eksplozivno punjenje, a pobudjeni detonacioni talas ima manju krivinu. Detonatorska punjenja izrađuju se najčešće presovanjem tetrila (gustina 1.65 do 1.70 g/cm³), redje od flegmatizovanog heksogena (iako ima nešto manju brzinu detonacije, tetril je povoljniji od heksogena zbog veće sigurnosti pri radu - manje je osetljiv od heksogena). Oblik detonatora diktira oblik detonacionog talasa. U slučaju polusfernog detonatora detonacioni talas ima oblik sfernog segmenta čija krivina opada od tačke inicijacije prema vrhu kumulativne šupljine; pri dovoljnoj dužini eksplozivnog punjenja, detonacioni talas je praktično ravan u momentu kada dostigne vrh konusne šupljine. Međutim, zahtevi koje treba da ispune savremeni kumulativni projektili insistiraju na što je moguće manjoj masi projektila, a to je u suprotnosti sa uslovima koji obezbeđuju ravan detonacioni talas. Zbog toga se nastoji da se uz minimalnu masu eksplozivnog punjenja, bliskoj aktivnoj masi, ostvari ravan detonacioni talas primenom detonatora odgovarajuće konstrukcije (generator ravnog detonacionog talasa) ili ugradnjom, na izvesnom rastojanju od detonatora, devijatora detonacionog talasa. Savremena rešenja kumulativnih eksplozivnih punjenja su minimalne mase zahvaljujući devijatorima. Sem toga, devijator omogućuje generisanje detonacionog talasa tako da tangenta na profil talasa u svakoj tački izvodnice obloge gradi željeni ugao.

U savremena rešenja kumulativnih punjenja ugrađuju se dva tipa devijatora: pasivni (izrađen od inertnog materijala) i aktivni (predstavlja kombinaciju inertnog materijala i eksploziva manje gustine i manje razorne moći u odnosu na eksploziv kumulativnog punjenja). Na slici 7.5. prikazani su optimizirani polusferični devijatori (pasivni i aktivni) za jedno savremeno kumulativno punjenje prečnika oko 120 mm.

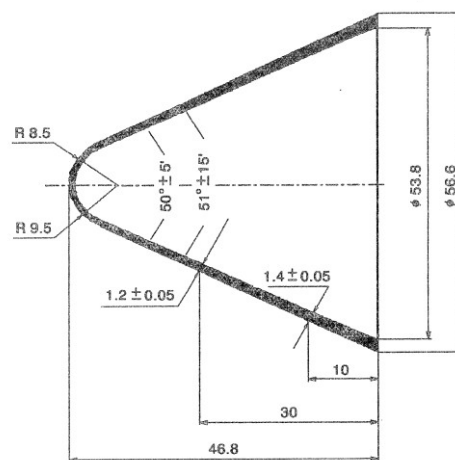


Slika 7.5. Optimalni oblici devijatora
a) pasivni devijator, b) aktivni devijator

Da bi se obezbedilo zahtevano prigušenje udarnog talasa u devijatoru na što kraćem putu, materijal za izradu devijatora se bira tako da poseduje što je moguće veću akustičku impendancu i dinamičku čvrstoću. Zahtev za što manjom masom devijatora sužava izbor na materijale relativno male gustine: teflon, fenolformaldehid (FFA), stiropor visoke gustine i druge slične materijale.

7.2.3. Metalna obloga

Oblik i materijal obloge ispoljavaju najveći uticaj. U vojnoj tehnici koriste se isključivo obloge konusnog i hiperboličnog oblika (nekada je korišćena i polusferna obloga za kumulativna punjenja rotirajućih projektila). Zbog velike plastičnosti i gustine bakar se skoro isključivo koristi za izradu obloga kumulativnih šupljina. Na slici 7.6. dat je konstrukcioni crtež bakarne obloge kumulativnog punjenja protivoklopnog raketnog projektila "Zolja", kalibra 64 mm. U vreme uvođenja u operativnu upotrebu (početkom osamdesetih godina), sistem "Zolja" je spadao među najuspešnija rešenja kategorije ručnih sredstava za protivoklopnu borbu na bliskim rastojanjima (do 200 m).



Slika 7.6. Bakarna obloga kumulativne šupljine punjenja projektila "Zolja"

Obloge hiperboloidnog oblika u odnosu na konusne daju nešto veće dužine proboja sa manjim izlaznim otvorom na napadnutoj prepreci (primarni kumulativni mlaz je duži i raspolaže većom brzinom). Međutim, obloga hiperboloidnog oblika je još uvek u praksi retka, zbog komplikovanije izrade, nego što je slučaj sa konusnom oblogom.

Teorijski i eksperimentalni rezultati pokazuju da sa stanovišta realne efikasnosti kumulativnog efekta optimalne rezultate daju uglavnom konusne obloge sa uglom vrha konusa $2\alpha = 38^\circ \div 50^\circ$.

Apsolutna vrednost debljine obloge kod savremenih rešenja ne prelazi 2 mm. Veoma je važno da obloga bude maksimalno simetrična u odnosu na uzdužnu osu, koja mora potpuno da se poklapa sa uzdužnom osom simetrije eksplozivnog punjenja. Otuda tolerancija debljine zida ne sme prelaziti 0.05 mm, a između obloge i eksplozivnog punjenja mora biti ostvaren potpun i dovoljno čvrst kontakt.

Kod savremenih kumulativnih punjenja za vojne potrebe ugrađuju se obloge od elektrolitičkog bakra koji mora odgovarati visokim zahtevima čvrstoće i kristalne strukture (naprimer, zatezna čvrstoća min. 230 N/mm² i min. 3000 kristalnih zrna po mm²). Proces izrade obloga vrši se po dve tehnologije: izvlačenje sa velikim brojem operacija (10 do 15) i hladno istiskivanje (fluer-tournage). U poslednje vreme je preovladjujuća tehnologija istiskivanja, koja uz veću ekonomičnost, omogućuje bolji kvalitet obloge (dobija se takva orijentacija kristala koja doprinosi efikasnosti kumulativnog mlaza).

7.2.4. Stabilnost primarnog mlaza

Prema eksperimentalnim rezultatima stabilnost primarnog mlaza zavisi od dva osnovna faktora:

1. Kompaktnost primarnog mlaza narušava se usled promenljivosti brzine duž mlaza: dolazi do disperzije na veći ili manji broj pojedinačnih elemenata. Ako je promenljivost brzine velika, može doći do snažnog rasipanja mlaza i prelaska u tok sitnih čestica metala.

Pad probojnosti sa povećanjem rastojanja osnove obloge od napadnute prepreke u momentu formiranja kumulativnog mlaza posledica je radijalnog rasturanja mlaza zbog otpora vazduha.

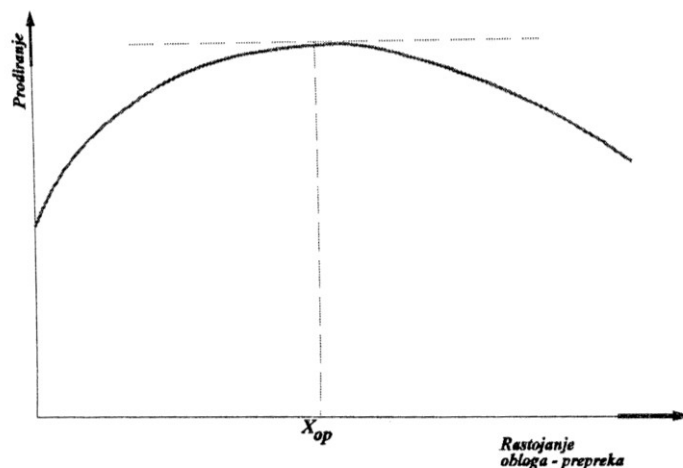
2. Asimetričnost impulsa produkata detonacije i asimetričnost kumulativne šupljine i metalne obloge prouzrokuju odstupanje elemenata mlaza od normalne trajektorije, kolinearne sa uzdužnom osom simetrije eksplozivnog punjenja. Identičan efekt ima i neujednačenost debljine obloge u poprečnom preseku. Nestabilnost mlaza izazvana navedenim nepravilnostima u odgovarajućim uslovima može da izazove stvaranje dva ili više kratera na napadnutoj prepreci.

7.2.5. Rastojanje između osnove obloge i prepreke

Primarni kumulativni mlaz raspolaže najvećom energijom u momentu odvajanja od sekundarnog mlaza, pa je optimalno rastojanje obloge i napadnute prepreke (X_{op}) ono rastojanje koje omogućava potpuno formiranje kumulativnog mlaza. Vreme potrebno za formiranje primarnog mlaza zavisi u najvećoj meri od brzine čela mlaza. Eksperimentalna ispitivanja su pokazala da kod kumulativnih eksplozivnih punjenja sa konusnom oblogom rastojanje osnova

obloge - prepreka, potrebno za formiranje primarnog mlaza, iznosi oko 2.5 kalibara za punjenja kalibra do 60 mm i oko 2 kalibra za punjenja većeg kalibra.

Na slici 7.7. dat je karakter promene dubine prodiranja u čeličnu prepreku u funkciji rastojanja obloge i prepreke. Očigledno je da bi optimalno rešenje bilo ako bi kriva promene probojnosti oko apscise X_{op} imala zanemarljivu krivinu u što većem opsegu.



Slika 7.7. Probojnost u funkciji rastojanja obloga - prepreka

7.2.6. Mehanizam za aktiviranje (upaljač)

Upaljač kumulativnog eksplozivnog punjenja treba da ispunjava dva osnovna zahteva:

- što kraće vreme funkcionisanja (maksimalna moguća trenutnost),
- funkcionisanje pri vrlo malim uglovima susreta projektila sa ciljem.

Za ugradnju u kumulativne projektile mogu se koristiti mehanički i električni mehanizmi za aktiviranje, ali značajnu prednost imaju električni mehanizmi zbog znatno veće trenutnosti i mogućnosti funkcionisanja pri vrlo malim udarnim uglovima (mehanički mehanizmi koriste se samo u nekim specijalnim slučajevima, naprimer kod kumulativnih ručnih bombi i kumulativnih bombica kasetnih projektila). Vreme funkcionisanja savremenih električnih mehanizama za aktiviranje iznosi 20 do 40 μs , a dobro rešenog mehaničkog mehanizma 250 μs . Električni mehanizmi funkcionišu pri udarnim uglovima do 5° , a mehanički do 15° .

7.2.7. Rotacija projektila

Rotacija projektila značajno degradira kumulativni efekat. Zbog toga su savremeni protivoklopni projektili sa kumulativnim punjenjem isključivo nerotirajući ili sa minimalnom rotacijom koja ne prelazi 50 o/s. Naime, u slučaju obrtnog kretanja kumulativnog punjenja, na čestice koje se nalaze u kumulativnom mlazu van ose obrtanja deluje centrifugalna sila, proporcionalna rastojanju čestica od ose obrtanja. Dejstvo ove sile izaziva povećanje poprečnog preseka mlaza, što smanjuje koncentraciju energije u mlazu, a time i njegovu moć probijanja.

Uticaj ugaone brzine kumulativnog punjenja na probojnost zavisi od prečnika punjenja i oblika kumulativne šupljine. Sa povećavanjem prečnika punjenja povećava se i negativan uticaj rotacije, zbog povećanja centrifugalne sile koja deluje na čestice u mlazu. Takođe,

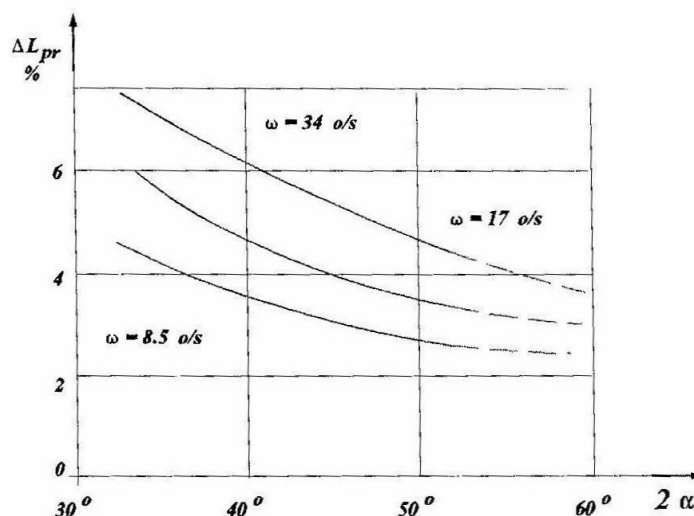
eksperimentalnim putem je utvrđeno da uticaj ugaone brzine zavisi od ugla 2α pri vrhu konusne šupljine. Ovaj uticaj se vidi iz narednog izraza za određivanje smanjenja moći probijanja blagorotirajućih kumulativnih projektila sa konusnom šupljinom u funkciji rotacije i ugla 2α :

$$\Delta L_{pr} = 24.4 \omega_u^{0.379} / (2\alpha)^{1.1625} \quad (7.1)$$

gde je:

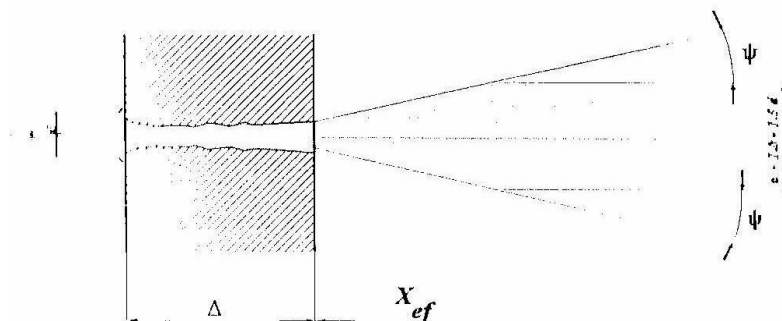
ω_u - obrtna brzina kumulativnog punjenja u momentu sudara sa preprekom.

Navedena zavisnost, predstavljena na slici 7.8. za nekoliko vrednosti obrtne brzine, važi za kumulativna punjenja prečnika do 80 mm.



Slika 7.8. Zavisnost moći prodiranja od obrtne brzine i ugla konusa šupljine

Realna efikasnost kumulativnog efekta zavisi od stanja i energije primarnog mlaza nakon probijanja napadnute prepreke debljine Δ . Eksperimentalni rezultati dobijeni sa savremenim kumulativnim projektilima (uključujući i blagorotirajuće) pokazuju da se čestice mlaza nakon probijanja čelične prepreke kreću u okviru konusa sa uglom $2\psi = 20^\circ$ do 30° u kome se zapažaju dve zone (slika 7.9.): zona cilindričnog oblika visoke efikasnosti i pored nje zona smanjene efikasnosti.



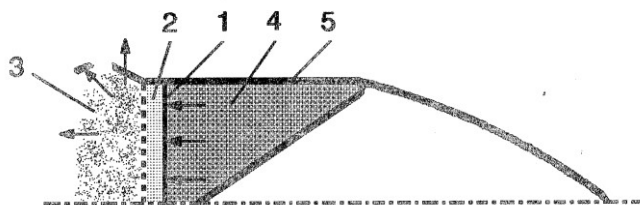
Slika 7.9. Zona dejstva nakon probijanja pancirne prepreke kumulativnim projektilom: 1 - zona visoke efikasnosti, 2 - zona smanjene efikasnosti

U prvoj zoni čestice mlaza raspolažu relativno velikom energijom koja je dovoljna za probijanje objekata i predmeta na koje nailaze, ili njihovo paljenje ako su zapaljivi (naprimjer, radio uređaji će biti razoreni ili onеспособljeni, municija zapaljena). U zoni smanjene

efikasnosti, gustina brzih čestica metala obloge i otkinutih čestica metala napadnute prepreke ima mnogo manju vrednost, pa je i verovatnoća pogadjanja i oštećenja objekata i predmeta iza prepreke znatno manja. Efikasan domet čestica (X_{ef}) u obe zone zavisi od brzine sa kojom se napušta probijena obloga, pa je proporcionalan odnosu L_{pr}/Δ . Gustina čestica u obe zone zavisi, takodje od ovog odnosa, ali i od konstrukcionih parametara kumulativnog punjenja (prirodno je da većem prečniku eksplozivnog punjenja i osnove obloge šupljine odgovara veća gustina čestica).

7.2.8. Košuljica projektila

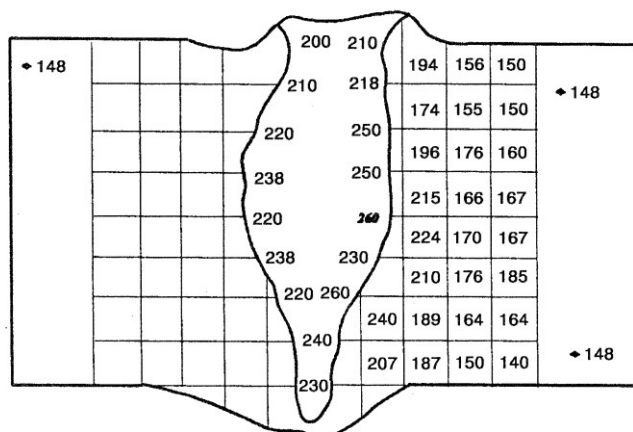
Osnovni zadatak košuljice projektila je da eksplozivno punjenje sačuva od prevremenog dejstva u fazi kretanja projektila u cevi orudja, odnosno na aktivnom delu putanje. Medjutim, košuljica nema bitan uticaj na kumulativni efekt, iako ona može da ograniči ili čak potpuno onemogući bočno širenje gasovitih produkata detonacije u zoni hemijske reakcije, pa se ne umanjuje energija detonacionog talasa (slika 7.10). Kod savremenih kumulativnih punjenja sa velikom brzinom detonacije i relativno velikim prečnikom ($d_c \geq 90$ mm), uticaj košuljice je praktično zanemarljiv.



Slika 7.10. Detonacija kumulativnog punjenja sa metalnom košuljicom
 1 - detonacioni talas, 2 - zona hemijske reakcije, 3 - produkti detonacije, 4 - eksplozivno punjenje, 5 - košuljica projektila

7.2.9 Karakteristike prepreke

Mehanizam prodiranja primarnog mlaza u prepreku, odnosno probijanje prepreke ima skoro isključivo karakteristike mehaničke pojave. Do probijanja i stvaranja otvora u prepreci dolazi usled radijalnog sabijanja materijala prepreke pod dejstvom primarnog mlaza. Najbolja potvrda navedenog tvrdjenja jeste činjenica da u metalu prepreke u blizini šupljine, stvorene prolaskom primarnog mlaza, dolazi do promene mehaničkih osobina: tvrdoća metala prepreke na samoj ivici šupljine je najveća, a zatim opada sa udaljavanjem od ivice do vrednosti koju je metal imao pre probijanja. Ova razlika u tvrdoći može da iznosi i do 130 Brinelovih jedinica, ako je materijal prepreke standardni pancirni čelik. Na slici 7.11 predstavljena je raspodela tvrdoće u čeličnoj prepreci oko šupljine stvorene dejstvom primarnog kumulativnog mlaza.



Slika 7.11. Promena tvrdoće prepreke u blizini šupljine stvorene prolaskom kumulativnog mlaza

Ako se imaju u vidu brzina primarnog mlaza i vrednost pritiska koji se javlja pri sudaru mlaza sa čeličnom preprekom (reda 10^{11} Pa), dolazi se do zaključka da se metal prepreke u procesu kretanja primarnog mlaza nalazi u posebnom, kvazitečnom stanju, pri čemu uslovi prelaska u ovakvo stanje zavise i od mehaničkih osobina metala prepreke.

Uticaj mehaničkih osobina i vrste materijala napadnute prepreke na moć probijanja kumulativnog mlaza pokazuju podaci navedeni u tabeli 7.1, dobijeni ispitivanjem kumulativnog punjenja od heksotola (50 % TNT - 50 % heksogen), prečnika 42 mm, visine 84 mm, sa hiperboloidnom oblogom kumulativne šupljine (obloga od aluminijumske legure, debljine 2 mm).

Tabela 7.1

Materijal prepreke	Tvrdoća HB	Dubina prodiranja (mm)
Čelik	100	111
Čelik	350	80
Aluminijumska legura	50	327
Aluminijumska legura	200	256

8. MISZNAY - SCHARDINOV EFEKT

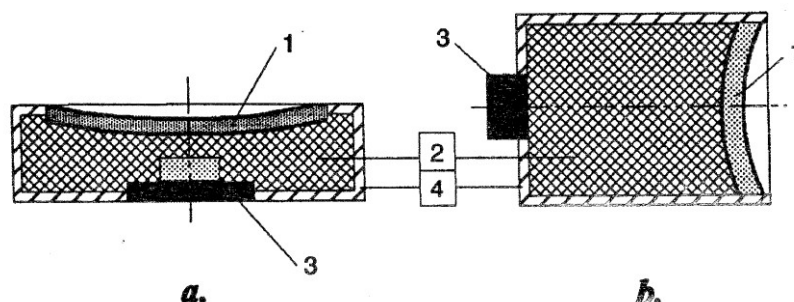
Mehanizam lansiranja i preoblikovanja metalnog diska kojim se vrši probijanje oklopa naziva se Misznay-Schardinovim efektom. Sa konstrukcionog stanovišta razlikuju se dva tipa rešenja koja se na bazi Misznay-Schardinovog efekta koriste u borbi protiv oklopnih borbenih vozila (šematski su predstavljeni na slici 8.1): protivtenkovske probojne mine (sa "antenskim" i nekontaktnim mehanizmom za aktiviranje), efikasne na rastojanjima od 1m i rešenja za probijanje oklopa na rastojanjima do 50m (usmerene probojne mine, odnosno stand-off projektili po anglosaksonskoj terminologiji). Probojne sposobnosti jednog i drugog tipa rešenja su različite, što proističe iz načina napada na izabrani cilj: protivoklopna mina pogađa podnu ploču ili gusenicu oklopnog vozila (kod savremenih tenkova podni oklop nije deblji od 40 mm), a usmerena probojna mina napada bočni oklop i gusenicu vozila (debljina bočnog oklopa korpusa savremenih tenkova ne prelazi 80 mm). Minimalna probojna moć prvog tipa rešenja iznosi 40 mm na rastojanju do 1 m, a drugog tipa 80mm na rastojanju do 50m.

Misznay-Schardinov efekt u najvećoj meri zavisi od karakteristika eksplozivnog punjenja i probojnog diska.

Organizacija eksplozivnog punjenja i vrsta primenjenog eksploziva treba da omoguće optimalno preoblikovanje diska i prenošenje na disk što je moguće veće energije produkata detonacije. Oblik i materijal diska treba da pogoduju preoblikovanju pod dejstvom produkata detonacije u oblik optimalan sa stanovišta probijanja napadnutog oklopa.

Eksplozivno punjenje je najčešće od livene mešavine hehsogena i trotila. Organizacija i iniciranje punjenja omogućuju formiranje detonacionog talasa, optimalnog sa stanovišta preoblikovanja diska i njegove brzine (odlučujući uticaj ima devijator detonacionog talasa).

Probojni diskovi izrađuju se najčešće od čelika, zatim bakra, tantala i osiromašenog urana. Najčešće primenjeni oblici diska prikazani su na slici 8.2.



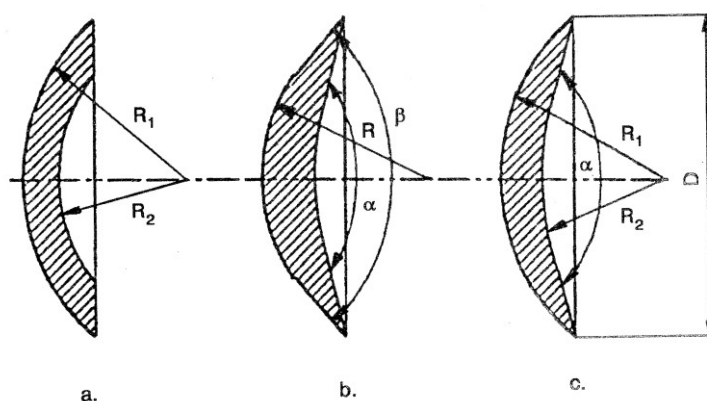
Slika 8.1. Šematski izgled rešenja na principu Misznay-Schardin-ovog efekta

a) protivtenkovska probojna mina

b) usmerena probojna mina (stand-off projektil)

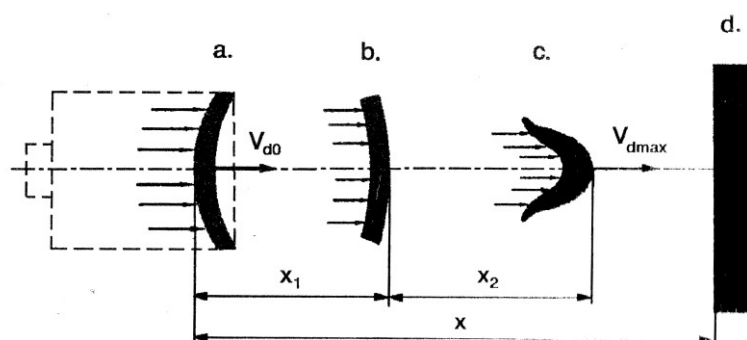
1 – metalni disk, 2 – eksplozivno punjenje,

3 – mehanizam za aktiviranje, 4 - obloga



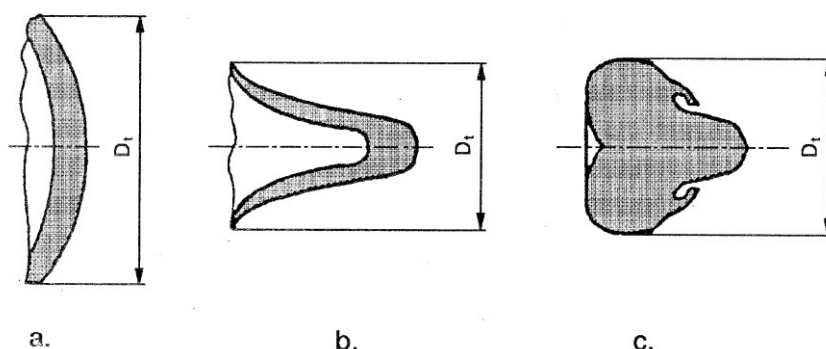
Slika 8.2. Najčešće primenjeni oblici diska
 a) disk sa koncentričnim površinama
 b) hiperbolični disk, c) balistički disk

Proces preoblikovanja diska odvija se pod dejstvom produkata detonacije na putu do cilja. Za rešenja prvog tipa dužina puta koji stoji na raspolaganju za preoblikovanje diska nije veća od 0.5m, a za rešenja drugog tipa preoblikovanje diska se može izvesti i na većoj dužini puta (slika 8.3 šematski prikazuje proces lansiranja i preoblikovanja metalnog diska u slučaju usmerene probojne mine).



Slika 8.3. Proces lansiranja i preoblikovanja diska

Konačni oblici diskova u zavisnosti od njihovih početnih oblika datih na slici 8.2 dati su na sl. 8.4.



Slika 8.4. Konačni oblici diskova

9. KASETNI PROJEKTILI

9.1 Namena i perspektive

Jedan od pravaca usavršavanja projektila konvencionalnog dejstva na cilju predstavljaju projektili kasetnog tipa, koji se u operativnu upotrebu nekih armija uvode krajem osamdesetih godina prošlog veka uz stalno usavršavanje njihovih karakteristika do današnjih dana. Osnovni cilj pri razvoju ovih projektila je da se poveća efikasnost artiljerijskih (klasičnih i raketnih) sistema protiv neprijateljskih snaga u reonima prikupljanja (protiv "žive sile" i borbene tehnike, pre svega oklopnih borbenih sredstava). Zbog toga su prva rešenja projektila kasetnog tipa bili projektili kalibra 155mm i većeg i raketni projektili višecevnih lansera pri čemu se u košuljicu projektila ugrađuju "bombice" (podprojektili) parčadnog i kumulativnog dejstva ili protivtenkovske mine na principu Misznay-Schardin-ovog efekta.

Reaalizovani kasetni projektili i njihov dosadašnji razvoj, omogućavaju da se ovi projektili razvrstaju u tri osnovne vrste:

- projektili za dejstvo protiv "žive sile" i oklopnih borbenih sredstava (u kasetu-košuljicu projektila, odnosno bojnu glavu raketnog projektila, smeštene su "bombice" parčadno-kumulativnog dejstva, koje se aktiviraju pri kontaktu sa ciljem, odnosno pri udaru u tle),
- projektili za rasipanje protivtenkovskih mina radi zaprečavanja terena na pravcima nastupanja neprijateljskih tenkova i drugih oklopnih borbenih vozila,
- projektili-nosači podprojektila sa sistemom za samonavođenje na izabrani cilj (ova vrsta municije se naziva submunicijom ili inteligentnom municijom).

Prve dve vrste nalaze se u operativnoj upotrebi nekih armija od pre petnaestak godina (ove vrste kasetnih projektila nalaze se u bojevom kompletu naših raketnih sistema "Oganj" i "Orkan"), a treća vrsta je još uvek u fazi razvoja. Njihov razvoj se odvija u dva pravca. U okviru prvog razvijaju se podprojektili sa senzorskim upaljačem (kod nas se za ovu grupu koristi oznaka SMSU-SubMunicija sa Senzorskim Upaljačem, a u anglosaksonskoj literaturi oznaka SEDARM-SEnse and Destroy ARMour). U okviru drugog pravca razvijaju se podprojektili sa samonavođenjem na kraju putanje (kod nas su označeni sa SMSNZDP- SubMunicija SamoNavođena na Završnom Delu Putanje, a u anglosaksonskoj literaturi sa TGSM- Terminally Guided SubMunition).

Podprojektili sa senzorskim upaljačem razvijaju se u dve varijante:

- u fazi pretraživanja koristi se padobran ili sistem sa više padobrana,
- u fazi pretraživanja koriste se odgovarajući aerodinamički mehanizmi.

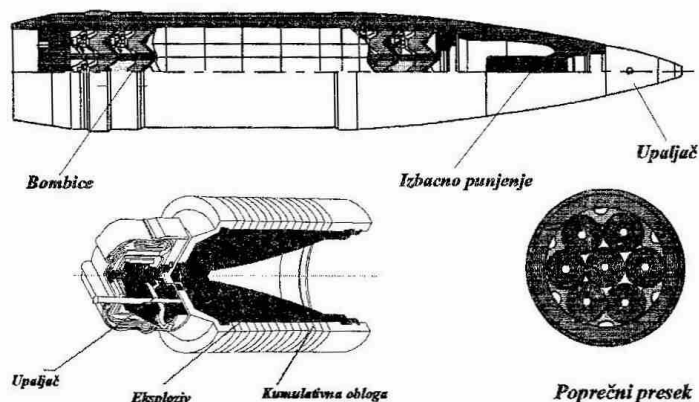
Podprojektili sa samonavođenjem razvijaju se takođe u dve varijante:

- samonavođenje pomoću aerodinamičkih površina,
- samonavođenje korišćenjem poltiska raketnog motora sa zakošenim mlaznicama.

9.2 Klasični projektili kasetnog tipa

Kod ovih projektila u košuljicu klasičnog ili raketnog artiljerijskog projektila ugrađuje se izvestan broj "bombica" ili protivtenkovskih mina, koje se na određenoj visini ispred cilja izbacuju iz košuljice projektila (kod projektila lansiranih iz klasičnih artiljerijskih oruđa), ili se

rasipaju razaranjem košuljice bojne glave raketnog projektila. Dakle, preko tempirnog upaljača aktivira se izbacno punjenje na unapred izabranoj tački putanje projektila, a sila pritiska produkata sagorevanja punjenja istiskuje dno košuljice projektila i izbacuje "bombice", odnosno protivtenkovske mine. Konstrukcija artiljerijskog kasetnog projektila prikazana je na slici 9.1 na kojoj je predstavljen Rheinmetall-ov projektil 155mm RB-63 sa 63 parčadno-kumulativne "bombice".



Slika 9.1 Rheinmetall-ov kasetni projektil 155mm RB-63 sa "bombicama"

U slučaju raketnog projektila kasetnog tipa, tempirni upaljač aktivira eksplozivno punjenje-sečivo postavljeno duž košuljice bojne glave, koja se na ovaj način cepa na dva dela i oslobađa "bombice", odnosno protivtenkovske mine.

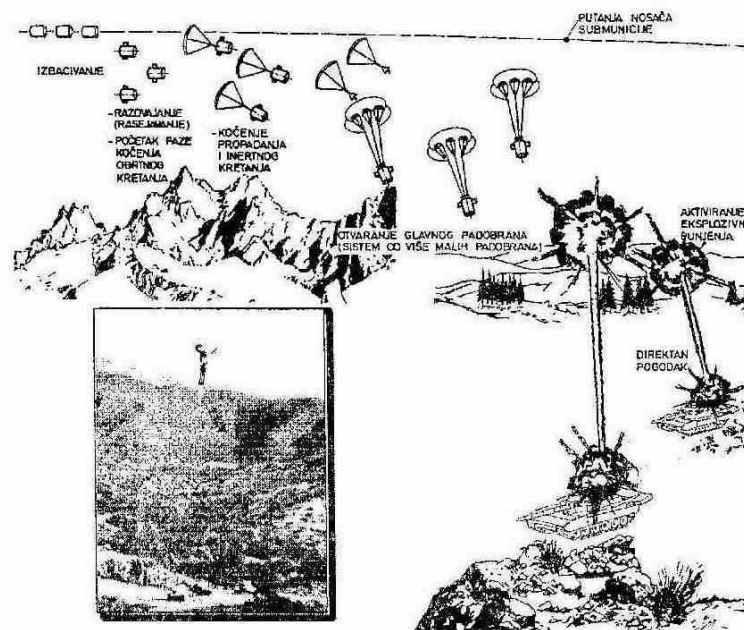
Tačka na putanji u kojoj deluje upaljač, odnosno u kojoj se izbacuju ili oslobađaju "bombice" i protivtenkovske mine obično se nalazi na visini oko 300m i 100 do 200m ispred površine na kojoj se nalazi tučeni cilj.

Nakon izbacivanja, odnosno oslobađanja, "bombice" i protivtenkovske mine nastavljaju izvesno vreme kretanje po inerciji, a zatim se uključuje aerodinamički element (jedna vrsta padobrana) koji obezbeđuje vertikalno propadanje i pravilan položaj "bombice", odnosno pravilan položaj protivtenkovske mine pri padu na tle.

Principijelna šema funkcionisanja kasetnog projektila sa "bombicama" prikazana je na slici 9.2.

Konstrukcija "bombice" je relativno jednostavna. Kumulativno punjenje je projektovano za probijanje homogenog oklopa debljine 60÷80mm, a parčadno dejstvo se ostvaruje razaranjem metalne košuljice "bombice", ili čeličnim kuglicama ugrađenim u košuljicu. "Bombica" se aktivira pri udaru u cilj preko mehaničkog upaljača velike osetljivosti i trenutnosti.

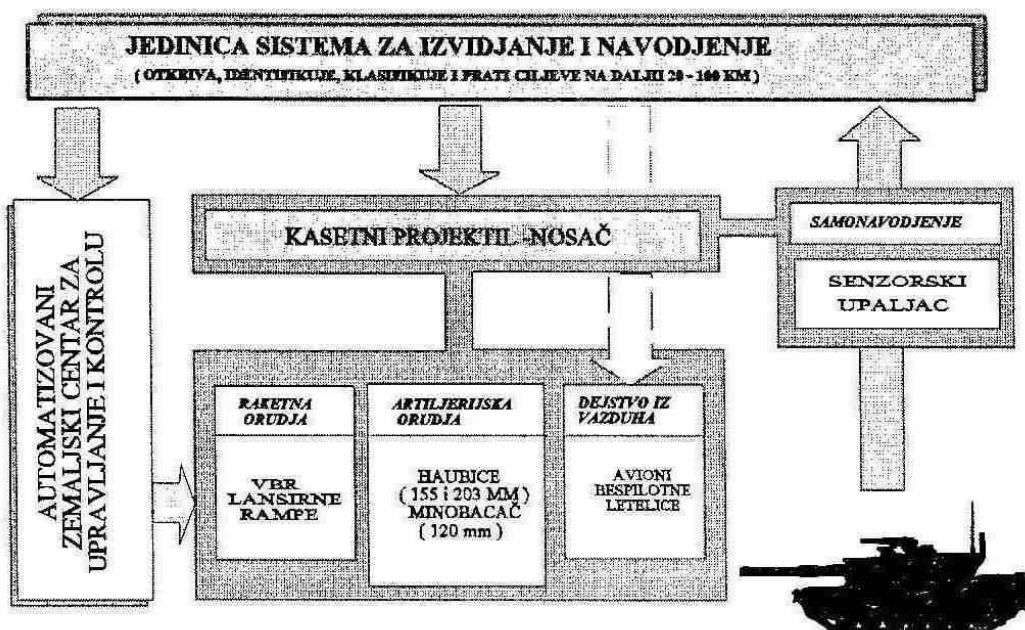
Broj "bombica", odnosno protivtenkovskih mina u jednom kasetnom projektilu zavisi od njegovog kalibra. Efikasnost kasetnih projektila zavisi u velikoj meri od konfiguracije terena iznad koga dejstvuju ovakvi projektili i stanja vegetacije na tlu (najbolji rezultati se postižu na ravnom pustinjskom terenu).



Slika 9.2 Principijelna šema funkcionisanja kasetnog projektila sa "bombicama"
 Faza 1: izbacivanje (oslobađanje) "bombica"
 Faza 2: slobodno kretanje "bombica" po inerciji
 Faza 3: vertikalno propadanje "bombica" uz pomoć vazdušnog otpora (padobrana)
 Faza 4: napad na tenkovsku formaciju

9.3 Kasetni projektili sa samonavodenim podprojektilima

Ova vrsta kasetnih projektila je znatno složenija od prethodno ramatranih. Zapravo, u pitanju je jedan izuzetno složen sistem u kome je kasetni projektil sa samonavodenim poprojektilima samo jrdan od više podsistema. Ovo očigledno pokazuje šema data na slici 9.3.



Slika 9.3. Sistem za borbu protiv tenkova na velikim daljinama korišćenjem kasetnih projektila sa samonavodenim podprojektilima

Kako pokazuje slika 9.3 sistem za protivtenkovsku borbu na velikim daljinama obuhvata:

- jedinicu za izviđanje i navođenje,
- automatizovan zemaljski centar za upravljanje i kontrolu,
- artiljerijska i raketna oruđa,
- kasetneprojektile sa samonavođenim podprojektilima, i
- samonavođene podprojekte.

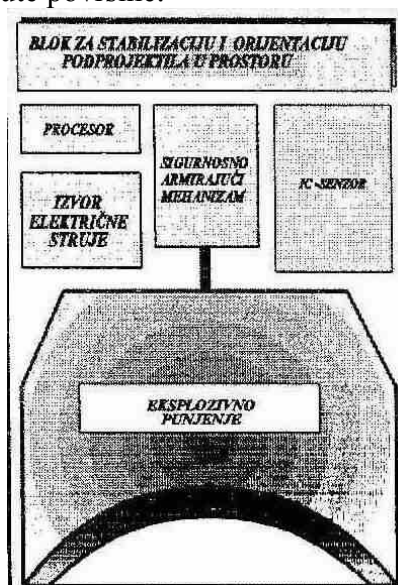
Sistem bi trebalo da omogući efikasnu borbu protiv savremenih tenkova na daljinama do 100km. Pri tome, izvršavanje jednog borbenog zadatka zahteva sledeće sukcesivne aktivnosti:

- avion iz sastava podsistema za izviđanje i navođenje, opremljen odgovarajućim radarom, kruži ispred prednje linije borbenog poretka i osmatra zadati prostor zaposednut neprijateljskim snagama,
- informacija sa radara se prenosi do stanice za obradu podataka,
- analizom radarskih podataka utvrđuju se ciljevi i odgovarajući elementi saopštavaju angažovanim oruđima,
- vrši se lansiranje kasetnih projektila sa samonavođenim podprojektilima,
- avionski radar prati kretanje cilja i u pogodnom momentu prihvata i prati kasetni projektil,
- u reonu cilja, radar aktivira u projektilu mehanizam za oslobađanje (izbacivanje) podprojektila,
- podprojektil zahvata cilj,
- samonavođenje projektila na cilj.

Razvoj samonavođenih podprojektila, jednog ovakvog ili sličnog sistema, kao što je već prethodno rečeno, teče u dva pravca:

- podprojektili sa senzorskim upaljačem raspolažu sopstvenom "glavom za pretraživanje" u koju su ugrađeni detektori na bazi infracrvene ili milimetarsko-talasne tehnologije; principijelna blok šema podprojektila sa senzorskim upaljačem predstavljena je na slici 9.4,

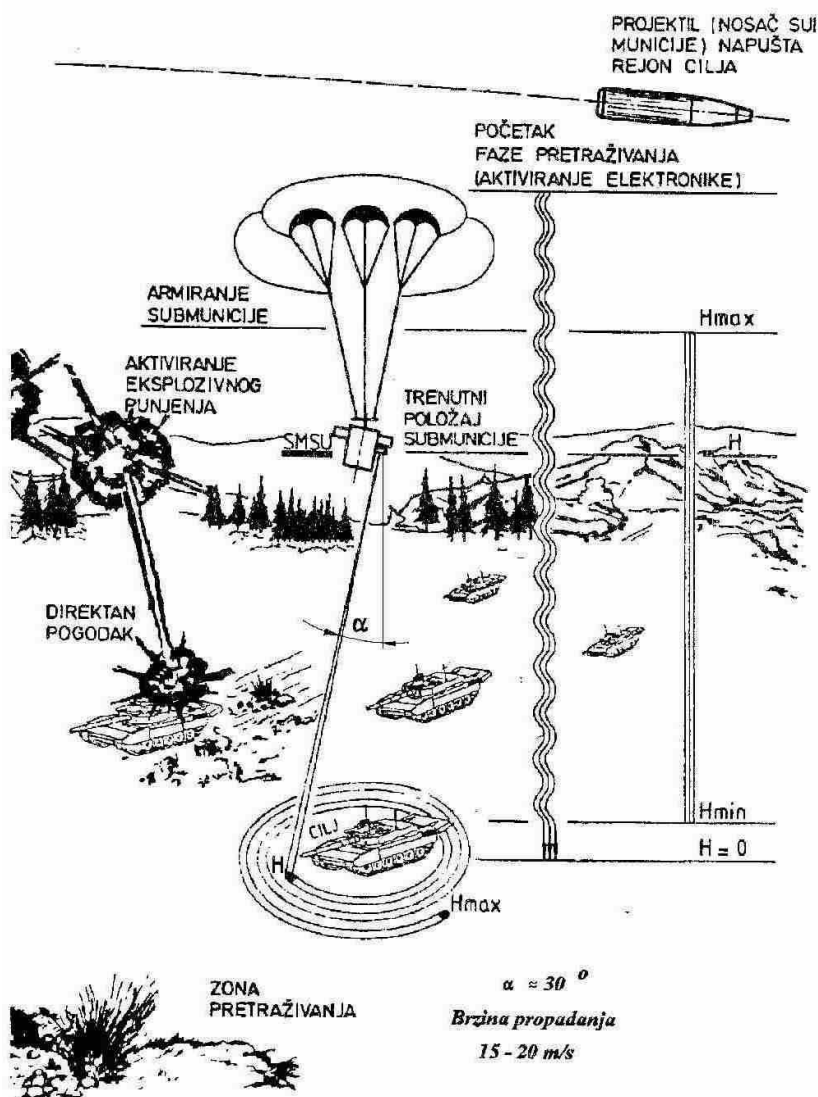
- podprojektili samonavođeni na završnom delu putanje, koji autonomno traži oklopne ciljeve u izabranom delu napadnute površine.



Slika 9.4. Struktura podprojektila sa senzorskim upaljačem

Podprojektili sa senzorskim upaljačem. Podprojektil sačinjavaju tri osnovna bloka (videti sliku 9.4): senzorski (kombinacija IC i milimetarskih talasa), aerodinamički (padobran i aerodinamička krilca) i eksplozivni (eksplozivno formirani projektil - EFP).

Kao i u slučaju klasičnih kasetnih projektila, na oko 500÷600m iznad reona cilja tempirni elektronski upaljač aktivira izbacno punjenje čiji gasoviti produkti sagorevanja istiskuju najpre dno košuljice projektila nosača, a zatim i same podprojektile. Posle razdvajanja i međusobnog razmicanja podprojektila do oko 100m, otvara se kočeći padobran, a zatim i aerodinamička krilca koja smanjuju rotaciju. Pošto je izvršio potrebnu redukciju translatorne brzine podprojektila, kočeći padobran otpada, a otvara se glavni padobran, koji ima vrlo komplikovan zadatak - obezbeđuje brzinu propadanja od 15÷20m/s, ugao između uzdužne ose simetrije podprojektila i vertikale od oko 30° i obrtanje podprojektila oko vertikale brzinom od oko 6 o/s, čime se ostvaruje potrebna zona pretraživanja (faza pretraživanja i armiranja prikazana je na slici 9.5). U isto vreme visinomer (milimetarsko-talasni primopredajnik), postavljen ispred eksplozivnog punjenja, počinje merenje visine. Na visini od oko 100m (H_{max} na slici 9.5), visinomer vrši armiranje upaljača u eksplozivnom punjenju, a u tom trenutku senzor skenira zemljište i u kontinualnim usko razmaknutim spiralama obuhvata površinu od oko 1 ha. Ako senzor uoči cilj, aktivira eksplozivno punjenje preko odgovarajućeg upaljača (na visinama manjim od visine označene sa H_{min} na slici 9.5 smanjuje se Misznay-Schardin-ov efekat).



Slika 9.5 Faza pretraživanja podprojektila sa senzorskim upaljačem

Karakteristični zahtevi koje mora ispunjavati podprojektil sa senzorskim upaljačem su:

- svi elementi i blokovi, uključujući i senzorski blok, moraju biti otporni na šokove pri lansiranju sa ubrzanjem do 30000g,
- pravac viziranja kolinearan sa putanjom preoblikovanog diska nakon detonacije eksplozivnog punjenja,
- daljina detekcije cilja odgovara efikasnom dometu preoblikovanog diska (oko 100m),
- vreme armiranja upaljača eksplozivnog punjenja usaglašeno sa vremenom propadanja podprojektila sa padobranom i brzinom spiralnog pretraživanja,
- niska osetljivost na prirodne i veštačke lažne ciljeve i ometanja,
- visoka sposobnost detekcije i klasifikacije ciljeva i lociranja centra ciljeva,
- sposobnost dejstva u svim vremenskim uslovima,
- uslovi skladištenja, transporta i rukovanja isti kao i u slučaju klasičnih projektila.

Iz izloženih činjenica nije teško zaključiti da je projektil sa senzorskim upaljačem krajnje složen sa tehničkog i tehnološkog stanovišta. Ovaj zaključak potvrđuju i sledeće karakteristike ove vrste projektila:

1. Prednost podprojektila sa senzorskim upaljačem proističe iz pasivnog sistema pretraživanja, koji je veoma složen, ako se imaju u vidu mogućnosti smeštaja u maksimalno ograničenu zapreminu, nivo opterećenja u fazi lansiranja i uslovi funkcionisanja. Ovom podprojektilu nije potrebno neprekidno obeležavanje cilja.

2. Nakon izbacivanja-oslobađanja na putanji, podprojektil se kreće po putanji koja zavisi od više faktora: početnih uslova izbacivanja (visine, translatorne i obrtne visine), pravilnosti funkcionisanja kočice i glavnog padobrana i drugih aerodinamičkih elemenata i meteoroloških uslova (podprojektil je veoma osetljiv na uticaj vetra).

3. Od visine izbacivanja - oslobađanja podprojektila zavisi izgled zone detektovanja i verovatnoća pogađanja cilja.

4. Od ugla viziranja α (ugao između uzdužne ose simetrije podprojektila i vertikale) i visine armiranja H_{\max} zavisi prečnik, odnosno površina zone pretraživanja. Na primer, za istu visinu armiranja, veći ugao viziranja obezbeđuje i veću površinu pretraživanja, ali u ovom slučaju može biti umanjen Misznay-Schardin-ov efekat, ako je rastojanje između eksplozivnog punjenja u momentu dejstva i cilja veće od optimalnog.

Podprojektili samonavođeni na završnom delu putanje. Razvoj ove vrste kasetnih projektila je novijeg datuma i odvija se sporije, jer su i problemi tehničko-tehnološke prirode znatno teži, a neophodna finansijska ulaganja znatno veća.

Nemačka firma Rheinmetall radi na razvoju podprojektila samonavođenog na završnom delu putanje čiji je nosač artiljerijski projektil kalibra 155mm. Kada se ovaj projektil nađe iznad reona cilja, podprojektil se izbacuje na isti način kao i podprojektil sa senzorskim upaljačem. U ovoj fazi podprojektil se nalazi u odgovarajućoj nosećoj čauri na čijem se jednom kraju otvara padobran da bi se usporilo propadanje, a na drugom kraju se otvaraju aerodinamička krilca koja smanjuju nasleđenu rotaciju. Na visini oko 800m odbacuje se noseća čaura i aktivira senzor u prednjem delu podprojektila, skenira prostor površinskog cilja i kada je cilj pronađen, procesor signala obrađuje vrednost izlaza prijemnika da bi se proverilo da li je cilj odgovarajući. Ako je rezultat provere pozitivan, podprojektil ponire prema cilju. Korekcija putanje podprojektila, neophodna da bi se cilj pogodio, generiše se u vidu signala vođenja koji deluje na sistem za stabilizaciju i orijentaciju podprojektila (sastoji se bočno postavljenih mlaznica kroz koje ističu gasovi pri sagorevanju malih pirotehničkih punjenja). Bojna glava podprojektila predstavlja kumulativno punjenje sposobno da probije gornji oklop savremenih tenkova.

Američka firma General Dynamics radi na podprojektilu čiji je nosač takođe, artiljerijski projektil 155mm. Kod ovog rešenja aerodinamička krilca predstavljaju komandne organe upravljanja po visini i pravcu. Podprojektil se izvlači iz slobodnog poniranja i prelazi u duži period skoro horizontalnog leta. U toku ovog perioda senzor, usmeren ka napred i prema dole, "briše" prostor nastojeći da pronađe cilj. IC senzor otkriva, identifikuje, prati i preko elektronskih kola za obradu signala, predaje potrebne informacije potpuno automatizovanom sistemu samonavođenja.

Podprojektil samonavoden na završnom delu putanje ima u odnosu na podprojektil sa senzorskim upaljačem, dve značajne prednosti: veću verovatnoću pogađanja cilja i veću preciznost u lokaciji cilja na većim površinama. Razume se, ovo mora da bude plaćeno znatno većim troškovima i dugotrajnim razvojem, a zatim i znatno većom cenom u serijskoj proizvodnji.

10. PROJEKTILI SPECIJALNE NAMENE

U grupu projektila specijalne namene spadaju projektili za zadimljavanje i osvetljavanje, projektili zapaljivog dejstva, projektili sa bojnim otrovima i projektili za obuku. Iako se u konstrukcionom pogledu međusobno razlikuju, navedene podgrupe projektila svrstane su u jednu grupu zbog toga što je njihova primena u borbenim dejstvima vrlo ograničena i što po svom značaju u okviru jedne borbene operacije svakako dolaze iza razornih i protivoklopnih projektila.

11. UPALJAČI

Upaljač je sistem, uređaj ili mehanizam čija je namena da aktivira projektil ili minu u željenom trenutku i u uslovima koje diktiraju namena i vrsta projektila ili mine.

11.1. Klasifikacija upaljača

Za sistematsko proučavanje upaljača važne su podele:

- a) prema fizičkim i hemijskim procesima na kojima se zasniva delovanje upaljača
- b) prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj
- c) prema vremenu reagovanja
- d) prema načinu i stepenu osiguranja

11.1.1. Klasifikacija upaljača prema primenjenim fizičkim i hemijskim procesima

Upaljači su najčešće složeni uređaji sastavljeni od više podсистема koji obuhvataju razne funkcije i osiguravaju željene funkcionalne i eksploatacione karakteristike upaljača kao celine. Kako svaki od tih podсистема (za armiranje, za osiguranje, za samolikvidaciju i sl.) može biti konstruisan na drugom principu, upaljači se klasifikuju prema osnovnom funkcionalnom podсистemu - zvanom podсистem nosilac funkcije - koji obavlja osnovnu namenu upaljača, tj. aktivira ga na cilj. Prema ovakvoj klasifikaciji upaljači mogu biti:

a) **mehanički**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na primeni mehaničkih sila i momenata (inercione sile, reakcione sile, centrifugalne sile, sile i momenti opruge i sl.).

b) **pirotehnički**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na inicijaciji i sagorevanju pirotehničkih elemenata; kako su pirotehnički elementi prisutni kod skoro svih upaljača, pirotehničkim se smatraju oni kod kojih se i deo funkcije pre inicijacije kapsle, odnosno tzv. pirotehničkog ili inicijalnog lanca upaljača, obavlja pomoću pirotehničkih komponenata (naprimer, aktiviranje nakon određenog vremena tempiranja i dr.).

c) **hemijski**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na hemijskim procesima različitim od sagorevanja pirotehničke smeše.

d) **električni**, kojima je za obavljanje osnovne funkcije potreban neki izvor električne energije; pored piezoelektričnih i električnih kontaktnih upaljača u tu kategoriju spadaju svi **elektronski** tempirni i blizinski upaljači.

e) **magnetski**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na korišćenju raznih magnetskih fenomena.

f) **ostali**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na akustičnom efektu, detekciji infracrvenog zračenja, emisiji i detekciji radarskih signala i sl.; ti se upaljači najčešće mogu svrstati u kategoriju **elektronskih** upaljača, jer im se, generalno uzevši, funkcija zasniva na primeni elektronskih kola i elemenata, a redovno im je potreban i neki izvor električne energije.

11.1.2 Klasifikacija upaljača prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj

Prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj upaljači se mogu podeliti na:

a) **kontaktne**, koji deluju u neposrednom dodiru sa ciljem; **udarni** upaljači su samo deo ove kategorije.

b) **blizinske**, koji deluju na određenoj udaljenosti od cilja putem detekcije nekog za cilj karakterističnog efekta (zvuka, poremećaja, magnetskog polja, Dopplerovog efekta koji je posledica međusobnog kretanja cilja i izvora elektromagnetskih talasa i sl.).

c) **ambijentalne**, koji deluju putem detekcije određene promene u okolnoj sredini (pritiska, temperature, osvetljenosti i dr.)

d) **komandne**, koji deluju nakon prijema određenog signala (neautomatski emitovane komande).

e) **nezavisne**, koji deluju nakon unapred određenog vremena, bez obzira na prisutnost cilja i okolnu sredinu.

f) **kombinovane**, kod kojih su objedinjena dva vida dejstva, tako da se međusobno uslovljavaju; ukoliko vidovi delovanja nisu međusobno uslovljeni reč je o upaljačima s **dvostrukim delovanjem**, koji ustvari predstavljaju dva upaljača objedinjena u zajedničko telo (kučište).

11.1.3 Klasifikacija upaljača prema vremenu reagovanja

Prema vremenu reagovanja upaljači se mogu klasifikovati u sledeće grupe:

a) **supertrenutni** upaljači sa vremenom reagovanja reda $20 \div 200 \mu\text{s}$

b) **trenutni** upaljači sa vremenom reagovanja $0.5 \div 10 \text{ ms}$

c) upaljači **sa kratkim usporenjem** sa vremenom reagovanja reda $0.02 \div 0.1 \text{ s}$

d) upaljači **sa dugim usporenjem** sa vremenom reagovanja reda $0.2 \div 0.6 \text{ s}$

e) **tempirni** upaljači koji reaguju nakon unapred određenog vremena koje se može kretati od nekoliko sekundi do nekoliko minuta (upaljači za projektele) ili do nekoliko sati, pa čak i dana (minsko-eksplozivna sredstva).

Upaljači mogu biti opremljeni uređajima pomoću kojih se može birati vreme reagovanja (trenutno ili usporeno delovanje) zavisno od vrste cilja ili taktičke situacije. Tempirni upaljači za projektele obično imaju i dodatni mehanizam za aktiviranje u slučaju direktnog udara projektila u cilj, tj. izvode se kao upaljači sa dvostrukim delovanjem.

11.1.4 Klasifikacija upaljača prema načinu i stepenu osiguranja

Klasifikacija upaljača prema stepenu osiguranja zasniva se na jednoj konstruktivnoj specifičnosti upaljača - ugradnji dodatnog podsistema za osiguranje, koji se sastoji od uređaja ili mehanizma kojim se pirotehnički lanac u upaljaču (tj. vatrena veza između inicijalne kapsle i detonacione kapsle i detonatora, koji je u dodiru sa osnovnim eksplozivnim punjenjem projektila, a preko više pomoćnih pirotehničkih elemenata - pojačivača plamena, usporača, detonatorskih prenosnika i sl.) mehanički prekida u toku skladištenja, transporta, rukovanja i početnih faza lansiranja i uspostavlja tek nakon što je projektil prešao potrebnu sigurnosnu udaljenost ispred oružja - lansera.

S obzirom na dodatno osiguranje razlikujemo tri slučaja:

a) upaljači sa ugradjenim podsistemom koji osigurava potpun prekid pirotehničkog lanca, tako sa se, s jedne strane, ispred mesta prekida nalaze svi pirotehnički elementi (inicijalna kapsla, detonaciona kapsla i dr.), a s druge strane, iza mesta prekida - detonator i glavno punjenje projektila. U staroj, neadekvatnoj terminologiji upaljač sa takvim podsistemom dopunskog osiguranja nazivan je: **potpuno osigurani** upaljač.

b) upaljači sa ugradjenim podsistemom koji prekida pirotehnički lanac iza najosetljivijeg elementa u lancu (inicijalne kapsle), dok detonaciona kapsla i ostali prenosni pirotehnički elementi ostaju u stalnoj vatrenoj vezi sa detonatorom i osnovnim eksplozivnim punjenjem. Takvo rešenje primenjuje se najčešće kod upaljača malih dimenzija, jer za ugradnju uređaja za prekid plamenog impulsa inicijalne kapsle nije potreban veliki prostor. Upaljači sa takvim sistemom dopunskog osiguranja nazivani su u staroj terminologiji: **poluosigurani** upaljači.

c) upaljači bez podsistema za dopunsko osiguranje, tj. sa pirotehničkim elementima u "otvorenom nizu", odnosno u stalnoj vatrenoj vezi sa detonatorom. Takvi upaljači nazivani su u staroj terminologiji: **neosigurani** upaljači.

Sami nazivi "poluosiguran" i "neosiguran" upaljač na samo da su pogrešno odabrani (svi upaljači imaju odgovarajući neophodni podsistem za osnovno osiguranje), već unose zabunu i strah među korisnike (za onog ko nije detaljno upućen u konstrukciju i funkcionisanje upaljača "neosiguran" je isto što i nesiguran). Suštinski, dopunski sistem osiguranja povećava sigurnost upaljača prvenstveno u raznim vanrednim slučajevima (kod upaljača oštećenih korozijom usled neadekvatnog skladištenja, u slučaju promene osetljivosti pirotehničkih elemenata zbog starenja i čuvanja u nepovoljnim uslovima, u slučaju nepoštovanja režima vatre i propisa o rukovanju municijom, u slučaju požara i sl.). U normalnim uslovima rukovanja i upotrebe upaljača sa prekinutim pirotehničkim lancem i oni kod kojih je pirotehnički lanac otvoren podjednako su sigurni.

11.2 Funkcionalna kompozicija upaljača

Svi upaljači, ma koliko jednostavni ili komplikovani bili, formirani su od nekoliko podsistema, čijim se delovanjem osiguravaju tražene funkcionalne ili eksploatacione karakteristike upaljača kao celine. Dva osnovna zahteva koji se postavljaju pred svaki upaljač su:

a) da bude pouzdan u borbenoj upotrebi, tj. da pouzdano obavlja svoju funkciju u sklopu projektila ili mine i

b) da bude potpuno siguran u toku skladištenja, transporta i u svim fazama pripreme za upotrebu.

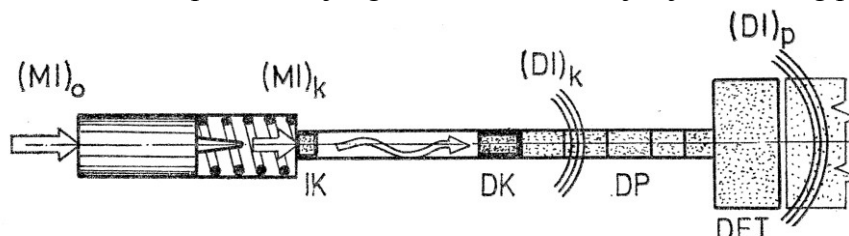
Ovi zahtevi mogu se ostvariti na razne načine, ali se praktično sva konstruktivna rešenja mogu prema funkciji razvrstati u nekoliko podsistema, i to:

- 1) podsistem nosilac funkcije,
- 2) podsistem pirotehničkih elemenata,
- 3) podsistem za armiranje,
- 4) podsistem za osiguranje,
- 5) telo upaljača sa spojnim elementima.

Ovi osnovni podsistemi mogu prema potrebi biti dopunjeni dodatnim podsistemima u koje spadaju:

- 6) podsistem za samolikvidiranje ili neutralisanje,
- 7) podsistem za početno aktiviranje,
- 8) podsistem za određivanje vremena reagovanja.

Funkcionalno komponovanje upaljača integracijom tih podsistema u celinu koja će odgovarati postavljenim zahtevima može se najbolje objasniti opisom nastajanja jednostavnog mehaničkog upaljača. Kod ovog upaljača zadatak upaljača je da prilikom udara projektila u cilj aktivira glavno punjenje projektila, tj. izazove njegovu detonaciju. Prema tome, treba transformirati mehanički impuls koji je rezultat dodira vrha projektila/upaljača sa ciljem $(MI)_0$ (slika 11.1) u detonacioni impuls dovoljnog intenziteta za inicijaciju osnovnog punjenja $(DI)_p$.



Slika 11.1. Podsistem nosilac funkcije

Za pouzdano odvijanje ove transformacije treba:

a) pretvoriti mehanički impuls $(MI)_0$, koji može biti različit prema intenzitetu i smeru delovanja (udari raznim brzinama i pod različitim uglovima u prepreke različitih fizičkih osobina), u kontrolisani mehanički impuls potreban za sigurnu inicijaciju pirotehničkog lanca $(MI)_k$; tu ulogu u ovom slučaju ima udarni mehanizam sa oprugom i iglom, pa predstavlja podсистем носилац функције upaljača;

b) osigurati pouzdanu inicijaciju pirotehničkog lanca ugradnjom elementa koji reaguje na kontrolisani mehanički impuls; u ovom slučaju to je inicijalna kapsla (IK), koja kontrolisani mehanički impuls pretvara u plameni impuls $(PI)_k$ dovoljnog intenziteta za pouzdano aktiviranje sledećeg elementa u pirotehničkom lancu;

c) plameni impuls $(PI)_k$ pretvoriti u početni detonacioni impuls, što se postiže ugradnjom posebnog pirotehničkog elementa (detonacione kapsle DK) koja impuls $(PI)_k$ pretvara u detonacioni impuls $(DI)_k$;

d) početni detonacioni impuls preneti posredstvom detonacionih prenosnika (DP) do detonatora (DET) u kome se impuls $(DI)_k$ pojačava do intenziteta $(DI)_p$ dovoljnog za pouzdanu

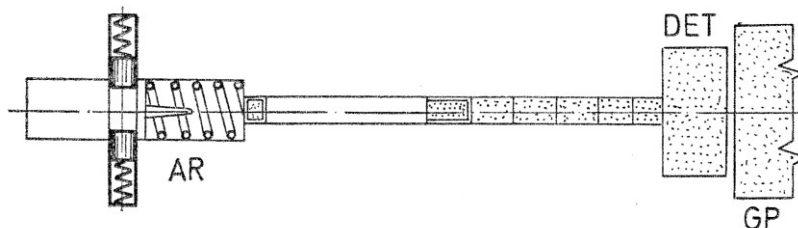
inicijaciju osnovnog punjenja projektila ili detonatorskih pojačnika u osnovnom punjenju projektila.

Inicijalna kapsla, pirotehnički elementi za prenošenje, pojačavanje i eventualno usporavanje plamenog impulsa, detonaciona kapsla, detonatorski prenosnici i detonator su elementi tzv. pirotehničkog ili inicijalnog lanca upaljača, u kojem se obavlja kontrolisana transformacija impulsa od mehaničkog do detonacionog. Izradom osnovnog punjenja projektila od eksploziva praktično neosetljivog na sve impulse osim detonacionog (tj. od eksploziva koji se ne može aktivirati udarima do kojih može doći prilikom upotrebe ili toplotnom energijom kojoj projektil normalno može biti izložen, već samo impulsom detonacione kapsle) znatno se povećava sigurnost pri rukovanju municijom. Ako se od eksploziva neosetljivog na udar izrade i drugi elementi pirotehničkog lanca (DET, DP, DK) ostaje kao jedini osetljivi element inicijalna kapsla, pa i ona u datom slučaju treba da reaguje samo na kontrolisani ubod igle određenog oblika koja u trenutku dodira sa kapslom poseduje odgovarajuću kinetičku energiju. Pirotehnički lanac je, ustvari, jedna od komponenata kojima se ostvaruje osnovno osiguranje upaljača, o čemu treba voditi računa prilikom njegovog projektovanja i izbora pirotehničkih elemenata.

Da ne bi došlo do udara igle u kapslu prilikom rukovanja, u letu i u drugim slučajevima kada na iglu deluju sile manjeg intenziteta, udarni mehanizam je snabdeven osiguračem, u ovom slučaju oprugom. Opruga, međutim, ne može sprečiti udar igle u kapslu pri većim inercionim ili reakcionim opterećenjima (naprimer, u slučaju pada projektila sa veće visine na tvrdu prepreku), pa bi samo na ovaj način osiguran sistem bio opasan za rukovanje. Ustvari, treba onemogućiti da igla dodje u dodir sa kapslom u bilo kojim okolnostima, osim kada je projektil normalno lansiran.

Konstruktor treba da odabere stanja koja izazivaju određene kontrolisane sile samo prilikom lansiranja i ni u jednoj drugoj situaciji u kojoj se projektil može naći prilikom transporta i rukovanja, i da ih iskoristi za aktiviranje mehanizama ili uređaja koji će pripremiti podsistem nosilac funkcije za delovanje, nakon što je projektil normalno lansiran. Taj mehanizam ili uređaj u upaljaču naziva se podsystem za armiranje ("zapinjanje" upaljača).

Na slici 11.2 za armiranje je iskorišćena centrifugalna sila, koja se javlja pri rotaciji projektila. Osigurači mehanizma (opruge) su dimenzionisani tako da do oslobađanja udarne igle može doći samo pri brojevima obrtaja karakterističnim za normalno lansiranje projektila. Centrifugalni mehanizmi, da bi bili sigurni, uvek se izvode sa najmanje dve mase postavljene tako da se kreću u suprotnim smerovima, kako bi ih zajedno mogle pokrenuti samo centrifugalne sile a ne, naprimer, inerciona sila pri padu projektila na bok.

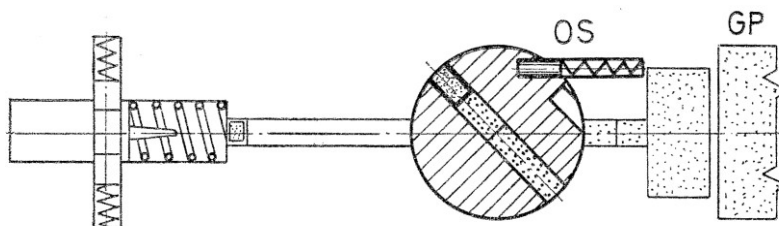


Slika 11.2. Podsistem za armiranje

Ugradnjom podsistema za armiranje potpuno je ostvareno osnovno osiguranje upaljača, tj. onemogućeno je da u normalnim (pa i mnogim nenormalnim) uslovima rukovanja igla aktivira inicijalnu kapslu. Inicijalna kapsla, međutim, kao najosetljiviji element u pirotehničkom lancu može biti aktivirana protiv volje korisnika i u nekim slučajevima, za koje osnovno osiguranje nije dovoljno, naprimer u slučaju pada projektila sa veće visine na tvrdu prepreku, kada može doći do razbijanja i gnječenja tela upaljača, u slučaju požara, pregrevanja municije usled

nepoštovanja režima vatre i slično. Ovakvi slučajevi postaju posebno opasni ako kapsla zbog starenja ili korozije izgubi prvobitne osobine i postane osjetljivija na udare i potrese, ili ako iz bilo kojih razloga dodje do ispadanja kapsle iz njenog ležišta.

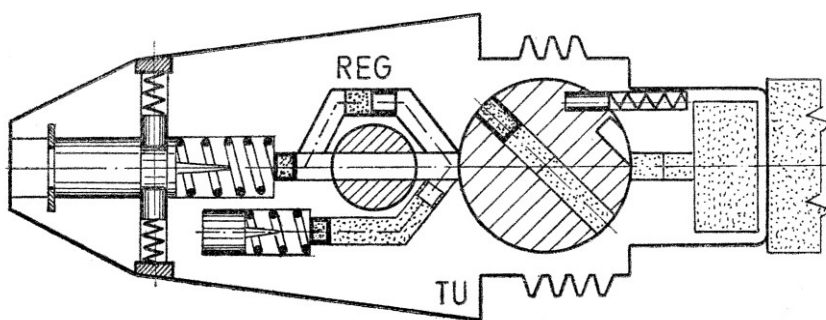
Osigurati osnovno punjenje u ovakvim slučajevima moguće je samo na taj način da se osjetljivi elementi (inicijalna i detonaciona kapsla) izoluju od detonatora i osnovnog punjenja u toku skladištenja, transporta i rukovanja, sve dok odgovarajući senzor ne signalizira da je projektil normalno lansiran. Prema tome, treba ugraditi uređaj (mehanizam), koji će uspostavljati pirotehnički lanac (vatrenu vezu između kapsle i detonatora) nakon lansiranja, dok će u svim ostalim situacijama u kojima se upaljač sam ili na projektilu može naći u toku svog životnog veka, pirotehnički lanac biti prekinut i onemogućeno prenošenje impulsa na detonator, ako dodje do slučajnog, neželjenog aktiviranja kapsle. Reč je, dakle, o dopunskom osiguranju upaljača i, kako za podsystem za osiguranje (uobičajeni naziv ovog podistema) u pogledu aktiviranja važe isti principi kao za podsystem za armiranje (aktiviranje se dopušta samo u slučaju normalnog lansiranja projektila), javljaju se tendencije da se oba podistema posmatraju kao jedinstveni podsystem za armiranje i osiguranje. Ipak, zbog više konstruktivnih osobenosti, zgodnije je te sisteme posmatrati odvojeno, naravno vodeći računa o tome da su prema nameni u mnogo čemu srodni i da zajednički određuju udaljenost ispred orudja na kojoj će upaljač biti spreman za delovanje. U primeru na slici 11.3 odabran je jednostavan mehanizam sa centrifugalnim rotorom i inercionim osiguračem, koji se dosta često sreće kod savremenih konstrukcija.



Slika 11.3. Ugradnja podistema za osiguranje

Upaljač sa svojim podsystemom nosiocem funkcije, pirotehničkim elementima, podsystemom za armiranje i podsystemom za osiguranje praktično je kompletan i velikoj većini upaljača za projekte ništa drugo i nije potrebno.

Ako je neophodno uništiti projektil ukoliko promaši cilj da prilikom pada ne bi nanio štetu vlastitim snagama (projektilski sistemi koji se koriste za protivvazдушnu odbranu sopstvene teritorije) u projektil se ugrađuje samolikvidator. Na slici 11.4 prikazan je pirotehnički samolikvidator, koji se aktivira prilikom ispaljivanja projektila pomoću inercionog podistema za početno aktiviranje.



Slika 11.4. Funkcionalno formiranje upaljača integracijom podistema

Uredjaj (podsistem) za izbor vremena reagovanja upaljača prikazan je u datom primeru u obliku čepa kojim se otvara ili zatvara kanal za direktno prenošenje plamena na kapslu, pa se , ukoliko se želi da upaljač reaguje sa usporenjem, plameni impuls inicijalne kapsle prenosi na pirotehnički usporač. Na taj način, upaljač može da funkcioniše sa dva konstantna vremena usporenja.

Iz eksploatacionih i sigurnosnih razloga najpovoljnije je da upaljač bude poseban sklop, koji se može jednostavno postaviti na projektil i prema potrebi brzo skinuti, i zato se postavlja obično u telo ili kućište. Pored toga što funkcionalno objedinjuje podsklopove i štiti ih od spoljnih mehaničkih i ambijentalnih uticaja, telo upaljača sadrži kanale za prenošenje plamenih impulsa, šupljine - vodjice za pojedine pokretne elemente i spoljne elemente (navoje i sl.) za montažu upaljača na projektil. Zbog toga, racionalnom oblikovanju tela upaljača treba posvetiti posebnu pažnju, naročito kada postoje ograničenja u pogledu spoljnog oblika i gabarita upaljača.