

Rezime:

Savremeni privredni eksplozivi nova su vrsta eksploziva. U radu su prikazani klasifikacija, kratak razvoj, karakteristike i primena savremenih privrednih eksploziva. Primena u vojne svrhe takođe je razmatrana, kao zamena za praškaste privredne eksplozive.

Ključne reči: eksplozivi, privredni eksplozivi, eksploziv ANFO, stari eksploziv.

MILITARY ASPECT OF USING MODERN BLASTING AGENTS

Summary:

Modern blasting agents are new commercial explosives. Classification, brief history of commercial explosives, characteristics and use of modern blasting agents are presented as well as their military use. Modern blasting agents could replace powder commercial explosives.

Key words: explosives, commercial explosives, ANFO explosives, slurry explosives.

Uvod

Prednost savremenih privrednih sredstava za miniranje u odnosu na klasične privredne eksplozive je u izuzetno sigurnoj proizvodnji, transportu, skladištenju, rukovanju pri miniranju, kao i u ekonomičnosti.

Savremena sredstva za miniranje po strukturi mogu se uporediti sa pirotehničkim smešama ili kompozitnim barutima, a po efektu dejstva sa brizantnim eksplozivima (TNT). Savremena sredstva za miniranje (modern blasting agents) jesu smeše koje ne sadrže brizantne eksplozive kao eksplozivnu komponentu, što je slučaj kod klasičnih privrednih eksploziva. To su smeše koje se sastoje od organskih i neorganskih jedinjenja koja služe

kao oksidansi, goriva i aditivi. Savremena sredstva za miniranje razlikuju se od drugih neeksplozivnih materija po svojstvu da detoniraju tek kada se neeksplozivne materije, koje ih čine, dovedu u određene masene odnose u specijalnim, stešnjenim uslovima. Sastav savremenih sredstava za miniranje može se prilagodavati širokom dijapazonu zahteva korisnika u pogledu karakteristika, kao što su gustina, vodootpornost, osetljivost na inicijaciju (prenos detonacije, kritični prečnik, kritični pojačnik), brzina detonacije, gasna zapremina, toplota eksplozije i temperatura eksplozije.

Savremena sredstva za miniranje mogu biti sa i bez brizantnih eksploziva. Brizantni eksplozivi (na primer trinitrotoluen) koriste se kao senzibilizatori u sa-

vremenim sredstvima za miniranje. Savremena čvrsta sredstva za miniranje mogu biti zrnasta (ANFO i ANFO-t) i praškasta (ANOL). Savremena kašasta sredstva za miniranje su slari i emulzioni slari eksplozivni. Po osetljivosti na uticaj vlage mogu biti vodootporni (slari i emulzioni slari eksplozivni) ili vodoneotporni (ANFO i ANOL).

Razvoj privrednih eksploziva

Razvoj privrednih eksploziva počinje od doba crnog baruta (od 12. veka do 1800), a nagli razvoj je dostignut sa proizvodnjom dinamita (1800. do 1950) i savremenih sredstava za miniranje [1]. Vreme dinamita označava otkriće i industrijsku proizvodnju brizantnih i inicijalnih eksploziva, kao što su nitroceluloza, nitroglicerina, tetral, trinitrotoluen, olovo azid i živin fulminat. Proizveden je sporogoreći štapić, a amonijumnitrat primenjen u eksplozivnim smešama. Primenu se praškasti privredni eksplozivni, smeše amonijum nitrata i brizantnih eksploziva, kao što su trinitrotoluen i nitroglicerina. Do razvoja ovih eksploziva dolazi do polovine dvadesetog veka, kada se pojavljuju savremena sredstva za miniranje.

Na razvoj savremenih sredstava za miniranje znatno je uticalo uočavanje pojave da se amonijum nitrat (AN) može učiniti osetljivim na detonaciju dodavanjem organskih jedinjenja. Proizvodnja prilovanog AN (porozno granulisanog AN) drugi je uslov za razvoj eksploziva ANFO, koji pored AN sadrže gorive komponente. Od 1955. godine velike kompanije počinju da proizvode eksploziv ANFO za potrebe miniranja u velikim bušotinama bez vode. Danas je ANFO najrasprostranjenije i najčešće korišćeno

sredstvo za miniranje, i pored relativno male gustine i vodootpornosti.

Nedostaci eksploziva ANFO uticali su na dalji razvoj savremenih sredstava za miniranje. Otkriveni su i patentirani slari eksplozivni koji su vodootporni i imaju veću gustinu od eksploziva ANFO. Patenti se odnose na pojavu da je krupniji TNT bolji senzibilizator od fino sprae-nog TNT-a u prisustvu vode, kao i da voda povećava osetljivost smeše AN sa aluminijum prahom. Najveća osetljivost smeša AN sa aluminijum prahom i vodom je sa 8 + 2% vode, 5% aluminijum praha i 87-2% AN. Slari eksplozivni su emulzija tipa ulje u vodi, jer sredstva za zgrušavanje na bazi prirodnih polisaharida daju stabilnost i vodootpornost smeši [2, 3]. Ovi eksplozivni usavršavali su se zamenom eksplozivnih senzibilizatora neeksplozivnim, odnosno unošenjem „vrućih tačaka“ – centara inicijacije u smešu. Senzibilizacija slari eksploziva, unošenjem mehurića gasa kao centara inicijacije, može biti hemijska (mehurići gasa se oslobađaju hemijskim reakcijama) ili mehanička (mehurići gasa u poroznim česticama prilovanog AN ili stakleni mikrobalozi uneti u smešu).

Sedamdesetih godina radilo se na usavršavanju slari eksploziva, tako da se došlo do emulzionih slari eksplozivnih sredstava. Oni predstavljaju emulzije tipa voda u ulju i sadrže zgušnjivače i emulgatore, površinski aktivne materije koje stabilišu visokokoncentrovanu emulziju [2, 4].

Pored savremenih sredstava za miniranje, poslednjih dvadesetak godina razvijena je i proizvodnja savremenih sredstava za miniranje „na licu mesta“ (NALIM), za miniranja u rudnicima što je omogućeno činjenicom da u sastav eksplozivnog sredstva ne ulazi nijedna eks-

plazivna materija, pa se ne moraju primenjivati specijalni propisi o sigurnosti i bezbednosti pri radu.

Karakteristike savremenih sredstava za miniranje

Savremena sredstva za miniranje sadrže široku lepezu različitih tipova eksploziva, čije se karakteristike bitno razlikuju, (po voodootpornosti i osetljivosti na rudarsku kapslu). Imaju različitu gustinu i detonacione karakteristike, tako da svaki pojedinačni eksploziv kome se može menjati gustina, menja svoje detonacione osobine. Sa porastom gustine savremenih sredstava za miniranje rastu njihove minskoeksplozivne karakteristike [3]. Pored toga, može se podešavati osetljivost na inicijaciju, odnosno iniciranje rudarskom kapslom ili pentolitiskim pojačnikom od 100 do 360 g [5]. Podaci su dati u odnosu na prosečne sastave savremenih sredstava za miniranje (tabela 1), koji su najčešće u upotrebi [5, 6]. U tabeli 2 date su karakteristike

savremenih sredstava za miniranje u poređenju sa klasičnim privrednim eksplozivom amoneksom (A1). Oznaka N1 u tabelama odnosi se na ANOL, B50 i B20 na slari eksploziv sa brizantnim senzibilizatorom, M2 na slari pumpani eksploziv, a DSB i DEP na emulzivni slari eksploziv.

Sastav savremenih sredstava za miniranje tako je podešen da bilans kiseonika bude neutralan ili blago pozitivan. Tako se neutrališe negativan bilans kiseonika pentolitiskog pojačnika u ukupnom bilansu kiseonika pri miniranju.

Savremena sredstva za miniranje su smeše neorganskih oksidacionih soli ili njihovih vodenih rastvora i organskih gorivih materija – smeše tečnih i čvrstih ugljovodonika. Soli koje se najčešće koriste su amonijum nitrat, kalcijum nitrat i natrijum nitrat, a gorive materije teže frakcije rektifikacije nafte, kao što su dizel i parafinske. U tabeli 1 navedeni su karakteristični sastavi savremenih sredstava za miniranje i klasičnog privrednog praškastog eksploziva A1, radi upoređenja.

Tabela 1

Karakteristični sastavi privrednih eksploziva

Sastav (m %)	Privredni eksplozivi							
	A1	N1	ANFO	B50	B20	M2	DSB	DEP
Amonijum nitrat	80	93	95	72	72	50	52	46
Kalcijum nitrat	-	-	-	-	-	17	25	-
Natrijum nitrat	-	-	-	-	-	-	-	20
Ugljovodonici	4	5	5	6	5	6	8	7
Voda	-	-	-	12	10	18	10	20
Trinitrotoluen	15	-	-	5	5	-	-	-
Regulatori gustine	-	-	-	-	-	4	3	5
Metalni prah	-	2	-	1	3	-	-	-
PAM*	1	1	-	4	4	5	2	2

* - Površinski aktivne materije (PAM) su za slari eksplozive zgušnjivači tipa guar brašna, a za emulzione slari eksplozive emulgatori estarskog tipa.

Karakteristike privrednih eksploziva

Karakteristika	Privredni eksplozivi							
	A1	N1	ANFO	B50	B20	M2	DSB	DEP
Gustina (kg/m ³)	1100	1020	1000	1500	1650	1100	1150	1200
Brzina detonacije (m/s)	4500	3300	2500	5250	5750	3500	4800	3700
Prenos detonacije (cm)	4-9	4	kont. ¹	kont.	kont.	kont.	4-6	kont.
Iniciranje minimalnim pojačnikom ² (g)	№ 8	№ 8	PP 80	PP 200	PP 60	PP 100	№ 8	PP 40
Osetljivost na udar (kN)	4	10	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Bilans O ₂ (%)	+0,2	0	+0,1	0	0	0	0	0
Gasna zapremina (l/kg)	963	1019	925	865	584	865	847	900
Toplota eksplozije (J/g)	4148	3851	3872	5284	6300	3452	3892	3294
Temperatura eksplozije (°C)	2564	2310	2260	-	-	2480	2606	2345
Radni faktor · 10 ³ (kgm/kg)	433	393	375	407	662	415	442	425
Pritisak detonacije (bar)	56019	26900	-	102120	134750	82420	98060	91650
Minimalni prečnik (mm)	-	50	70	60	60	50	15	30
Vodootpornost	ne	ne	ne	da	da	da	da	da

¹ prenos detonacije na dodir – nema razmaka između patrona,

² PP – pentolitski pojačnik, № 8 – rudarska kapsla broj 8.

Fizičko stanje eksploziva, ili njegova struktura, više utiče na karakteristike savremenih sredstava za miniranje od sastava. Struktura se razlikuje zavisno od tipa eksploziva. Tako su ANFO i ANFO-t eksplozivi zrnaste strukture, sa veličinom čestica reda jednog milimetra. Slari eksplozivi su suspenzije ili emulzije tipa ulje u vodi, gde su veličine kapi i čestica reda veličine 0,1 mm. Emulzioni slari eksplozivi su emulzije tipa voda u ulju, sa veličinom čestica reda jednog mikrona.

Povećanje dodirne površine između neorganskih soli i ugljovodonika poboljšava detonacione karakteristike eksplo-

ziva. Tako ANFO ima manju površinu dodira od slari eksploziva, zbog veličine čestica, i slabije detonacione karakteristike, kao što je brzina detonacije (tabela 2). Površina dodira je najrazvijenija kod emulzivnih slari eksploziva, čije se karakteristike mogu uporediti sa brizantnim eksplozivima.

Eksploziv ANFO nema veću gustinu od privrednog eksploziva A1, ali zbog bolje popunjenosti bušotine, što je posledica fizičkog stanja eksploziva ANFO, njegove minskoeksplozivne karakteristike su ravne praškastom A1. Manja osetljivost eksploziva ANFO na inicijaciju zahteva primenu pojačnika, ali pove-

čava bezbednost pri rukovanju, dok njegova zrnasta struktura omogućava mehanizovano – pneumatsko punjanje bušotina.

U odnosu na eksploziv A1, praškasti eksplozivi koji sadrži 15% TNT, slari (M2) i emulzioni slari eksplozivi (DSB i DEP) imaju istu ili nešto veću gustinu, približno istu brzinu detonacije i radni faktor, ali pri miniranju pokazuju bolje karakteristike zbog maksimalne potpunosti bušotina. Vodootporni su za razliku od A1 koji to nije. Osetljivost na iniciranje slari i emulzivnih slari eksploziva može se menjati. Podešavanjem gustine oni mogu postati osetljivi na rudarsku kapslu ili im se osetljivost može smanjiti tako da se iniciraju pojačnikom od 100 g pentolita. Tečni su ili kašasti, tako da se mogu upumpavati u bušotine, a kako ne sadrže TNT potpuno su bezbedni za rad. Najveću gustinu i brzinu detonacije imaju eksplozivi B50 i B20, koji sadrže TNT kao senzibilizator. Eksploziv A1, i pored 15% TNT, ima manju brzinu detonacije zbog manje gustine.

Primena savremenih sredstava za miniranje

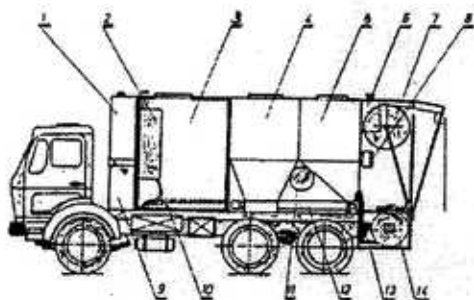
Savremeno eksplozivno sredstvo za miniranje postaje sposobno za detonaciju nakon upumpavanja u bušotinu, a iniciranje se obavlja uz pomoć dodatnih sredstava za inicijaciju – pojačnika, koji se umeće između inicijatorske kapsle i upumpanog eksploziva. Pri direktnom upumpavanju ovih eksploziva, bušotine se potpuno popunjavaju, tako da je mnogo manja mogućnost prekida detonacije usled prekida stuba eksploziva ili proširenja bušotine zbog pukotina, što nije slučaj sa klasičnim privrednim eksplozivima pakovanim u polietilensko

crevo ili papirne omote. Zbog potpune potpunosti bušotine gustina eksploziva u njoj jednaka je gustini eksplozivnog sredstva, a efekti miniranja su bolji [1]. Podešavanjem gustine i sastava ovi eksplozivi mogu u potpunosti da zamene klasične privredne eksplozive.

Savremena sredstva za miniranje koriste se za sva miniranja u rudarstvu, u građevinarstvu, za specijalna miniranja kao što je miniranje u šumarstvu ili obrada metala eksplozivom. Miniranja u rudarstvu mogu biti podzemna ili površinska. U površinskoj eksploataciji rude savremeni privredni eksplozivi primenjuju se u sistemu NALIM. Ovaj sistem proizvodnje eksploziva na mestu potrošnje predstavlja postrojenje za proizvodnju eksploziva ugrađeno na vozilo [1, 5]. Sirovine za proizvodnju nalaze se u zasebnim rezervoarima na vozilu, a do njihovog mešanja tj. obrazovanja eksplozivne smeše dolazi u mešaču (takođe na vozilu) u kojem se ejektorski dozira odgovarajući sastav. Smeša se direktno sa vozila ubacuje u bušotinu. Sigurnost i bezbednost primene eksploziva za miniranje u sistemu NALIM je najveća u poređenju sa svim ostalim postupcima miniranja. Postupak punjenja bušotine vrši se direktno sa vozila – eksplozivi se mogu upumpavati u bušotine sa udaljenosti od 10 m. Zahvaljujući robustnoj konstrukciji vozila su pogodna za korišćenje i na teško dostupnim terenima. Postoji više tipova vozila, zavisno od tipa savremenog sredstva za miniranje koji se proizvodi – ANFO, slari ili njihove modifikacije – za emulzivni slari i ANFO-t eksplozive [4].

U podzemnoj eksploataciji za mehanizovano punjenje bušotina eksplozivom ANFO i ANFO-t koriste se pneumatske punilice ili sistem pneumatskog transporta kroz cevovode od skladišta do

mesta miniranja. To su ekonomični, brzi i sigurni načini upumpavanja eksploziva u bušotine. Oni skraćuju vreme pripreme za miniranje od 5 do 10 puta, a povećavaju bezbednost u radu.



Vozilo sa postrojenjem za proizvodnju eksploziva:

1 – rezervoar za gorivo, 2 – rezervoar za vodu, 3 – rezervoar za rastvor oksidanta, 4 – rezervoar za čvrste oksidanse, 5 – rezervoar za čvrsta goriva, 6 – rezervoar za aditive, 7 – crevo za upumpavanje eksploziva, 8 – komandna tabla, 9 – posuda za hidroulje, 10 – ventil, 11 – kompresor, 12 – pužni transporter, 13 – mešač, 14 – pumpa

Za miniranja u građevinarstvu koristi se sistem NALIM sa vozilima kao kod površinskog miniranja u rudarstvu. To je pogodno za pripremu terena za radove niskogradnje, kao što su tuneli ili useci. Za miniranje u građevinarstvu na klasičan način koriste se emulzivni slari eksplozivi. Miniranje zgrada i visokih objekata na malom prostoru vrši se emulzivnim slari eksplozivom osetljivom na rudarsku kapslu u kombinaciji sa usporačima. Specijalna miniranja manjeg obima specifična su i nisu predmet ovog rada.

Savremena sredstva za miniranje mogu se inicirati na isti način kao i klasični privredni eksplozivi – rudarskom kapslom. Kod onih sredstava koja su, zbog povećane bezbednosti, neosetljiva na kapslu, između kapsle i eksploziva ubacuje se pojačnik. Utvrđeno je da su pentolitski pojačnici najpogodniji za iniciranje savremenih sredstava za miniranje [1, 6]. Pored ovog načina, iniciranje sa-

vremenih sredstava za miniranje vrši se i sistemom inicijacije NONEL, koji obuhvata inicijalni lanac u kojem je detonirajući štapin na bazi pentrita zamenjen plastičnim cevčicama laborisanim aluminijumom u prahu. Sa sistemom inicijacije NONEL savremena sredstva za iniciranje imaju eksplozive samo u inicijalnim kapslama, koje se nalaze u inicijalnom lancu pobuđivanja detonacije savremenih sredstava za miniranje [7].

Mogućnosti primene savremenih sredstava za miniranje u vojne svrhe

Mogućnosti primene savremenih sredstava za miniranje u vojne svrhe proističu iz njihove primene u mirnodopskim uslovima. To znači da se ovi eksplozivi mogu koristiti kod inženjerskih radova, umesto klasičnih privrednih eksploziva. Posebnu prednost predstavlja velika bezbednost i sigurnost pri radu sa njima, kao i ekonomičnost savremenih sredstava za miniranje. Korišćenje NALIM sistema skraćuje vreme pripreme za miniranje. Mogu se koristiti za punjenje horizontalnih, kosih i vertikalnih bušotina. Zbog energije kojom raspolažu ovi privredni eksplozivi, u bušotinama većeg prečnika i na većem rastojanju, postižu iste efekte kao pri miniranju sa klasičnim eksplozivima u bušotinama sa manjim prečnicima na manjem rastojanju. Kako su bušački radovi skuplji deo radova pri miniranju, korišćenje savremenih sredstava za miniranje u manjem broju bušotina dodatno doprinosi ekonomičnosti.

NALIM sistem proizvodnje eksploziva na licu mesta, pogodno je alternativno rešenje. Pokretljivost, lako dostupne i jeftine sirovine, veliki kapacitet i mogućnost podešavanja detonacionih karakteristika, promenom sastava i gu-

stine eksplozivna, čine ovaj sistem interesantnim za korišćenje u Vojsci Jugoslavije.

Karakteristike emulzionih slari eksploziva mogu se uporediti sa trinitrotoluenom (TNT). TNT se upotrebljava u punjenjima municije liveni ili presovan, sam ili u smeši sa drugim brizantnim eksplozivima (heksogen, oktogen, pentrit), neorganskim oksidacionim solima ili metalnim prahovima. Liveni TNT se inicira pojačnikom, a presovani detonatorskom kapslom. Toplota eksplozije TNT je 4519 kJ/kg, specifična zapremina gasova 730 l/kg, a brzina detonacije je 6900 m/s pri gustini 1600 kg/m³ [5].

Emulzivni slari eksplozivi imaju toplotu eksplozije 3900 kJ/kg, specifičnu zapreminu gasova 850 l/kg, a brzinu detonacije 4800 m/s pri gustini 1150 kg/m³. Mogu se koristiti umesto plastičnih eksploziva i pod vodom pošto su voodootporni. Poznati proizvođači ovog eksploziva svoje proizvode obeležavaju znima, različitog oblika i boje, od termootpornih polimera koji se prilikom detonacije razlete. Njihovo nalaženje na mestu eksplozije ukazuje na vrstu savremenog sredstva za miniranje kao i njihovog proizvođača.

Zaključak

Postoji mogućnost da se savremena sredstva za miniranje mogu koristiti u Vojsci Jugoslavije, kao zamena do sada korišćenom praškastom amoneksu, a posebno je pogodan emulzivni slari eksploziv. Korišćenjem ovih eksploziva povećala bi se bezbednost minera – rukovaoca eksplozivom, a dobio bi se eksploziv boljih karakteristika uz istu, pa čak i manju cenu.

Literatura:

- [1] Cook, M. A.: The science of industrial explosive, Ireco Chemicals, South Lake City, 1974.
- [2] Lissant, K.: Emulsions and emulsion technology I, Marcel Dekker, INC, New York, 1974.
- [3] Meyers, S., Shanlay E. S.: Industrial Explosives – A Brief History Of Their Development And Use, Journal of Hasardous Materials 23 (1990.), 183–201.
- [4] Matejić, M.: Prilog proučavanju karakteristika ANFO-t eksploziva, njegovih konstituenata i mogućnosti primene u savremenoj eksploataciji u rudnicima, magistarski rad, TMF, Beograd, 1995.
- [5] Hristovski, M.: Eksplozivne materije – rečnik, NIU Vojska, Beograd, 1994.
- [6] Matejić, M.: Određivanje kritičnog prečnika punjenja savremenih privrednih sredstava za miniranje, NTP, Beograd, 1996.
- [7] Matejić, M. Grgurić, Anđelković M. Lukić: Karakteristike ANFO-T eksploziva, Zbornik radova sa Treće konferencije Društva za istraživanje materijala JUKOMAT 99, septembar 1999, Herceg Novi.