

Rade Bločanin,
potpukovnik
ŠC ABHO, Kruševac
Mr Janko Bojanić,
dipl. inž.
Industrija Miloje Zakić,
Kruševac

PROIZVODNJA I PRIMENA EMULZIVNIH EKSPLOZIVA U VOJNE SVRHE

UDC: 662.2-3.002/.004:623

Rezime:

Najnovija generacija privrednih eksploziva odnosi se na emulzivne eksplozive SLURRY i ANFO po sistemu NALIM, što je od izuzetnog značaja za industriju i vojne potrebe. Proizvodnja emulzivnih eksploziva tipa »voda u ulju« moguća je uz primenu domaćeg vozila sa nadgradnjom tipa »SLURRY VOZILO« u svim vremenskim i zemljišnim uslovima i za kratko vreme. Osloncem na domaće sirovine i opremu moguća je selektivna i brza upotreba emulzivnih eksploziva u oblasti rušenja, zaprečavanja, utvrđivanja i kretanja, na težištu izvođenja borbenih dejstava, uz angažovanje inženjerskih jedinica Vojske Jugoslavije. Upumpavanje u duboke minske bušotine i vlažna udubljenja izvodi se uz visoku bezbednost.

Ključne reči: konzistencija, ekspanđovani perliti, hemijska gasifikacija, vodeni gelovi, krtični prečnik, senzibilator, eksploziv SLURRY, emulgator.

MANUFACTURE AND APPLICATION OF SLURRIES FOR MILITARY PURPOSES

Summary:

The most up-to-date generation of commercial explosives includes slurries and ANFO explosives according to the NALIM system, which is of an extreme importance for industry and military purposes. The manufacture of 'water in oil' slurry explosives is possible with a domestic vehicle with a SLURRY mounted superstructure in all weather and ground conditions and for a short period of time. Raw materials and equipment of domestic origin enable selective and fast application of slurry explosives in the field of destruction, making obstacles, fortifications and movement, as well as in the zone of combat actions by engineer troops of Yugoslav Army. Pumping into deep bore holes and damp holes is conducted with a high safety level.

Key words: consistency, expanded perlite, chemical gasification, water gels, critical diameter, sensitizer, slurry explosive, emulgator.

Uvod

Razvoj savremenih eksploziva datira od polovine 20. veka, kada eksploziv ANFO počinje da zamenjuje dinamit i druge klasične eksplozive na bazi brizantne komponente kao senzibili-

zatora. Nešto kasnije dodavala se voda kao sastavna komponenta eksploziva, koja je predstavljala branu za prodor atmosfere vode u eksploziv SLURRY. Time je obezbeđena dobra vodootpornost i nadoknađena osnovana slabost tada dominantnog eksploziva

ANFO, a njegova kašasta struktura omogućavala je upumpavanje u minske bušotine.

Sve podvarijante eksploziva SLURRY koje su se javljale (sa ili bez senzibilizatora) doprinele su povećanju bezbednosti proizvodnje i primene, ekonomičnosti i odgovarajućim minsko-tehničkim karakteristikama.

Povećano interesovanje u oblasti emulzivnih eksploziva SLURRY započeto je 1960. godine, sa težnjom da se dođe do optimalne kombinacije oksidansa i goriva.

S obzirom na to da su oksidansi nitratne soli, a goriva ugljenična jedinjenja mineralnog ili organskog porekla, dolazi do drastičnih promena u pogledu fizičkog oblika ovih hemijskih sastojaka i do progresivnog smanjenja veličine njihovih čestica, da bi se krajnjim ispitivanjima dobile mikrokapljiце emulzivnih eksploziva, zbog čega se povećava brzina i efikasnost detonacione reakcije.

Emulzivni eksplozivi su nova vrsta eksploziva koji se u svetu masovno primenjuju, a zbog svoje fleksibilnosti u pogledu sastava, konzistencije, bezbedne proizvodnje i primene kritičnog prečnika i načina iniciranja, adekvatno zamenjuju klasične eksplozive.

Struktura i karakteristike emulzivnih eksploziva

U tehničkom smislu, emulzije predstavljaju disperzni dvofazni sistem u kome je jedna faza dispergovana u drugoj. Suštinski, emulzije predstavljaju smešu dve tečnosti koje se ne mešaju. Pošto su u većini slučajeva pomenute tečnosti vodeni rastvori neorganskih soli i različiti tipovi ulja, dizel goriva i rastopljenih voskova, emulzije se mogu podeliti u dve grupe:

— emulzije »voda u ulju«, gde je dispergovana ili diskontinualna faza —

vodeni rastvor neorganskih soli distribuirana u okviru kontinualne uljne faze;

— emulzije »ulje u vodi«, gde se radi o potpuno obrnutom slučaju.

Eksplozivi SLURRY (vodeni gelovi), koji su sada u proizvodnji, pripadaju drugom tipu emulzije. Emulzivni eksplozivi koje razmatra ovaj rad predstavljaju emulzione sisteme tipa »voda u ulju« u kojima kontinualnu fazu čine različiti tipovi ulja (dizel gorivo, mineralno ulje), parafini i voskovi.

Tipične emulzivne formulacije sadrže približno oko 70—80% izmešanih nitratnih soli, 10—15% vode, 5—10% uljne faze, 1—3% emulgatora i 3—5% sredstava za smanjenje gustine (povećanje osetljivosti). Masa dodatnog metalnog goriva (atomiziranog aluminijumskog praha), odnosno sredstvo za povećanje razorne moći eksploziva ne sme preći 10%.

Za razliku od dinamita i vodenih gelova SLURRY, ova vrsta eksploziva ne sadrži organske nitrate.

Može se zaključiti da približno deset zapreminskih jedinica rastvora mora biti dispergovano u jednu zapreminsku jedinicu uljne faze. Pri ovako zgusnutoj zapremini dispergovane faze, maksimalnoj površini »pakovanja« odgovara poliedarska struktura emulzije koja je slična pčelinjem saću.

U toj strukturi vodeni rastvor oksidacionih soli odgovarao bi medu, a zidovi saća kontinualnoj uljnoj fazi emulzije. Stabilizovanje emulzije u pogledu separacije vodene od uljne faze ostvaruje se dodavanjem emulgatora, površinski aktivne materije, kod koje je odnos liofolnog i liofobnog dela definisan HLB vrednošću koja, u krajnjoj konsekvenci, određuje tip emulzije. Pored HLB vrednosti, i struktura emulgatora bitno utiče na sprečavanje kontakta između jedinica dispergovane

faze i stvaranja većih kapljica koje bi dovele do raslojavanja pomenutih faza.

Za dobijanje emulzija tipa »voda u ulju« koriste se pogodni emulgatori sa većim afinitetom prema nepolarnoj uljnoj fazi. Nepolarni deo molekula ovih emulgatora grade ugljovodonični lanci sa 16 do 22 ugljenikova atoma, a poželjno je da hidrofilne glave ovih emulgatora budu što manje.

Da bi jedna ovako dobijena emulzija posedovala eksplozivna svojstva određenih detonacionih karakteristika dodaju se aditivi različitih osobina (za smanjenje gustine metalna goriva).

Sredstva za smanjenje gustine

U sredstva za smanjenje gustine spadaju gasirajući agensi (hemijski regulatori gustine) i fizički regulatori gustine (stakleni ili plastični mikrobalo- ni, ekspanđovani obesprašeni perlit, filiti, granulirani porozni amonijum-nitrat, ANFO eksplozivi, i dr.).

Osnovna emulzija (matrica) koja u svom sastavu ima najfiniji aluminijumski prah predstavlja sastav neosetljiv na najrazličitije impulse. Osetljivost se obezbeđuje dodavanjem praznih sferičnih šupljina, bilo hemijskim (gasifikacija), bilo mehaničkim putem (stakleni ili plastični mikrobalo- ni). Ova vrsta eksploziva poseduje vrlo veliku fleksibilnost u pogledu osetljivosti i može se napraviti tako da bude osetljiva na kapislu br. 8 ili da zahteva u potrebu pojačivača.

Usled pritiska detonacionog talasa, koji je dobijen kapislom br. 8. ili pojačivačem, dolazi do adijabatske promene zapremine vazdušnih mehurica koji se zagrevaju na vrlo visokoj temperaturi (»vruće tačke«), a oslobođena toplota predstavlja početnu energiju aktivacije za otpočinjanje hemij-

ske reakcije razlaganja u susednom sloju eksplozivnog materijala.

Osetljivost emulzija se zanemarljivo menja, čak i u uslovima visokih vodenih pritisaka koji se susreću u ekstremno vlažnim bušotinama.

Metalna goriva

Metalna goriva koja povećavaju »strength« emulzivnih eksploziva (atomizirani aluminijum, ferosilicijum) predstavljaju najnoviju generaciju N-C-N eksploziva kod kojih su oksidansi i gorivo tako povezani da se kapljice oksidansa, koje se približavaju molekularnim veličinama (10^{-3} mm), nalaze u mrežastoj strukturi goriva (uljne faze), koje oko ovih kapljica obrazuju vrlo tanak film, debljine 10^{-7} mm.

Zbog ovako ostvarenog kontakta faza, emulzivni eksplozivi pokazuju idealne detonacione karakteristike, čak i pri vrlo malim prečnicima upotrebe.

Zahvaljujući konstantnom sagorevanju, emulzivni eksplozivi poseduju vrlo visoku detonacionu brzinu, koja se smanjuje smanjenjem prečnika punjenja i dodatkom metalnih goriva.

Konzistencija emulzivnih eksploziva primarno zavisi od svojstva upotrebljenog goriva i može se proizvoditi u različitim oblicima. Čvršća konzistencija se preporučuje za patronirane, a fluidnija za pumpane i repumpane emulzivne eksplozive. Ova vrsta eksploziva zadržava postignutu konzistenciju u širokom temperaturnom intervalu.

Ako odnos stvarno oslobođene i proračunate energije označimo kao meru efikasnosti eksploziva, onda za emulzivne eksplozive možemo tvrditi da su vrlo efikasni, zahvaljujući mikroskopskoj veličini njihovih čestica, koja omogućava uniformnu i konstantnu brzinu sagorevanja. Mnoge studije, koje su razmatrale ovu problematiku, po-

kazale su da emulzivi oslobađaju preko 90% proračunate termohemijske energije.

Vodootpornost eksploziva podrazumeva sposobnost da pod vodom ili u vodi zadržava eksplozivna svojstva i stabilnu detonaciju.

Emulzivni eksplozivi su vrlo stabilni, ako se u procesu proizvodnje upotrebe čiste sirovine, ako se izabere pravi emulgator ili smeša više emulgatora, optimalna brzina i vreme mešanja.

Osnovna — stabilna struktura emulzionih eksploziva, naročito eksploziva malog prečnika, može biti narušena: suviše niskom temperaturom, dugim transportovanjem i skladištenjem dužim od predviđenog roka.

Da bi emulzija zadržala svoju stabilnu strukturu, rastvor oksidacionih soli mora ostati u obliku kapi propisane veličine. Međutim, ukoliko kapljice postanu kristali emulzivna struktura se narušava, pa dolazi do njene dekompozicije i progresivnog smanjenja eksplozivnih performansi.

Fenomen kristalizacije se u konačnoj instanci ne može izbeći, ali se može odložiti na duži period ako rastvor sadrži najmanje dve od navedenih oksidacionih soli, ako je opna stabilna i čvrsta i ako su eksplozivi proizvedeni od vrlo čistih i kvalitetnih sirovina.

Tipovi emulzivnih eksploziva

Emulzivni eksplozivi se, po kriterijumu osetljivosti, mogu podeliti na dva tipa: eksplozive osetljive na kapislu br. 8 i eksplozive koji za svoje iniciranje zahtevaju znatno jači impuls (detonatorski pojačivač BOOSTER).

Gustina prvog tipa eksploziva reguliše se staklenim mikrobalonima. Ovaj eksploziv upotrebljava se isklju-

čivo u malim prečnicima, pri čemu pokazuje idealne detonacione karakteristike. Kritična gustina ispitivanog eksploziva iznosi 1,25 g/cm³.

Regulacija gustine drugog tipa eksploziva obavlja se pomoću ekspandovanog perlita ili hemijske gasifikacije koji smanjuju osetljivost eksplozivne smeše. Upotrebljavaju se u srednjim (50—100 mm) i velikim prečnicima (iznad 100 mm), s tim što je u prvom slučaju, kao regulator gustine, upotrebljen ekspandovani perlit, a u drugom hemijska gasifikacija. Karakteristike pojačivača u praktičnim uslovima primene određene su vrstom i fizičko-hemijskim karakteristikama, a kao vrlo pouzdan može se koristiti pojačivač od pentolita.

Što se konzistencije, tj. fluidnosti eksplozivne smeše tiče, emulzivni eksplozivi mogu se pojaviti kao:

— *pumpani emulzivni eksplozivi*, kod kojih se gustina osnovne emulzivne matrice reguliše hemijskom gasifikacijom, granuliranim poroznim amonijumnitratom ili već formiranim ANFO-om. Ovi eksplozivi su neosetljivi na kapislu br. 8, iniciraju se pojačnicima i upotrebljavaju u velikim prečnicima iznad 100 mm;

— *repumpani emulzivni eksplozivi*, koji poseduju veliku fluidnost, ali se od pumpanih razlikuju po tome što im se gustina ne može regulisati hemijskom gasifikacijom. Nalaze primenu u podzemnoj eksploataciji, u uslovima vlažnih bušotina sa vodom gde se ne može primeniti ANFO eksploziv.

Patronirani emulzivni eksplozivi predstavljaju visoko konzistentne eksplozive.

Upotrebljavaju se u malim i srednjim prečnicima kao eksplozivi osetljivi na kapislu br. 8 (regulacija gustine izvršena je staklenim mikrobalonima) i kao eksplozivi koji za inicijaciju zahtevaju pojačivač (regulacija gustine izvršena je ekspandovanim perlitom).

Tehnologija proizvodnje emulzivnih eksploziva

Danas se emulzivni eksplozivi dobijaju na dva načina:

— postupkom »ON SITU«, pri čemu se koristi prethodno sintetizovan emulgator sa određenom HLB vrednošću. Ovaj postupak omogućava:

— rad na različitim temperaturama, pa čak i vrlo visokim (oko 90°C);

— vodeni rastvor oksidacionih soli, pored amonijumnitrata i natrijumnitrata, može da sadrži i kalcijumnitrat;

— emulgovanje se može vršiti pri vrlo različitim PH vrednostima vodenog rastvora (PH=2—10);

— po NALIM sistemu (pumpanih emulzija) na mobilnom postrojenju (SLURRY vozilu), kao i patroniranih na stacionarnom postrojenju.

Postupak dobijanja emulzivnih matrica zahteva da rastvor oksidacionih soli bude bazan, pa se mora vršiti neutralizacija kiselog rastvora amonijumnitrata:



Uljna faza kod ovih tipova emulzivnih sastava u principu sadrži mineralno ulje, parafin, neku od viših masnih kiselina (najčešće oleinsku), a može i smešu viših masnih kiselina gde je procenat oleinske kiseline maksimalno 76%.

Neutralizacijom amonijaka oleinskom kiselinom dobija se amonijumoleat koji ima svoj liofilni i hidrofилni deo, pa ima emulgujuća svojstva.

Pošto na povišenim temperaturama dolazi do isparavanja amonijaka, kao i do dekompozicije amonijumoleata, ovaj se postupak ne može odvijati na povišenim temperaturama, pa rastvori koji se emulguju moraju imati nižu tačku kristalizacije. Emulgovanje

se mora vršiti sa manjom količinom uljne — gorive faze da bi bilans kiseonika bio uravnotežen. Ovi emulzivni eksplozivi imaju znatno slabije energetske karakteristike.

Tvrđnja da se emulgator ovim postupkom dobija u procesu samog emulgovanja samo je delimično tačna, jer je praksa pokazala da se mora dodavati gotov emulgator, kako bi se postigla zadovoljavajuća konzistencija i stabilnost.

Za razliku od proizvodnje po »ON SITU« postupku, gde se koriste »brzi mikseri« sa brojem obrtaja od 3000 do 5000 min⁻¹, za ovaj postupak zadovoljavajuća brzina mešanja je 200—500 min⁻¹, što pogoduje boljoj stabilnosti emulzije.

Može se reći da je »ON SITU« postupak fleksibilniji i da se njime dobijaju emulzivni eksplozivi boljih minersko-tehničkih karakteristika, što je naročito izraženo kod vrednosti oslobođene energije.

Asortiman emulzivnih eksploziva u proizvodnom programu

Oslanjajući se na domaće sirovine i opremu, naše fabrike su osvojile proizvodnju sledećih emulzivnih eksploziva:

— DETOLIT PE — pumpani, gasificirani emulzivni eksploziv proizveden po sistemu NALIM, bez dodatka metalnog praha, neosetljiv na kapislu br. 8;

— DETOLIT PEM — pumpani, gasificirani emulzivni eksploziv proizveden po sistemu NALIM sa određenim sadržajem metalnog praha (atomizirani aluminijum), neosetljiv na kapislu br. 8;

— DEMULEX 3M — patronirani i repumpani emulzivni eksploziv, proizveden na stacionarnom postrojenju, osetljiv na kapislu br. 8. sa staklenim

mikrobalonima kao regulatorom gustine i osetljivosti;

— DEMULEX SBM — patronirani i repumpani emulzivni eksploziv, proizveden na stacionarnom postrojenju, osetljiv na kapislu br. 8 sa staklenim mikrobalonima kao regulatorom gustine i osetljivosti i određenim procentom atomiziranog aluminijumskog praha;

— DEMULEX EP — patronirani repumpani emulzivni eksploziv, proizveden na stacionarnom postrojenju, neosetljiv na kapislu br. 8. sa ekspan-dovanim perlitom kao regulatorom gustine.

Oslanjajući se isključivo na domaće sirovine i opremu, razrešen je problem oksidacione soli, a kroz sopstvena ispitivanja dokazano je da su emulzivni eksplozivi znatno stabilniji i fleksibilniji, kako u proizvodnji, tako i u minersko-tehničkim karakteristikama, ako u njima egzistiraju bar dve oksidacione soli.

Miniranja DETOLITOM PE i DETOLITOM PEM izvršena su na kopovima više rudnika, a DEMULEXOM EP na više kamenoloma. DEMULEX 3M i DEMULEX SMB ispitani su u podzemnoj eksploataciji jama rudnika. Rezultati miniranja navedenim vrstama eksploziva u potpunosti su zadovoljili, pa su verifikovane njihove detonacione karakteristike.

Proizvodnja emulzivnih eksploziva po sistemu NALIM

Sistem NALIM podrazumeva proizvodnju eksploziva na mestu primene, neposrednim upumpavanjem u minske bušotine, korišćenjem specijalnih, proizvodno-pumpnih jedinica montiranih na vozila. Osnovna dva ti-

pa eksploziva koji se proizvode po sistemu NALIM su SLURRY i ANFO, a po njima su nazvana i vozila koja predstavljaju male pokretne fabrike eksploziva na točkovima.

Vozilo SLURRY

Mešačko-pumpna jedinica montirana je na šasiju teretnog vozila. Njen pogon je hidraulički, a za rad se koristi izvodna snaga iz menjačke kutije vozila. Osnovne tehnološke operacije objedinjene u konstrukciji vozila SLURRY su mešanje i pumpanje tečnih i čvrstih sastojaka uz kontrolisano doziranje. Do momenta umešavanja, osnovne komponente se čuvaju u odvojenim bunkerima i rezervoarima. Rastvor oksidacionih soli je topao i čuva se u izolovanom rezervoaru vozila.

Ceo sistem radi kontinualno. Vrstu i količinu eksploziva operator zadaje preko komandne table, a pritiskom na startno dugme otpočinje programirano doziranje komponentata u protočni mešač. Iz mešača se kroz gumeno crevo, dugačko 30 m, eksploziv SLURRY pumpa u minske bušotine. Brzina pumpanja je sinhronizovana sa dotokom sirovina u mešač i iznosi 150 kg/min. Nakon ispumpavanja zadate količine eksploziva, proizvodno pumpna jedinica se automatski isključuje. Sistem je tako konstruisan da se bez prekida rada u jednu te istu bušotinu mogu pumpati dva različita eksploziva. Po pravilu, energetski jači SLURRY se pumpa na dno, a energetski slabiji ide kao stubno punjenje. Vozilo SLURRY u svoje bunkere prima sirovine dovoljne da se proizvede 10 t eksploziva. To je standardna izvedba, a može se konstruisati i manje vozilo nosivosti 3—5 t.

Domaća vozila SLURRY vrlo uspešno se eksploatišu u više naših rudnika bakra.

Vozilo SLURRY predstavlja standardnu mobilnu jedinicu za proizvodnju i upumpavanje prethodne generacije eksploziva SLURRY, poznate pod nazivom SLURRY vodeni gelovi koji predstavljaju inverznu emulziju tipa »ulje u vodi« (komercijalni naziv za ove eksplozive je majdanit 10, 15 i 20).

Dodatna prednost vozila SLURRY je što ono može proizvoditi i vodene gelove SLURRY i emulzivne eksplozive SLURRY, zavisno od potrebe i trenutne sirovinske baze.

Proizvodnja emulzivnih eksploziva po sistemu NALIM ima sledeće prednosti:

— u rezervoarima vozila nalaze se neeksplozivne komponente koje tek nakon umešavanja i upumpavanja u minsku bušotinu, kada se zadovolji kritičan prečnik i gustina, postaju eksplozivne, što garantuje apsolutnu sigurnost u primeni, a dodatna sigurnost se podstiče upotrebom antistatik creva. čiji je prečnik manji od kritičnog prečnika pumpanog eksploziva;

— izvanredna mobilnost proizvodnje ogleda se u tome što se vozilo sa komponentama može prevesti na daljinu od 500 km i tek tamo upumpati eksploziv u minske bušotine;

— ovaj način proizvodnje omogućava veliku rentabilnost;

— pumpanjem eksploziva po sistemu NALIM mogu se u potpunosti ispuniti minske bušotine ispunjene vodom i muljem.

Literatura:

- [1] Melvin A. Cook: The science of industrial explosives
[2] Mičić, R., Bojanić, J.: Novi eksplozivni sastavi usvojeni i pušteni u promet, Časopis »Eksplozivi, bušenje i miniranje«, 1988.

Zaključak

Primena emulzivnih eksploziva SLURRY i ANFO, po sistemu NALIM vrlo je aktuelna za industrijske i vojne potrebe. U zoni izvođenja borbenih dejstava, primenom emulzivnih eksploziva mogu se, za kratko vreme, porušiti ili zaprečiti objekti u obimu koji bi znatno otežao, usporio ili sprečio neprijatelja u izvođenju planiranih borbenih dejstava. Priprema tih objekata za rušenje planira se u miru.

Osnovne karakteristike i prednosti emulzivnih eksploziva SLURRY po sistemu NALIM najnovije generacije su:

— optimalne detonacione karakteristike, izvanredna vodootpornost, visoka stabilnost i sigurnost u samom procesu proizvodnje i primene;

— velika fleksibilnost u pogledu konzistencije, detonacionih karakteristika i primene;

— velika brzina detonacije i detonacioni pritisak;

— podesni su za skladištenje, jer spoljni faktori imaju gotovo zanemarljiv uticaj na njih;

— pošto ne sadrže brizantnu komponentu, TNT ili nitroglicerina, njihova se proizvodnja i primena može smatrati bezbednom sa aspekta zdravlja radnika.

Emulzivni eksplozivi predstavljaju najnoviju generaciju eksploziva koji bi u vrlo bliskoj budućnosti trebalo da nađu široku primenu.

[3] Uputstvo za rušenje, SSNO, 1972.

[4] Pravilo upotrebe inženjerije, SSNO, 1988.