

3. OSETLJIVOST EKSPLOZIVNIH MATERIJA NA SPOLJNE UTICAJE

3.1 Početni impuls

Eksplozivni proces ne može otpočeti sam od sebe - neophodno je dejstvo neke spoljne sile pod čijim uticajem nastaje eksplozivni proces, koji se zatim nastavlja sam od sebe. Nije potrebno stalno dejstvo spoljne sile, već samo njeno trenutno dejstvo - **početni impuls**.

Osetljivost EM je njena sposobnost za eksplozivni preobražaj pod dejstvom spoljnih uticaja. Što je početni impuls neophodan za početak eksplozivnog preobražaja veći, EM je manje osetljiva. Osetljivost EM na razne početne impulse jedan je od najvažnijih kriterijuma za proizvodnju, čuvanje, transport, rukovanje i primenu sistema u kojima se nalaze EM.

Za početni impuls mogu se koristiti različiti oblici energije, a najvažniji su:

- 1) toplotna energija (zagrevanje, plamen, iskra, usijano telo, itd.),
- 2) mehanički rad (udar, trenje, ubod, prostrel zrna, udar fragmenta granate, potres pri opaljenju, itd.),
- 3) energija inicijalne EM,
- 4) udarni talas, itd.

U praksi su najvažnija prva tri vida početnog impulsa: toplotni (plamen, iskra), mehanički (ubod, trenje) i detonacioni talas inicijalne EM. Svaki od oblika energije početnih impulsa ima toplotnu prirodu, tj. konačni oblik energije koji izaziva hemijski proces razlaganja i eksplozivni preobražaj EM je toplotni. Drugim rečima, svi oblici energije početnih impulsa na različite načine se pretvaraju u toplotu, kao konačni oblik energije, koji stvara visoku temperaturu u određenom lokalitetu tzv. "vrućoj tački", gde započinju samoubrzavajuće hemijske reakcije koje prerastaju u eksploziju.

Treba imati u vidu činjenicu da se svaka EM različito ponaša i ima različitu osetljivost pod dejstvom po prirodi različitih početnih impulsa. Tako npr. olovoazid u poređenju sa stifnatom olova ima veću osetljivost na mehanički impuls, a manju na toplotni impuls; isto tako heksogen u poređenju sa tetrilom ima veću osetljivost na mehanički impuls, a manju na toplotni impuls.

Pored toga, veličina početnog impulsa potrebnog za pobudjivanje eksplozivnog preobražaja zavisi i od karaktera predaje impulsa EM. Tako npr. pri naglom zagrevanju EM može se izazvati eksplozivni proces uz znatno manji utrošak toplotne energije nego u slučaju postepenog zagrevanja.

Slično se dešava kod nekih eksploziva izloženih mehaničkom impulsu. Pri postepenom porastu pritiska kome je izložena EM, koja inače nema visoku osetljivost, do eksplozivnog procesa dolazi tek nakon značajnog utroška energije i kad pritisak

dostigne vrlo visoku vrednost. Eksplozivni proces kod ovih materija može se javiti u uslovima trenutnog snažnog udara, pri čemu je znatno manji utrošak energije za iniciranje eksplozivnog procesa. U uslovima statičkog naprezanja na pritisak trotil ne eksplodira čak ni na pritisku od 50000 bar, a pri impulsnom naprezanju može doći do eksplozije već na 1500 bar.

U praktičnoj primeni EM od prvorazrednog značaja za efekat koji se želi postići eksplozivnim procesom jeste pravilan izbor početnog impulsa, kako po vrsti tako i po intenzitetu. Praksa pokazuje da se, npr. u slučaju razornih projektila, a posebno kumulativnih, efekat na cilju može poboljšati i do 30% primenom najcelishodnijeg početnog impulsa za dati slučaj. Zbog toga je od posebnog interesa za praktičnu primenu EM proučavanje njihove osetljivosti na razne oblike početnih impulsa i njihovih fizičko-hemijskih karakteristika od kojih zavisi osetljivost.

3.2 Osetljivost eksplozivne materije na toplotni impuls

Delovanje početnog toplotnog impulsa na EM može da bude homogeno i lokalno.

a) Homogeno (lagano) zagrevanje EM izvorom toplote bez plamena do neke kritične temperature (temperature aktiviranja ili paljenja).

b) Lokalno zagrevanje EM izvorom toplote sa plamenom ili sl. uz značajan gradijent temperature. U ovom slučaju lokalizovani toplotni impuls (plamen, usijano telo, iskra...) se primenjuje za pripalu potisnih EM, kao i za pobudjivanje detonacije u detonatorima.

Kao mera osetljivosti EM na toplotni početni impuls obično nam služi temperatura paljenja, odnosno vreme zadržke toga paljenja. **Temperatura paljenja** je minimalna temperatura na kojoj, pri zagrevanju određene količine eksplozivne materije, dolazi do eksplozivnog preobražaja koji je praćen određenim zvučnim efektom. Jasno je da se, pri zagrevanju određene količine eksploziva, proces razlaganja u početku odvija malom brzinom koja se postepeno povećava tokom zagrevanja, sve do jedne kritične vrednosti koja odgovara uslovima eksplozije. **Temperatura paljenja** je temperatura zida suda, sa kojim se u dodiru nalazi EM, pri kojoj se pali EM posle određenog vremena od početka zagrevanja. Vreme koje protekne od početka zagrevanja do momenta aktiviranja eksplozivne materije naziva se **periodom indukcije**. Vezu između temperature paljenja i perioda indukcije daje formula Semjonova:

$$\tau = C \cdot \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (3.1)$$

Ovde je:

- | | |
|---------------|--|
| τ [s] | - period indukcije |
| C [s] | - konstanta koja zavisi od prirode EM i uslova opita (10^{-8} ÷ 10^{-13} s) |
| E [J/mol] | - energija aktivacije EM |
| R [J/mol K] | - univerzalna gasna konstanta (8314 J/mol K) |
| T [K] | - temperatura paljenja. |

Prema formuli Semjonova, koja je eksperimentalno proverena ispitivanjem velikog broja EM, očigledno je da se smanjenjem energije aktivacije E i povećanjem temperature paljenja T smanjuje period indukcije. Ova činjenica je od značaja za praktičnu primenu toplotnog impulsa kao početnog impulsa za izazivanje eksplozivne reakcije.

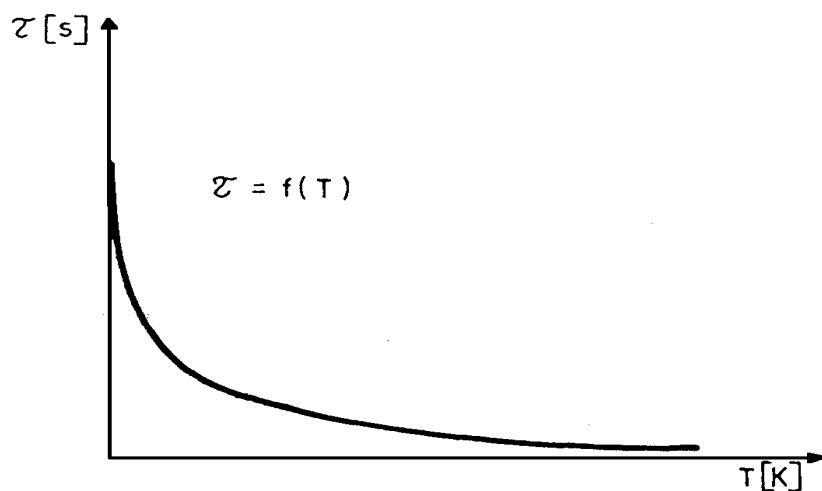
Temperatura paljenja nije konstantna veličina jer zavisi od uslova ispitivanja: količine EM, njene gustine, načina ispitivanja i drugih faktora. Zbog toga je neophodno da se eksperimentalno određivanje temperature paljenja vrši uporedo sa određivanjem temperature paljenja jedne poznate i potpuno ispitane EM, u potpuno istovetnim uslovima ispitivanja.

Za određivanje temperature paljenja čvrstih EM koriste se dve metode:

1. Određena količina EM zagreva se od neke temperature (obično $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) konstantnom brzinom i registruje se temperatura kod koje je došlo do paljenja. Temperatura paljenja umnogome zavisi od brzine zagrevanja uzorka (veća brzina zagrevanja daje veću temperaturu paljenja).

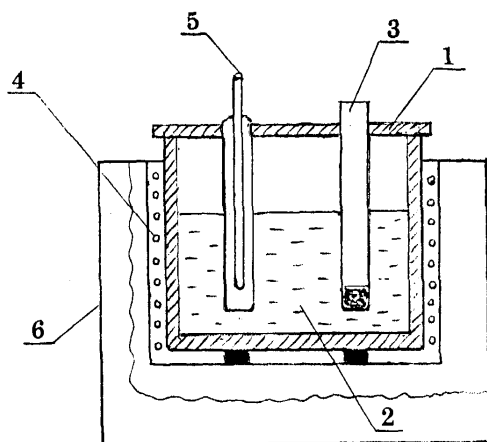
2. Određivanje zavisnosti perioda indukcije od temperature izvora zagrevanja. Tu se temperatura drži konstantnom, a meri se vreme dok ne dođe do pojave paljenja. Nakon više eksperimenata, dobija se zavisnost $\tau=f(T)$ iz koje se određuje i temperatura samopaljenja za određeno vreme (sl. 3.1).

Najrasprostranjeniji postupak eksperimentalnog određivanja temperature paljenja tečnih i čvrstih EM sastoji se u sledećem: određena količina EM (obično 0.05 g) zagreva se konstantnom brzinom i registruje se temperatura na kojoj dolazi do eksplozivnog preobražaja zagrevanog uzorka. Ovako određena temperatura paljenja zavisi od početne temperature uzorka i brzine zagrevanja (većoj brzini zagrevanja odgovara veća temperatura paljenja).



Slika 3.1. Zavisnost perioda indukcije od temperature paljenja

Na slici 3.2 dat je šematski prikaz uobičajenog uređaja za eksperimentalno određivanje temperature paljenja.



- 1 - čelična kada
- 2 - Vudova legura (15 Bi, 8 Pb, 4 Sn, 3 Cd)
temperatura paljenja legure 65 °C
- 3 - epruveta sa uzorkom EM
- 4 - električni grejač
- 5 - termometar
- 6 - mesingana obloga

Slika 3.2. Uređaj za određivanje temperature paljenja

U čeličnoj kadi (1) vrši se pomoću električnog grejača (4) zagrevanje Vudove legure u koju je potopljena epruveta (3) sa uzorkom EM koja se ispituje. Temperatura legure u kadi reguliše se električnim grejačima. Radi lakšeg rukovanja i manjeg gubitka toplote, kada sa Vudovom legurom je smeštena u mesinganu oblogu (6), pri čemu je između kade i obloge vazdušni izolacioni sloj.

U tabeli 3.1 date su minimalne temperature paljenja za neke EM (masa opitnog uzorka 0.05 g).

Tabela 3.1

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Temperatura paljenja [°C]	EKSPLOZIVNA MATERIJA	Temperatura paljenja [°C]
Crni barut	310 ÷ 315	Pentrit	205 ÷ 215
Nitroceluloza	195 ÷ 205	Heksogen	215 ÷ 230
Bezdimni barut	180 ÷ 200	Pikrinska kiselina	300 ÷ 310
Nitroglicerín	200 ÷ 205	Trotil	295 ÷ 300
Tetril	190 ÷ 194	Olovoazid	325 ÷ 340

Minimalna temperatura paljenja (ispod te temperature razlaganje se vrši bez paljenja) ima veliki praktičan značaj, jer određuje mere bezbednosti pri rukovanju odgovarajućim eksplozivom i služi za približno određivanje toplotnog impulsa u slučaju njegove praktične primene za iniciranje eksplozivnih procesa.

U praktičnoj primeni nekih EM iniciranje eksplozije se postiže veoma kratkotrajnim toplotnim impulsom (npr. u slučaju iniciranja detonatorske kapisle plamenom inicijalne kapisle), pri čemu period indukcije ima vrednost 10^{-3} , pa čak i 10^{-4} s. Isto tako, eksplozivni proces može biti izazvan i kratkotrajnim lokalnim zagrevanjem eksplozivne materije pomoću električnog pražnjenja preko tankih metalnih niti. Pri iniciranju eksplozije iskrom visokog napona trajanje toplotnog impulsa je reda 10^{-6} s.

Razume se da temperatura paljenja u ovakvim slučajevima iniciranja eksplozivnih procesa određuje granične uslove pojave eksplozije i ima znatno veću vrednost od

minimalne temperature paljenja. Za približno određivanje temperature paljenja u ovim uslovima kratkotrajnog perioda indukcije može da posluži formula Semjonova. Po ovoj formuli dobija se, npr. za tetril ($E=96700 \text{ J/mol}$, $C=2.785 \cdot 10^{-10} \text{ s}$) $t = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pri $\tau=10^{-4} \text{ s}$. Kod upotrebe formule Semjonova u ovakvim slučajevima treba imati u vidu sledeće činjenice:

- pri prelasku sa niskih na vrlo visoke temperature paljenja može se očekivati promena prirode hemijskog razlaganja EM,
- u standardnim uslovima ispitivanja osetljivosti EM na toplotni impuls, temperatura paljenja se identifikuje sa temperaturom izvora toplote, što nije slučaj pri kratkotrajnim periodima indukcije ($\tau=10^{-4} \text{ s}$), gde je stvarna temperatura EM znatno niža od temperature toplotnog izvora.

3.3 Osetljivost EM na mehanički toplotni impuls

Određivanje osetljivosti EM na mehanički početni impuls je vrlo važno zbog određivanja sigurnosti u radu za vreme proizvodnje ili primene EM. Osnovni zadaci pri tome su:

- određivanje uslova bezbedne proizvodnje EM,
- određivanje uslova bezbednog transporta i čuvanja EM,
- ocena ponašanja EM pri naprezanjima koja se javljaju pri opaljenju iz oruđa.

Međutim, u nekim slučajevima mehaničko dejstvo se koristi kao početni impuls za pobuđivanje eksplozivnog procesa (udar igle po kapisli za pripaljivanje itd.). U tom slučaju podaci o osetljivosti služe za ocenu bezotkaznog iniciranja.

Mehanički početni impuls može se pojaviti u više oblika, među kojima se najviše javljaju: udar, trenje, ubod udarne igle, prostrel zrna i udar parčeta granate. Mehanizam iniciranja je složen i kod svih oblika je sličan, a najprihvatljivija je tzv. toplotna teorija "vrućih tačaka". Kako su mehanički početni impulsi dinamičke prirode i kako kod čvrstih EM postoje razni defekti u strukturi kristala, u malim zapreminama EM pojavljuju se mali lokaliteti naprezanja koji stvaraju lokalna mesta pregrevanja tzv. vruće tačke koje su najverovatnije ognjišta pojave eksplozije.

Po toplotnoj teoriji "vrućih tačaka" postoji nekoliko faza koje sukcesivno slede jedna drugu: faza stvaranja vruće tačke, otpočinjanje samoubrzavajućih hemijskih reakcija u vrućoj tački, koje izazivaju paljenje nakon određenog vremena indukcije, usled čega se povećava pritisak i brzina sagorevanja u nastalom ognjištu, što dovodi do probijanja plamena iz ognjišta u okolnu masu EM i konačno, progresivno povećanje brzine sagorevanja, što znači praktično prelaz sagorevanja u detonaciju.

Mehanizmi nastajanja vrućih tačaka mogu biti različiti. Osnovni su:

1. trenjem između čestica ili slojeva EM po dodirnim površinama (naročito kod inicijacije trenjem),
2. adijabatskim sabijanjem malih gasovitih uključaka (naročito kod inicijacije udarom),

3. viskoznim zagrevanjem pri brzom tečenju (mikrokumulativni i mikrokavitacioni tokovi).

Eksperimentalno i teorijski je dokazano da su prva dva načina nastajanja vrućih tačaka najverovatniji, dok se treći može pojaviti u ekstremnim slučajevima.

Da bi došlo do probijanja plamena iz vruće tačke u okolinu, eksperimentalno je utvrđeno da moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi:

- temperatura vruće tačke mora biti 700÷900 K,
- vreme trajanja te temperature oko 10^{-5} s,
- prečnik vruće tačke ne može biti manji od 10^{-5} m.

3.3.1 Osetljivost na udar

Iniciranje eksplozije adijabatskim sabijanjem gasovitih uključaka EM započinje stvaranjem vruće tačke, koju predstavlja sam mehurić. Mehanizam transformacije energije udara sastoji se u zagrevanju mehurića adijabatskom kompresijom. Ako pretpostavimo da je u mehuriću idealan gas, vrednost postignute temperature unutar mehurića biće funkcija stepena kompresije:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (3.2)$$

gde je :

- T_1 - početna temperatura u mehuriću
- T_2 - konačna temperatura u mehuriću
- p_1 - početni pritisak u mehuriću
- p_2 - konačni pritisak u mehuriću
- κ - adijabatska konstanta gasa.

Obično je: $p_1=10^5$ Pa, $\kappa=1.4$ (za vazduh), $T_1=300$ K, pa je približna temperatura u vrućim tačkama:

$$T_2 = 5.77 \cdot p_2^{0.286} \quad (3.3)$$

Iz ove jednačine mogu se izračunati vrednosti temperature u vrućim tačkama u zavisnosti od pritiska (tabela 3.2)

Tabela 3.2

Temperatura [K]	580	700	790	860	920	1120	1360
Pritisak [10^5 Pa]	10	20	30	40	50	100	200

Da bi se na osnovu zavisnosti 3.3 mogla proceniti konačna temperatura u gasnom mehuriću potrebno je znati vrednost pritiska u njemu (p_2), koji se za vreme udara može pojaviti.

Osetljivost nekog eksploziva zavisi od prisutnosti gasnih mehurića, što je Bowden pokazao za nitroglicerina (tabela 3.3).

Tabela 3.3

Visina pada tega [m]	Masa tega [kg]	Učestalost eksplozije [%]	
		bez gasnih mehurića	sa gasnim mehurićima
0.58	1.03	65.	100.
0.48	0.29	57.	100.
0.21	0.85	26.	100.
0.20	0.38	10.	100.
0.20	0.18	0.	100.
0.15	0.04	0.	94.
0.10	0.18	0.	62.

Na osetljivost EM utiče i okolni pritisak (p_1) i to tako da je osetljivost manja što je p_1 veći (tabela 3.4) (EM je nitroglicerina, a masa tega je 0.112 kg).

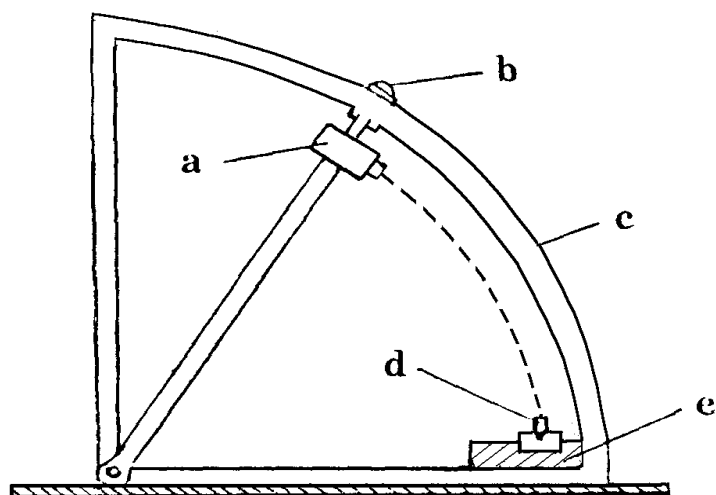
Tabela 3.4

Početni pritisak p_1 [bar]	Učestalost eksplozije [%]	
	visina tega ≈ 0.36 [m]	visina tega ≈ 0.98 [m]
1.	90.	100.
25.	25.	—
30.	0.	36.
33.	0.	0.

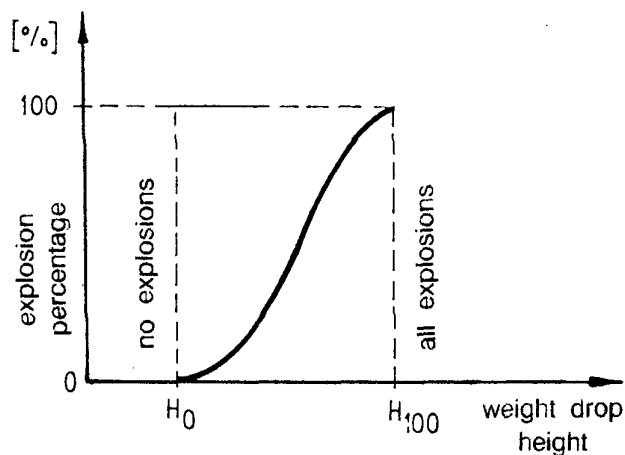
Osetljivost na udar eksplozivnih materija karakteriše minimalna energija udara (E_{100}) pri kojoj dolazi do sigurnog aktiviranja, odnosno maksimalna energija udara (E_0) pri kojoj sigurno ne dolazi do aktiviranja EM.

Za ispitivanje inicijalnih EM koje imaju visoku osetljivost na udar služi uređaj predstavljen na slici 3.3. Princip rada uređaja je sledeći:

Teg (a) koji se može postaviti na proizvoljnu visinu preko klizača i zavrtnja (b) na luku (c), pada na udarnu iglu (d), postavljenu iznad uzorka ispitivane EM, smeštene u odgovarajuće ležište (e). Određena količina EM (obično 0.02 g) koja se ispituje upresuje se pod pritiskom 500 ili 1000 bar u mesingano čanče i prekrije folijom. Ovako pripremljen uzorak EM postavlja se u ležište (e). Masa tega (a) za ispitivanje osetljivosti na udar inicijalnih EM može se menjati u granicama 0.5 do 1.8 kg. Ispitivanjem se dobija kriva osetljivosti data na slici 3.4.



Slika 3.3. Uređaj za ispitivanje osetljivosti na udar inicijalnih eksploziva



Slika 3.4. Kriva osetljivosti na udar

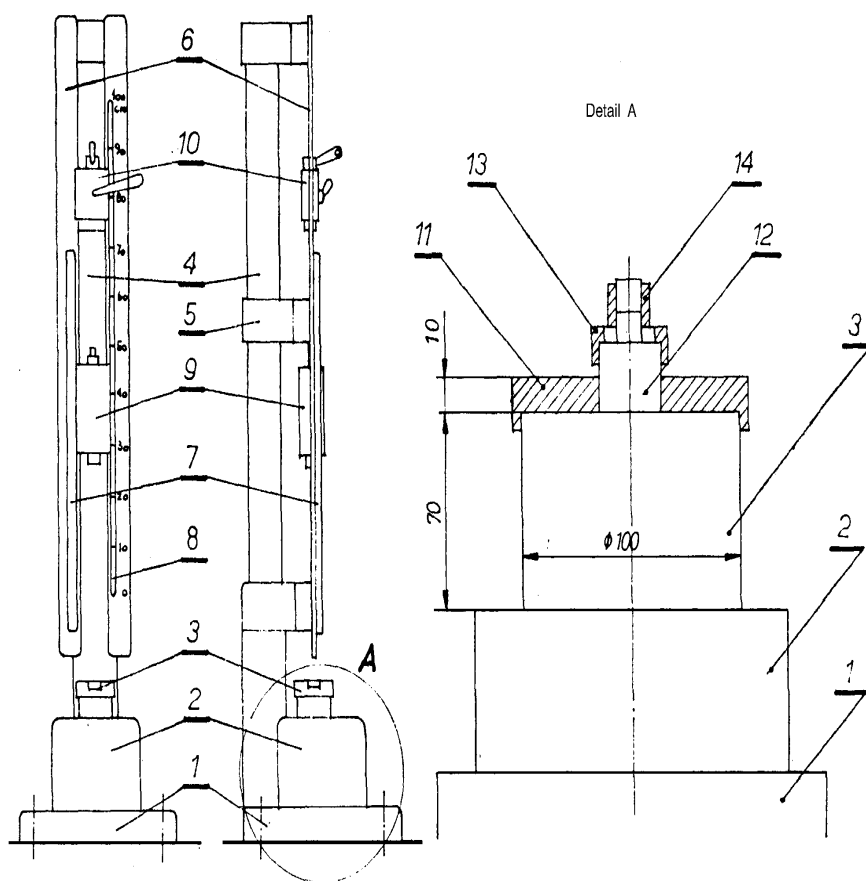
Eksperimentalno ispitivanje osetljivosti na udar inicijalnih EM obuhvata određivanje gornje i donje granice osetljivosti, odnosno minimalne visine pada tega H_{100} pri kojoj se dobija 100% eksplozija i maksimalne visine H_0 pada tega pri kojoj se ni u jednom slučaju ne dobija eksplozija.

Gornja granica osetljivosti H_{100} određuje uslove sigurnog dejstva inicijalnih sredstava (npr. inicijalnih kapsli), a donja granica H_0 određuje uslove bezbednog rada sa tim sredstvima. U tabeli 3.5 date su gornje i donje granice osetljivosti za neke inicijalne eksplozive.

Za ispitivanje osetljivosti na udar brizantnih eksploziva najčešće se koristi uređaj predstavljen na slici 3.5 (kod nas je ovaj uređaj poznat pod imenom fol-aparat).

Tabela 3.5

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Masa tega [kg]	Granica osetljivosti [cm]	
		H ₁₀₀	H ₀
Živin fulminat	0.60	8.5	6.5
Azid olova	0.98	23.0	7.0
Trinitrorezorcinat olova	1.43	25.0	14.0

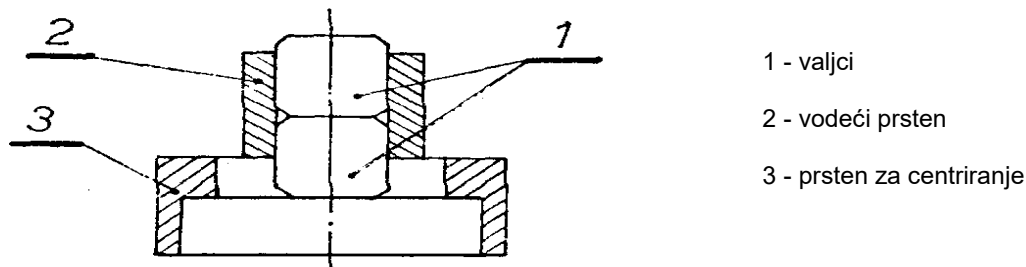


- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 - osnovna ploča (450 x 450 x 60 mm) | 8 - merni lenjir |
| 2 - čelični blok | 9 - teg |
| 3 - nakovanj (φ100 x 70 mm) | 10 - držač tega |
| 4 - stub | 11 - centrirajuća ploča |
| 5 - središnji nosač | 12 - promenljivi nakovanj (φ26 x 26 mm) |
| 6 - klizne šine | 13 - centrirajući prsten |
| 7 - zupčasta letva | 14 - udarni alat |

Slika 3.5. Uređaj za ispitivanje osetljivosti brizantnih EM na udar

Teg (a) pada na neku vrstu nakovnja (b), krećući se izmedju vertikalno postavljenih klizača (c). Masa i visina tega mogu se regulisati. Na nakovanj se postavlja jednostavan alat u koji je smešten uzorak EM koja se ispituje. Na slici 3.6 prikazana je najuobičajenija varijanta alata: u nepokretnoj matrici nalaze se dva klipe, jedan

nepokretan na koji se postavlja uzorak i jedan pokretan na koji pada teg. Masa tega koji se koristi pri ovom ispitivanju brizantnih eksploziva iznosi 2 do 30 kg, a masa uzorka je 0.05 g.



Slika 3.6. Alat za ispitivanje osetljivosti na udar

Pouzdanost rezultata pri ispitivanju osetljivosti EM na udar obezbeđuje se pre svega identičnim uslovima ispitivanja. Pri tome je od posebnog značaja stanje u kome se nalazi uređaj u kome se vrši ispitivanje; naročitu pažnju treba obratiti na zazor između klipova i matrice. Visinu pada i masu tega treba tako birati da ne dolazi do trajnih deformacija pojedinih delova uređaja usled opterećenja. U slučaju bilo kakvih trajnih deformacija uslovi ispitivanja postaju neodređeni.

Postoje dva kriterijuma za ocenu osetljivosti na udar brizantnih EM:

1. Procenat eksplozija dobijenih pri padu tega određene mase sa određene visine (obično masa tega $m=10$ kg i visina pada tega $H=25$ cm ili $m=2$ kg i $H=50$ cm); eksperimentalni rezultati za neke brizantne eksplozive dati su u tabeli 3.6.

Tabela 3.6

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Broj eksplozija na 100 ispitivanja	Primedba
Trotil (TNT)	4 ÷ 8	Masa tega $M = 10$ kg Visina pada $H = 25$ cm
Pikrinska kiselina	24 ÷ 32	
Tetril	44 ÷ 52	
Heksogen	72 ÷ 80	
Oktogen	72 ÷ 80	
Pentrit	100	
Nitroglicerina	100	
Dvobazni barut	40 ÷ 80	
* Amatol 80/20	16 ÷ 18	

* Amatol: 80% amonijumnitrata, 20% trotila

2. Kritična energija udara pri kojoj se dobija 50% eksplozija ($E_{50} = q \cdot H$)

Pri detaljnim razmatranjima problema lako se konstatuje da kritična energija udara ima karakter relativnog kriterijuma osetljivosti na udar brizantnih eksploziva, jer je sasvim razumljivo da kritična energija određena proizvodom $q \cdot H$ ili nekim drugim sličnim proizvodom, npr. $q \cdot (H - H_0)$, gde je H_0 visina odskoka tega, ne predstavlja stvarnu

količinu udarne energije potrebne da se u 50% slučajeva izazove eksplozija u određenoj količini EM. Stvarna udarna energija potrebna da se u 50% slučajeva proizvede eksplozija je manja i od proizvoda $q \cdot H$, jer se jedan deo energije troši na plastične deformacije uređaja za ispitivanje osetljivosti na udar. Pri promeni konstrukcije i karakteristika uređaja za ispitivanje osetljivosti na udar doći će i do promene vrednosti kritične energije udara za jednu istu eksplozivnu materiju.

3.3.2 Osetljivost na trenje i ubod

Prilikom trenja takođe se stvaraju vruće tačke koje su žarišta eksplozije. Stvarna dodirna površina između dva tvrda tela je vrlo mala tj. dodir se javlja samo na vrhovima neravnina. Ako pretpostavimo da jedna površina klizi po drugoj, do disipacije energije trenja će uglavnom dolaziti u obliku toplote oko vrhova neravnina. Temperature tako stvorenih vrućih tačaka zavise pre svega od:

- brzine klizanja,
- pritiska (sile stezanja kontaktnih površina),
- koeficijenta toplotne provodljivosti kontaktnih površina i
- koeficijenta trenja.

Skok temperature vruće tačke, u zavisnosti od navedenih faktora, može se proračunati i iz sledeće jednačine:

$$T - T_0 = \frac{\mu F V_k}{4r} \frac{1}{k_1 + k_2} \quad (3.4)$$

pri čemu je:

- μ - koeficijent trenja
- F - ukupno opterećenje između dodirnih površina
- V_k - brzina klizanja
- r - radijus zone kontakta
- k_1, k_2 - koeficijenti toplotne provodljivosti dodirnih površina

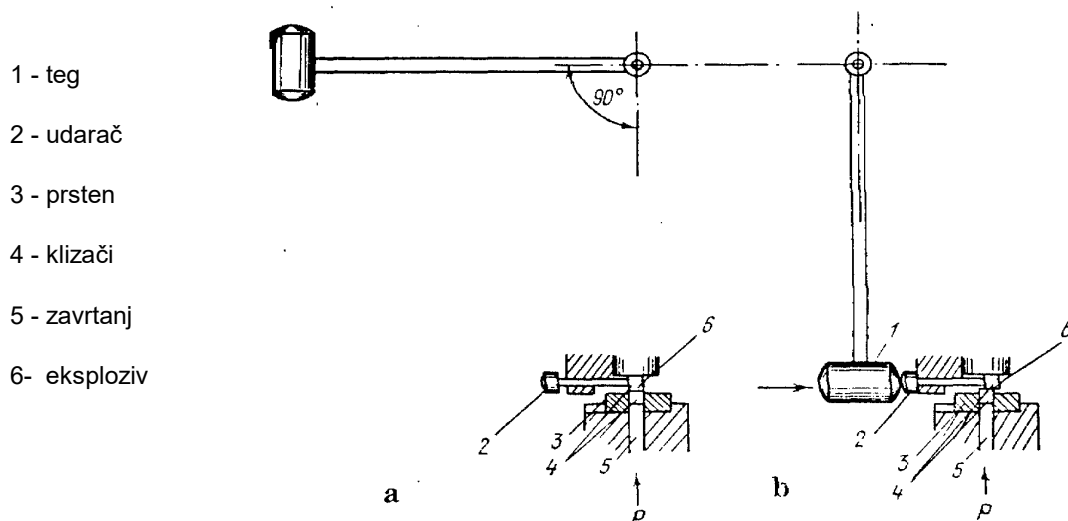
Maksimalna temperatura koja se može postići u vrućoj tački određena je veličinom temperature topljenja površine čestica u dodiru. Tako, upotrebom materijala poznatih temperatura topljenja, određujemo i vrednost maksimalne temperature u vrućoj tački koja se može pojaviti prilikom trenja. Ova činjenica ukazuje na mogućnost regulisanja stepena osetljivosti pojedinih EM.

Neke čestice, kao što su pesak i staklo, zbog svoje visoke temperature topljenja (a i tvrdoće) utiču na povećanje osetljivosti EM, dok druge čestice zbog svoje niske temperature topljenja (i manje tvrdoće) utiču flegmatizujuće tako da EM čine manje osetljivom (vosak, ulje).

Trenje se kao inicijalni impuls u tehnici praktično ne koristi, ali je osetljivost EM na trenje interesantna sa gledišta bezbednosti pri proizvodnji i primeni eksplozivnih

materija. Postoji nekoliko uređaja koji omogućuju određivanje osjetljivosti na trenje: frikciono klatno, frikcionni tanjiri i uređaj Boudena i Gertona.

Za slučaj frikcionog klatna, osjetljivost na trenje EM određuje se minimalnom visinom pada i brojem oscilacija klatna do aktiviranja EM. U slučaju ispitivanja pomoću frikcionih točkova, osjetljivost na trenje karakteriše sila pritiska između pokretnog i nepokretnog tanjira (na nepokretni tanjir nanet je sloj EM koja se ispituje) pri jednoj određenoj i konstantnoj brzini obrtanja pokretnog tanjira, kod koje dolazi do aktiviranja ispitivane EM. Regstruje se i vreme od početka opita do aktiviranja EM. Uređaj Boudena i Gertona prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7. Uređaj za ispitivanje osjetljivosti na trenje: a) pre testa, b) za vreme testa

Tanak sloj EM (mase oko 0.02 g) priteže se određenom silom P pomoću zavrtnja (5) između klizača (4). Teg (1) pri padu udara u udarač (2) i pokreće gornji klizač, pri čemu dolazi do naglog smicanja u sloju EM između gornjeg i donjeg klizača. Osjetljivost na trenje u ovom slučaju karakteriše se visinom pada tega i njegovom masom.

Osjetljivost na ubod je karakteristika EM od interesa sa stanovišta upotrebe. Ova karakteristika se određuje samo kod inicijalnih EM i inicijalnih smeša, jer se ubod koristi kao inicijalni impuls za izazivanje eksplozije inicirajućeg sredstva (raznih vrsta kapisli: za pripaljivanje pogonskog barutnog punjenja u oruđima i oružjima, za izazivanje detonacije razornih projektila, itd.).

Za ispitivanje osjetljivosti na ubod koristi se uređaj sličan uređaju za ispitivanje osjetljivosti na udar, s tom razlikom što je mehanički držač tega kod ovog uređaja zamenjen elektromagnetnim držačem. Teg mase 0.2 do 0.5 kg pada sa određene visine, koja se može regulisati pomeranjem elektromagnetnog držača po vertikalnoj osovini uređaja, na udarnu iglu postavljenu iznad ispitivanog uzorka. Udar na iglu je od čelika i ima standardan oblik. Uzorak EM koja se ispituje upresuje se pod određenim pritiskom u čanče i prekriva olovnom folijom. Ovako pripremljen uzorak postavlja se u odgovarajuće ležište uređaja za ispitivanje osjetljivosti na ubod.

Osjetljivost na ubod karakteriše se gornjom i donjim granicom: gornja granica određuje 100% dejstva, a donja granica 100% nedejstvovanja ispitivanog uzorka.

3.3.3 Osetljivost pri naprezanju na pritisak

Sa stanovišta primene EM osetljivost pri naprezanju na pritisak je od velikog praktičnog značaja kada se radi o eksplozivima koji se upotrebljavaju kao eksplozivno punjenje artiljerijskih i drugih vrsta projektila. U cevi artiljerijskih oruđa pod dejstvom barutnih gasova ili na aktivnom delu putanje pod dejstvom reaktivne sile raketnog motora (ako je u pitanju raketni projektil) projektil se kreće promenljivo ubrzanim kretanjem. Usled ovog kretanja eksplozivno punjenje je izloženo dejstvu inercijalne sile kao i svaki drugi element projektila. Inercijalna sila u eksplozivnom punjenju izaziva naprezanje na pritisak koje u određenom momentu, kada pređe jednu vrednost, može postati inicijalni impuls. Rezultat ovakvog događaja jeste tzv. prevremena eksplozija - dejstvo projektila u cevi oruđa ili na aktivnom delu putanje (raketni projektil).

Naprezanje koje se pojavljuje u eksplozivnom punjenju može se definisati uz sledeće pretpostavke:

- da se isključi mogućnost linearnog pomeranja eksplozivnog punjenja pri opaljenju za vreme ubrzanja, tj. da punjenje čvrsto naleže na dno projektila,
- da gustina i struktura EM bude ista u celoj masi punjenja, pa je i naprezanje u bilo kojoj tački određenog preseka isto.

Prema slici 3.8 naprezanje na pritisak u eksplozivu u preseku i-i dato je sledećom jednačinom:

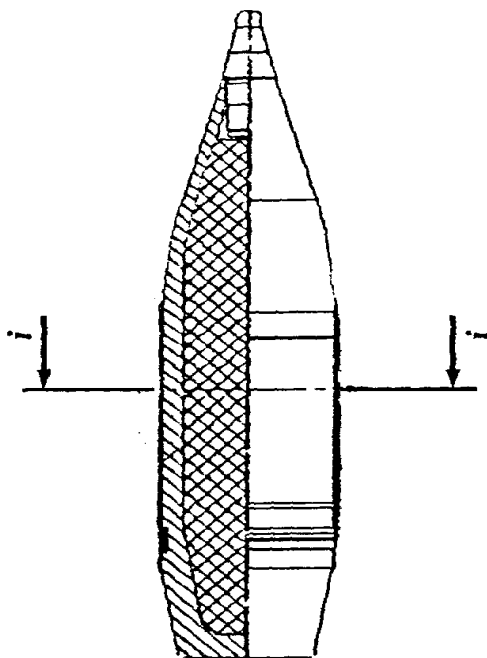
$$\sigma_p = \frac{m_i \frac{d^2x}{dt^2}}{A_{i-i}} \quad (3.5)$$

Ovde je:

- m_i - masa eksploziva iznad preseka i-i
- d^2x/dt^2 - ubrzanje projektila u posmatranom trenutku
- A_{i-i} - površina eksploziva u preseku i-i

Razume se da naprezanje dato prethodnom jednačinom dostiže maksimalnu vrednost pri najvećoj vrednosti ubrzanja i u najnižem preseku u eksplozivu projektila. Ovo maksimalno naprezanje mora biti manje od dozvoljenog naprezanja na pritisak za odgovarajući eksploziv, da bi se izbegla mogućnost prevremene eksplozije. Mora dakle biti ispunjen sledeći uslov:

$$\sigma_{p,max} = \frac{m \ddot{x}_{max}}{A_{donje}} < \sigma_{p,dovz} \quad (3.6)$$



Slika 3.8. Eksplozivno punjenje artiljerijskog projektila

U tabeli 3.7 date su vrednosti za $\sigma_{p,dozv}$ za neke eksplozive koji se najčešće primenjuju kao eksplozivno punjenje projektila.

Tabela 3.7

EKSPLOZIVNA MATERIJJA	$\sigma_{p,dozv}$
Trotil	1800
Mešavina trotil-heksogen (50:50)	1400
Tetril	850
Pentrit sa 5 % flegmatizatora	750
Amatol (80:20)	1400

Treba naglasiti da vrednosti date u tabeli 3.7 određuju mehaničku izdržljivost pojedinih eksploziva pri određenim fizičkim karakteristikama eksplozivnog punjenja koje i uslovljavaju primenu eksploziva u jednom konkretnom projektilu (određena gustina, kristalna struktura eksplozivnog punjenja, oblik eksplozivnog punjenja). Ukoliko se u masi eksplozivnog punjenja konstatuje pojava nedozvoljenih šupljina (tzv. lunke kod livenih eksplozivnih punjenja), neujednačena kristalizacija sa centrima nedozvoljeno krupnih kristala, date vrednosti $\sigma_{p,dozv}$ ne mogu biti kriterijum mehaničke izdržljivosti eksploziva.

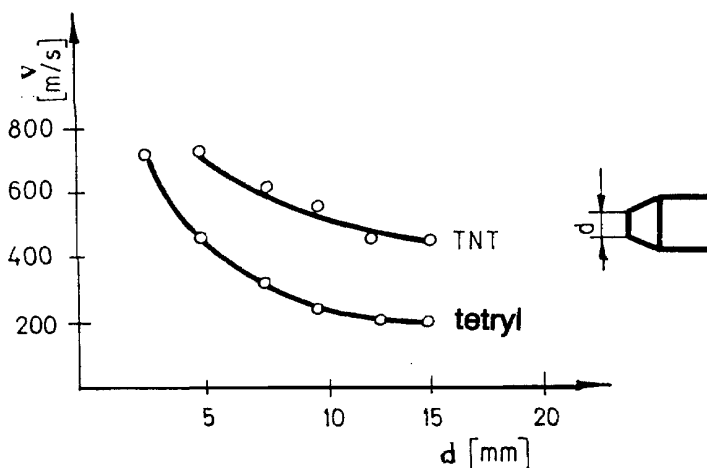
Kada je reč o praškastim ili tzv. plastičnim eksplozivima (praškasti eksplozivi želirani nekim od želatinizatora) koji se laborišu presovanjem, onda pritisak presovanja mora biti jednak ili veći od naprezanja na pritisak kome je eksploziv izložen u toku kretanja projektila. Ukoliko ovaj uslov nije ispunjen dolazi do pomeranja u eksplozivnom punjenju pri maksimalnom naprezanju na pritisak, što može da prouzrokuje prevremenu eksploziju ili nedejstvovanje na cilju.

3.3.4 Osetljivost EM na prostrel zrna i udar fragmenta

Pri sudaru nekog komadića metala sa EM, bez obzira na to da li je pušćano zrno ili krhotina granate, da bi došlo do njene inicijacije, taj komadić mora imati određenu brzinu, odnosno kinetičku energiju koja će se transformisati u toplotnu. Osim brzine komadića, na uspešnost inicijacije utiče materijal i dimenzije komadića, vrsta i dimenzije EM, ugao njihovog sudara.

Ispitivanja sudara čeličnih i aluminijumskih komadića cilindričnog oblika (prečnik 15 mm, dužina 15 mm) s flegmatizovanim heksogenom (5% voska) takodje cilindričnog oblika (prečnik 25 mm, dužina 25 mm) pokazala su da je kod čeličnih komadića potrebna manja brzina nego kod aluminijumskih. Što je manja sudarna površina, potrebna je veća brzina komadića (slika 3.9).

Povećanjem ugla sudara od ose direktnog sudara mora se povećavati i brzina sudara, kako bi došlo do uspešne inicijacije. Dimenzije EM takodje utiču na verovatnoću uspešne inicijacije. Verovatnoća inicijacije kod većih dimenzija EM je veća, jer je tada i vreme prostrela zrna ili komadića granate veće. Ako se drži ista brzina zrna ili krhotine, a menja se debljina EM, može se ustanoviti minimalna debljina EM kod koje je došlo do detonacije. To je tzv. dužina prostrela i često je označavamo kao meru osetljivosti na prostrel (tabela 3.8).



Slika 3.9. Zavisnost kritične brzine komadića granate od površine sudara (TNT i tetril; $\rho=1.54 \text{ g/cm}^3$, prečnik i dužina 22 mm)

Tabela 3.8

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Dužina prostrela [mm]	Rezultat
Heksogen	3	eksplozija
Tetril	5	nema eksplozije
Tetril	7	eksplozija
TNT	104	nema eksplozije

Rezultati u tabeli dobijeni su prostrelom pušćanim zrnom kalibra 7.9 mm na udaljenosti od 50 m.

Eksperimentalno nađeni podaci kritičnih brzina krhotina, potrebnih za iniciranje nekih EM, navedeni su u tabeli 3.9. Pri tome su korišćene krhotine od čelika, aluminijuma i bakra cilindričnog oblika, prečnika i dužine 15 mm. Dimenzije čvrstih EM bile su prečnika i dužine 20 mm, a dimenzije presovanih EM bile su prečnika i dužine od 25 do 30 mm.

Tabela 3.9

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Fizičko stanje	Gustina [g/cm ³]	Gornja i donja granica kritične brzine [m/s]		
			čelična parčad	Cu - parčad	Al - parčad
Heksogen, 5% parafina	presovan	1.59	410/430	430/470	520/560
TNT	presovan	1.54	490/510	530/545	640/650
TNT	liven	1.61	900/1150	900/1145	1500/1720

U tabeli 3.10 dati su podaci o kritičnim brzinama pušanih zrna potrebnih za iniciranje EM. Veliki uticaj na uspešnu inicijaciju EM prostrelom zrna ima sastav EM, a posebno prisutnost primesa.

Tabela 3.10

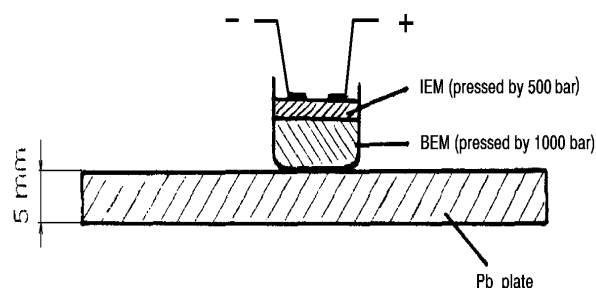
EKSPLOZIVNA MATERIJA	Gustina [g/cm ³]	Maksimalna brzina zrna bez detonacije, [m/s]	Minimalna brzina zrna za potpunu detonaciju, [m/s]
TNT	0.85	675	714
TNT, presovan	1.15	704	740
Tetrit	1.0	280	330
Heksogen	1.0	274	327
Heksogen (10% voska)	0.95	1063	1110
Pentrit	0.7	257	290
Pentrit (10% voska)	0.65	657	666

3.3.5 Osetljivost na dejstvo inicijalnih eksploziva

Minimalna količina jednog od inicijalnih eksploziva koja je u stanju da izazove potpunu detonaciju u tačno određenoj količini brizantnog eksploziva određuje osetljivost ovog eksploziva na inicirajuće dejstvo. Ova osobina brizantnih eksploziva je od velikog praktičnog značaja, jer se za pobudjivanje eksplozivnih procesa u brizantnim eksplozivima koristi skoro isključivo detonacija inicijalnog eksploziva. Osetljivost na dejstvo inicijalnih eksploziva određuje se na sledeći način (slika 3.10).

U jedno standardno mesingano čanče upresuje se određena količina brizantnog eksploziva koji se ispituje (0.5 do 1.0 g). Iznad sloja brizantnog eksploziva presuje se izvesna količina inicijalnog eksploziva i to pritiskom manjim od pritiska presovanja brizantnog eksploziva. Ovako pripremljeno čanče postavlja se iznad olovne ploče određenih dimenzija (debljina 5 mm), a zatim se električnim putem pobudjuje detonacija u sloju inicijalnog eksploziva, koja se zatim prenosi i na sloj brizantnog eksploziva. Prema tragovima razaranja na olovnoj ploči ocenjuje se karakter eksplozivnog procesa u celini. Smatra se da je detonacija bila potpuna ako je prečnik otvora u olovnoj ploči

jednak ili veći od prečnika mesinganog čančeta sa ispitivanim eksplozivom. Količina inicijalnog eksploziva se povećava sve dok se po tragovima razaranja na ploči ne konstatuje potpuna detonacija brizantnog eksploziva.



Slika 3.10. Ispitivanje brizantnih EM na dejstvo inicirajućih EM

Tabela 3.11 daje minimalne količine inicijalnih eksploziva neophodne za pobuđivanje detonacije 0.5 g brizantnih eksploziva: tetrila, pikrinske kiseline i trotila.

Tabela 3.11

Inicijalni eksploziv	Brizantni eksploziv		
	Tetril	Pikrinska kiselina	Trotil
Živin fulminat	0.29	0.30	0.36
Azid olova	0.025	0.025	0.09

* Mase izražene u gramima

Treba naglasiti da osetljivost na dejstvo inicijalnih eksploziva ne zavisi isključivo od količine inicijalnog eksploziva, već i od tzv. površine iniciranja - dodirne površine inicijalnog i brizantnog eksploziva. Smatra se da su optimalni uslovi iniciranja postignuti kada je prečnik inicijalnog punjenja jednak prečniku punjenja iniciranog eksploziva.

3.3.6 Osetljivost na udarne talase

Detonacija eksploziva najčešće se izaziva upravo delovanjem udarnog talasa koji je na neki način stvoren u punjenju. Najčešće je udarni talas stvoren ili detonacijom inicijalnog eksploziva ili nekog drugog brizantnog eksploziva. Eksplozivno punjenje koje svojim eksplozivnim pretvaranjem stvara udarni talas koji se širi i koji može da posluži kao početni impuls za inicijaciju nekog drugog eksplozivnog punjenja, najčešće se naziva aktivno punjenje, dok se ovo drugo koje prima impuls udarnog talasa naziva pasivno punjenje. Ima više faktora koji utiču na to da li će doći do iniciranja pasivnog punjenja ili neće.

1. Uticaj amplitude inicirajućeg udarnog talasa na prenos detonacije. Pritisak u inicirajućem udarnom talasu mora biti iznad nekog kritičnog pritiska. Kolika će biti amplituda inicirajućeg udarnog talasa u trenutku sudara sa pasivnim punjenjem EM zavisi od:

- količine, vrste i oblika aktivnog punjenja,
- disipacije energije udarnog talasa u toku širenja, sve do nailaska na pasivno punjenje, što pak posebno zavisi od sredine kroz koju se udarni talas širi, pa i od geometrije prostora.

Količina aktivnog punjenja. Utiče neposredno na veličinu amplitude: što je veća količina aktivnog punjenja, to je veća amplituda udarnog talasa. Za različite sredine ova zavisnost se određuje eksperimentalno. Tako npr. za širenje udarnog talasa kroz vazduh postoji sledeće zavisnost:

$$\Delta p = k_1 \frac{M^{1/3}}{R} + k_2 \frac{M^{2/3}}{R^2} + k_3 \frac{M}{R^3} \quad [\text{MPa}] \quad (3.7)$$

pri čemu je:

- M - masa eksplozivnog punjenja [kg]
 R - udaljenost od centra eksplozije [m]
 k_1, k_2, k_3 - eksperimentalni koeficijenti koji zavise od karakteristika aktivnog i pasivnog punjenja, kao i od uslova u kojima se odvija prenos.

Na osnovu ovih istraživanja često se izvode i relacije za tzv. "sigurnosne udaljenosti", što se generalno može izraziti u obliku:

$$R = \frac{k}{\Delta p} \cdot M^n \quad (3.8)$$

Ako u izraz 3.8 unesemo veličinu kritičnog pritiska (Δp_{kr}) za konkretne uslove (k i n) možemo naći na kojim se udaljenostima može preneti detonacija za različite količine eksploziva:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^n \quad (3.9)$$

Pri tome se n kreće od 1/3 do 1/2.

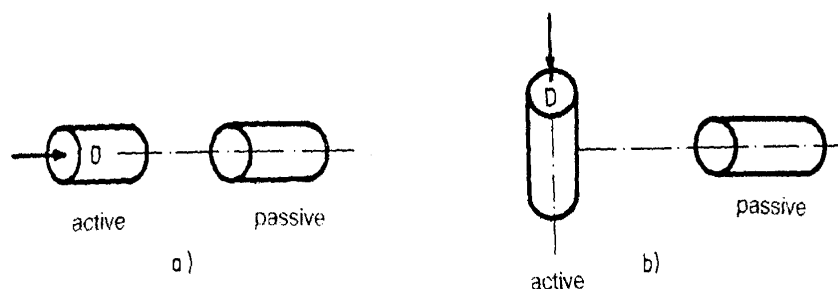
Po istoj logici izvode se i relacije za tzv. sigurnosne udaljenosti u zavisnosti od željenog (proračunskog) stepena oštećenja za objekte. Taj aspekt posebno se izučava u problematici održavanja i skladištenja EM i municije.

Vrsta aktivnog punjenja. Veća brizantnost pojedinih EM uslovljava i veću početnu amplitudu udarnog talasa. Maksimalni pritisak koji nastane u trenutku eksplozije eksplozivnog punjenja može se izraziti relacijom:

$$p_{\max} = \frac{1}{4} \rho_0 D^2 \quad (3.10)$$

pri čemu je ρ_0 početna gustina eksplozivnog punjenja, a D brzina detonacije za taj eksploziv, koja takodje zavisi od ρ_0 .

Oblik aktivnog punjenja. Početni geometrijski oblik eksplozivnog punjenja utiče na širinu i pravac zone potiskivanja udarnog talasa. Taj uticaj posebno se uočava pri manjim punjenjima i na manjim udaljenostima. Da je prenos detonacije veći ako se pasivno punjenje nalazi na pravcu prostiranja detonacije aktivnog punjenja pokazuje i sledeći eksperiment (slika 3.11; tabela 3.12).

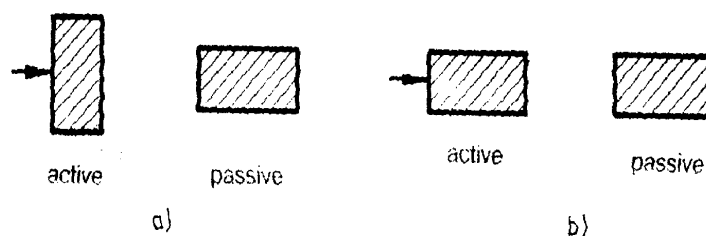


Slika 3.11. Uticaj položaja aktivnog punjenja na pravac detonacije

Tabela 3.12

Uzajamni položaj	R [cm]			Gustina punjenja	
	100 %	50 %	0 %	aktivno	pasivno
Prema 3.11-a	75	85	95	1.35	1.60
Prema 3.11-b	15	20	25	1.36	1.60

Isto tako, i samo povećanje površine aktivnog punjenja uslovljava rast brzine isticanja produkata detonacije, pa se prenos detonacije izaziva na većim udaljenostima (slika 3.12).



Slika 3.12. Uticaj površine aktivnog punjenja na prenos detonacije

Disipacija energije udarnog talasa. Veličina ukupne disipativne energije različitih sredina zavisi od gustine sredine. Ako je iznad aktivnog i pasivnog punjenja metalna prepreka može doći do razaranja pregrade i aktiviranja pasivnog punjenja krhotinama.

Uticaj pasivnog punjenja na prenos detonacije. Da li će doći do detonacije zavisi i od vrste, količine, gustine, geometrije, čvrstoće, položaja i stanja izložene površine pasivnog punjenja. Veća gustina pasivnog punjenja izaziva pad daljine prenosa detonacije.

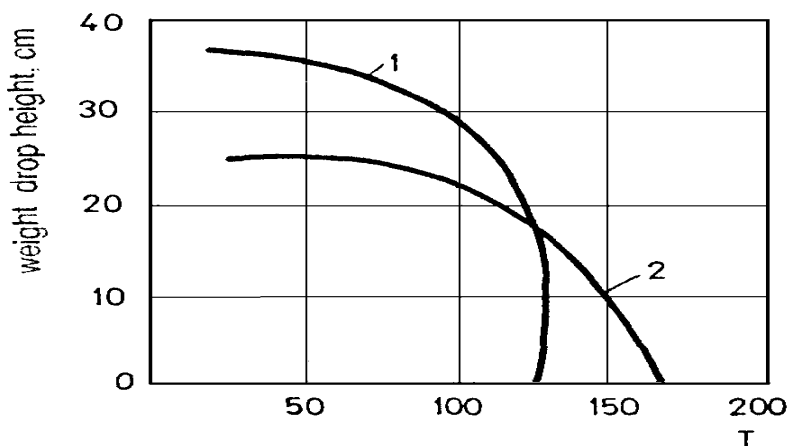
Uticaj uslova u kojima se odvija prenos detonacije. Misli se uglavnom na spoljni pritisak i temperaturu. Načelno njihovo povećanje uslovljava povećanje daljine prenosa detonacije.

3.4 Faktori koji utiču na osetljivost EM na spoljne uticaje

Predmet razmatranja biće samo osnovni fizički faktori koji imaju značaja sa stanovišta praktične primene EM. To su sledeći faktori:

- temperatura,
- toplotni kapacitet i toplotna provodljivost,
- isparljivost,
- agregatno stanje,
- struktura,
- gustina,
- veličina kristala.

Temperatura. Povećanjem temperature eksplozivne materije naglo se povećava njena osetljivost na većinu spoljnih uticaja. Pri temperaturi bliskoj temperaturi samopaljenja, dovoljan je i neznatni toplotni impuls za razvijanje eksplozivnog procesa u EM. Pri povećanju temperature osetljivost na udar živinog fulminata i tetrazena se povećava približno po zakonu datom na slici 3.13.



Slika 3.13. Zavisnost osetljivosti na udar tetrazena (1) i živinog fulminata (2) od temperature

Pod određenim uslovima nitroglicerina eksplodira pri temperaturi 16 °C pod dejstvom udara energije 2 J/cm², pri temperaturi 94 °C pod dejstvom udara energije 1 J/cm², a pri temperaturi od 182 °C dovoljan je neznatan udar pa da dođe do eksplozije nitroglicerina. Pri transportu poželjno je smanjiti temperaturu nitroglicerina. Sa sniženjem temperature smanjuje se i osetljivost EM na dejstvo inicijalnih eksploziva. Određenu predstavu o ovoj pojavi daju podaci iz tabele 3.13.

Tabela 3.13

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Najmanja količina živinog fulminata koja izaziva eksplozivni proces [g]	
	t = 20 °C	t = -110 °C
Nitroceluloza	0.25	2.0
Pikrinska kiselina	0.25	2.0

Toplotni kapacitet i toplotna provodljivost. Od praktičnog je značaja i uticaj ovih faktora na osetljivost EM na toplotni impuls. Sa povećanjem toplotnog kapaciteta smanjuje se osetljivost EM na toplotni impuls: sa povećanjem toplotnog kapaciteta povećava se količina toplote neophodna za pobuđivanje eksplozivnog procesa. Potpuno isti je uticaj toplotne provodljivosti.

Isparljivost. Konstatovano je da isparljivost ima značajan uticaj na uslove toplotnog iniciranja i to samo ako je temperatura paljenja EM viša od temperature isparavanja (vrenja). Utvrđeno je da je osetljivost na toplotni impuls kod isparljivih materija određena odnosom izmedju brzine hemijske reakcije i brzine isparavanja.

Međutim, i pored toga što isparljivost ima značaja za procese toplotnog iniciranja eksplozije, praktično nema uticaja na osetljivost EM na udar, i još manje na njihovu osetljivost na dejstvo inicijalnih eksploziva, jer se u ovim slučajevima pobuđivanje eksplozivnog procesa odvija u uslovima veoma visokih pritisaka pri kojima je isparavanje potpuno ili skoro potpuno sprečeno.

Agregatno stanje. Zavisnost osetljivosti EM od agregatnog stanja je u vezi sa uticajem temperature na osetljivost. Pri prelasku EM iz čvrstog u tečno stanje povećava se njena osetljivost, jer se povećava temperatura i sadržaj unutrašnje energije EM u tečnom stanju. Međutim, pored ove konstatacije koja ima opšti karakter, treba spomenuti i slučajeve obrnutih pojava. Ima EM čija se osetljivost povećava prelaskom iz tečnog u čvrsto agregatno stanje. To je u slučajevima kada čvrsto stanje obrazuje kristalne modifikacije male izdržljivosti. Labilna forma čvrstog nitroglicerina upravo je primer za ovakvo ponašanje EM.

Struktura, gustina i veličina kristala. Sva tri ova faktora imaju pre svega veoma veliki uticaj na detonacione osobine EM, a u nešto manjoj meri na njihovu osetljivost na udar.

Pri razmatranju osetljivosti na dejstvo inicijalnih eksploziva rečeno je da ovu karakteristiku EM određuje minimalna količina inicijalnog eksploziva koja je u stanju da u određenoj količini ispitivanog uzorka pobudi eksplozivni proces. Međutim, kada se radi o jednom eksplozivnom punjenju, onda se pod detonacionim osobinama ovog punjenja, odnosno EM koja predstavlja ovo punjenje, podrazumevaju karakteristike eksplozivnog procesa za punjenje u celini. Jer, eksplozivni proces koji u jednom kraju eksplozivnog punjenja počinje kao detonacija može da se završi kao sagorevanje ili da potpuno prestane da zahvata celokupnu masu eksplozivnog punjenja (gašenje eksplozivnog procesa). Drugi slučaj je kada eksplozivni proces koji zahvata jedno eksplozivno punjenje u celini ima karakter potpune detonacije. Kao što lakoća pobuđivanja eksplozivne reakcije uglavnom zavisi od sastava EM, tako i uslovi prelaska pobuđenog procesa u normalnu detonaciju i njeno stabilno širenje po eksplozivnom punjenju zavisi u najvećoj meri od fizičkih svojstava EM u kojoj se proces odvija. Eksperimentalna ispitivanja pokazuju koja fizička svojstva i u kom smislu utiču na detonacione osobine pojedinih EM.

- Jedna ista EM ima znatno lošije detonacione osobine u želatiniziranom stanju nego u neželatiniziranom (želatinizacija se vrši zbog potreba transporta). Naprimera, nitrocelulozni barut znatno teže detonira od čiste nitroceluloze. Ovde treba reći da je u pogledu osetljivosti na udar upravo obrnut odnos: nitrocelulozni barut je znatno osetljiviji na udar od čiste nitroceluloze.

- Jedna ista EM ima znatno bolje detonacione osobine u presovanom nego u livenom stanju, čak i pri istoj gustini (npr. trotil, pikrinska kiselina, itd.).

- Smeše nekih nitro jedinjenja, npr. smeša 95% trotila i 5% ksilila, mnogo lakše detoniraju od pojedinačnih sastavnih komponenata (po svojoj osetljivosti na udar ova smeša se ne razlikuje od trotila). Pomenuta smeša trotila i ksilila odlikuje se znatno finijom kristalnom strukturom u poređenju sa livenim trotilom. Ovo omogućuje formiranje velikog broja aktivnih centara u zoni iniciranja, porast brzine reakcije i izdvajanja energije u procesu formiranja normalnog detonacionog režima.

Isto tako, eksperimentalno je utvrđeno da mnoge EM (trotil, ksilil, heksogen i dr.) ukoliko su dobijene taloženjem iz rastvora imaju mnogo bolja detonaciona svojstva nego u normalnom stanju, pri normalnoj veličini kristala. Uticaj veličine kristala očigledan je iz podataka datih u tabeli 3.14.

Tabela 3.14

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Minimalno punjenje olovnog azida [g]	
	čestice koje prolaze kroz sito sa 2500 otvora na m ²	čestice dobijene taloženjem
Trinitroksilol	0.34	0.08
Trinitrobenzol	0.19	0.06
Trinitrotoluol	0.10	0.04

- Sa povećanjem gustine jedne EM smanjuje se njena osetljivost na inicijalne impulse, a u vezi sa tim se pogoršavaju i detonacione osobine. Pri ovome treba reći da se, npr. osetljivost na udar znatno manje smanjuje nego što se pogoršavaju detonacione osobine.

Neke inicijalne EM (praskava živa, trinitrotriazidobenzol i dr.) potpuno gube sposobnost detonacije pod dejstvom toplotnog inicijalnog impulsa pri povećanju gustine iznad određene vrednosti (tzv. "mrtvo presovanje"). Ova pojava se objašnjava na taj način što do ubrzavanja procesa gorenja dolazi sa zakašnjenjem, pri čemu nije moguće da se prelaz gorenja u detonaciju odigra u malom punjenju, kakav je slučaj kada se radi o punjenjima inicijalnih eksploziva.

Zakašnjenje procesa ubrzavanja gorenja uslovljeno je smanjenjem poroznosti punjenja pri velikim gustinama. Prema zaključcima nekih autora, moguće je ostvariti prelaz gorenja u detonaciju u svakom "prepresovanom" eksplozivnom punjenju, ako se u odgovarajućoj meri poveća izdržljivost omotača i stepen hermetizacije eksplozivnog punjenja. Sliku o uticaju gustine na detonacione osobine EM daju podaci iz tabele 3.15.

- Osetljivost EM može se značajno promeniti dodavanjem tzv. inertnih primesa. Uticaj ovih inertnih dodataka ispoljava se u najvećoj meri na osetljivost EM na mehaničko dejstvo: u nekim slučajevima osetljivost se povećava, a u nekim smanjuje. Materije koje imaju sposobnost da povećavaju osetljivost EM nazivaju se senzibilizatorima, a one koje smanjuju osetljivost - flegmatizatorima.

Tabela 3.15

Trotil			Pikrinska kiselina		
Pritisak presovanja [bar]	Gustina [g/cm ³]	Minimalna količina praskave žive [g]	Pritisak presovanja [bar]	Gustina [g/cm ³]	Minimalna količina praskave žive [g]
1500	1.52÷0.54	2	1500	1.58	0.40
3000	1.58÷0.60	3	2900	1.68	0.68
liven	1.50÷0.54	nepotpuna eksplozija sa 3 g	livena	1.58÷0.60	3.0

Dobri senzibilizatori su po pravilu materije koje imaju veliku tvrdoću i visoku tačku topljenja, kao što su naprimer stakleni prah, pesak, čestice nekih metala i sl. Zahvaljujući oštrim ivicama čestica ovih materija, energija udara koncentriše se na ove ivice i one postaju mesta intenzivnog trenja, što dovodi do obrazovanja mnogobrojnih vrućih tačaka koje su sposobne da izazovu eksploziju u eksplozivnom punjenju. Opitima je utvrđeno da se uz pomoć flegmatizatora može višestruko smanjiti vreme koje protekne od momenta udara do pojave eksplozije.

U tabeli 3.16 dat je uticaj procentualnog sastava peska u trotilu na njegovu osetljivost na udar.

Tabela 3.16

Sadržaj peska u trotilu [%]	Procenat eksplozija pri padu tega mase 10 kg sa visine 25 cm
0.01 ÷ 0.05	6
0.10 ÷ 0.15	20
0.20 ÷ 0.25	29

Dobra flegmatizatorska svojstva pokazuju materije kao što su: parafin, vosak, vazelin, kamfor i dr. Flegmatizatori imaju tu osobinu da obavijaju kristale EM mekom i elastičnom prevlakom koja doprinosi ravnomernijem rasporedu naprezanja i smanjuje trenje medju česticama EM.

Karakter uticaja inertnih primesa na osetljivost u velikoj meri zavisi od odnosa izmedju fizičko-hemijskih svojstava same EM i inertne primese. Tako je, primera radi, eksperimentalno pokazano da se talk u heksogenu ponaša kao flegmatizator, a u trotilu kao aktivni senzibilizator (eksperimentalni rezultati su dati u tabeli 3.17).

Tabela 3.17

Sadržaj talka [%]	Procenat eksplozije	
	Trotil	Heksogen
1.0	4	84
2.5	8	80
5.0	8	36
10.0	24	12
20.0	52	8
40.0	68	8
50.0	74	4