

Učinak inertizacije na plinski sastav nakon eksplozije ugljene prašine

The effect of inertia on the gas composition upon the coal dust explosion

Prof. dr. sc. Jelena Marković
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Tuzla, BiH
e-mail: jelena.markovic@untz.ba

Prof. dr. sc. Snežana Mićević
Udruženje AtEx, Tuzla, BiH
e-mail: snezam@hotmail.com

Sažetak - Procjena učinkovitosti inertizacije prašine ugljena dodavanjem inertne komponente predstavlja važan korak u borbi protiv eksplozija prašine ugljena. Pored utvrđivanja sadržaja čvrstih nesagorivih komponenti u prašini ugljena, koji čine prašinu neeksplozivnom, važno pitanje je i učinak inertizacije na plinski sastav obzirom da najveći broj rudara strada od kemijskog dejstva produkata eksplozije, otrovnog ugljik-monoksida, zagušljivog ugljik-dioksida i nedostatka kisika.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja plinskog sastava nakon eksplozije prašine mrkog ugljena u laboratorijskim uvjetima, u sferičnoj komori za ispitivanje eksplozivnosti prašina volumena 20 dm³, pri prirodnom sadržaju inertne materije i dodatkom vapnenca, kao inertne komponente.

Preliminarni rezultati laboratorijskih ispitivanja inertizacije prašine mrkog ugljena prašinom vapnenca kod stehiometrijskih koncentracija ukazuju da pri sadržaju inertne materije čije su vrijednosti bliske graničnim vrijednostima kada prašina gubi eksplozivna svojstva dolazi do značajnijih promjena plinskog sastava kada je u pitanju ugljik-dioksid, dok su promjene u sadržaju kisika, ugljik-monoksida i metana neznatne.

Ključne riječi- plinski sastav, eksplozija, prašina ugljena, inertizacija.

Summary - Evaluation of the coal dust inerting effectiveness by adding inert components is an important step in the fight against the explosion of the coal dust. Besides determination of non-combustible solid components in the coal dust that make it non-explosive, an important issue is the effect of the inerting on gas composition since most of the miners get killed by chemical action of explosion, toxic carbon monoxide, suffocating carbon dioxide, and lack of oxygen.

The paper presents the test results of gas composition upon the coal dust explosion conducted in the laboratory, in the spherical explosion 20 dm³ volume test chamber, using the natural content of the inert matter with limestone additive as an inert component.

Preliminary laboratory test results of the of the brown coal dust inertization using limestone dust at stochiometric concentrations indicate that the content of inert matter that

is close to the limit values when the dust loses its explosive properties results in significant changes in the gas composition when it comes to carbon dioxide while changes in oxygen, carbon monoxide and methane content are insignificant.

Keywords: gas composition, explosions, coal dust, inertization.

I. UVOD

Sistem preventivnih mjera zaštite od eksplozivne ugljene prašine povezan sa inertizacijom podrazumjeva slijedeće: zaprašivanje jamskih prostorija inertnom prašinom, dodavanje inertne prašine u bušotine za miniranje i izgradnju brana od inertne prašine za sprječavanje širenja eksplozija. Najčešće se kao inertna prašina primjenjuje prašina vapnenca i prašina glinovitih laporaca, rjeđe dolomitna i prašina gipsa. Uslov da bi se ista mogla upotrijebiti u ove svrhe je da sadržaj, po zdravlje agresivne komponente u prašini, slobodnog silicij-dioksida, bude ispod 1 % m/m.

Prirodna vlaga i sadržaj čvrstih negorivih komponenti (mineralna materija) u prašini ugljena smanjuju eksplozivnu sposobnost iste pa se tretiraju kao inertne materije. Smatra se da prašina ugljena nije eksplozivna ako u svom sastavu ima 70 % m/m čvrstih nesagorivih čestica u nemetanskim jamama, odnosno 80 % m/m u metanskim jamama.

Proces eksplozije ugljene prašine predstavlja suhu destilaciju ugljena, u praksi poznatu kao koksovanje, kod kojeg je značajno izdvajanje plinovitih isparljivih sastojaka iz ugljena, katrana i čvrstog ostaka – koksa. Isparljivi sastojci nastali procesom pirolize u momentu početka eksplozije su složenog kemijskog sastava, a najčešće ih čine zasićeni i nezasićeni ugljikovodici kao metan, etan, eten, etin, benzen, te vodik, ugljik-dioksid, ugljik-monoksid, vodik-sulfid i niz drugih, u manjim količinama. Katran je smjesa ugljikovodika, fenola, krezola, raznih ulja i smole. Zajedničko svojstvo svih izdvojenih spojeva je da su zapaljivi i eksplozivni, a većina i otrovni. U ovisnosti od količine kisika u atmosferi sagorijevanjem ovih plinova najvećim dijelom nastaju produkti potpunog i nepotpunog sagorijevanja CO₂ i CO. Često, zbog nedostatka kisika u atmosferi zaostaje dio neizreagiranih plinova.

Ovisno od vrste ugljene prašine i uslova eksplozije, količine plinskih produkata nakon eksplozije su različite. Kao ilustraciju navest ćemo podatke o plinskim produktima za opite provedene u eksperimentalnoj jami i laboratorijskim uvjetima [4].

Ispitivanjima plinskog sastava nakon eksplozija u jamskim uvjetima u eksperimentalnoj jami "Barbara" (NR Poljska) W.Cybulski utvrdio je maksimalni sadržaj ugljik-monoksida do 10,8 % V/V, ugljik-dioksida do 15% V/V, vodika do 3,7% V/V, dok je minimalni sadržak kisika u pravilu bio oko 0,1% V/V. [2]. Navedeni rezultati se odnose na ispitivanja eksplozija pri stehiometrijskim koncentracijama prašine ugljena.

Nagy je provodio opite u laboratorijskim uvjetima, na Hartmann-ovom uređaju [5]. Opiti su provedeni na prašini Pitsburškog mrkog ugljena sa sadržajem isparljivih materija od 37% m/m.

U tablici I. je prikazan plinski sastav produkata eksplozije prašine ugljena u Hartmann-ovom uređaju.

TABLICA I. SADRŽAJ PLINOVA NAKON EKSPLOZIJE UGLJENE PRAŠINE- NAGY (1983)

Konc. prašine g/m ³	Konzentracija plina, % V/V						
	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂	Ar
100	0,1	3,2	0,0	-	17,0	78,8	0,9
200	0,7	9,1	0,0	-	9,6	79,6	0,9
500*	2,8	12,3	1,0	0,1	3,1	79,8	0,9
1000	4,6	11,7	3,0	0,6	1,5	79,5	0,9
2000	4,0	12,2	2,3	0,1	1,5	77,8	0,9

*stehiometrijski uvjeti

U odnosu na podatke o sastavu plinova nakon eksplozije u jamskim uvjetima, do kojih je došao W.Cybulski, za iste stehiometrijske uvjete u Hartmann-ovom uređaju (tablica I), oslobađa se mnogo manje ugljik-monoksida.

Kod niskih koncentracija prašine ugljena u Hartmann-ovom uređaju plinovi nakon eksplozije imaju visok sadržaj kisika, što je i razumljivo s obzirom na količinu prašine koja učestvuje u eksploziji.

II. MATERIJALI I METODE ISPITIVANJA

II.1. Karakteristike ispitivanog uzoraka prašine i vapnenca

Uzorci ugljena za ispitivanje plinskog sastava nakon eksplozije u laboratorijskim uvjetima uzeti su u skladu sa standardom [11] sa dva lokaliteta:

1. Rudnik mrkog uglja: "Stara jama"- Zenica (Srednjobosanski ugljeni basen) i
2. Rudnik mrkog uglja: "Podzemna eksploatacija – Banovići" (Banovički ugljeni basen).

Oba rudnika eksploatišu mrke ugljeve iz glavnih ugljenih slojeva. Granulacija ispitivane prašine je ispod 75 µm. Kvaliteta ugljena koji je podvrgnut ispitivanju prikazana je u tablici II.

TABLICA II. IMEDIJATNA ANALIZA UGLJENA [1]

Rudnik	Parametri imedijatne analize (% m/m)							
	W _h	A	UN	SG	I	KO	C _{fix}	V _{lar}
Zenica	6,09	25,40	31,49	68,51	45,98	54,02	28,62	58,22
Banovići	9,12	12,16	21,28	78,72	45,70	54,30	42,14	46,46

Kemijska analiza vapnenca koji je odabran kao inertna komponenta u provedenim ispitivanjima prikazan je u tablici III. Analiza je urađena na XRF spektrometru.

TABLICA III. KEMIJSKA ANALIZA VAPNENCA [1]

Granulacija ispitnog uzorka	20 µm	
Gubitak žarenjem	Maseni udio, w (% m/m)	43,15
SiO ₂		<0,035
Al ₂ O ₃		0,08
Fe ₂ O ₃		0,06
CaO		52,79
MgO		3,72
SO ₃		0,07
Na ₂ O		<0,1
K ₂ O		0,02

II.2. Eksperimentalni postupak

Opiti su vršeni u sferičnoj komori za ispitivanje eksplozivnosti prašina volumena 20 dm³, tip KSEP 20, sa pratećim priborom, proizvođača „Kühner” – Swiss.

Uzorci ugljena samljeveni su na granulaciju ispod 75 µm, a potom je urađena imedijatna analiza prašine [8,9,10]. Kemijski sastav plinova nakon eksplozije određen je na IC analizatorima tipa UNOR 6N za CO₂, CO i CH₄, proizvođača Mairhak, Njemačka, a kisika na paramagnetnom analizatoru OXOR 6N istog proizvođača.

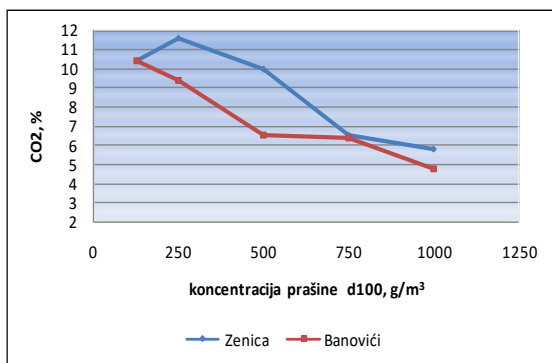
Tok ispitivanja proveo se u dvije faze.

Prva se odnosila na ispitivanje kemijskog sastava plinova nakon eksplozije čiste prašine ugljena. Ova ispitivanja su izvršena pri koncentracijama prašina od: 125, 250; 500; 750 i 1000 g/m³ [6,7].

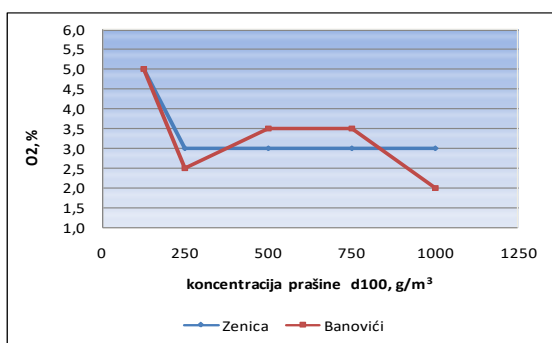
Druga faza se odnosila na istu vrstu ispitivanja, ali za uslove stehiometrijske koncentracije prašine ugljena uz dodavanje različitih količina prašine vapnenca granulacije ispod 20 µm.

III. REZULTATI ISPITIVANJA

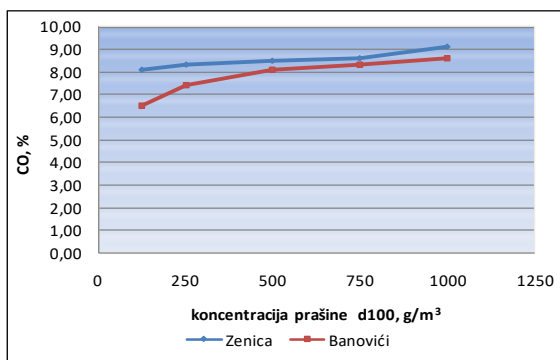
Rezultati ispitivanja plinskog sastava nakon eksplozije u smjesi prašina mrkog ugljena – zrak, u funkciji koncentracije prašine prikazani su na dijagramima 1, 2, 3 i 4.



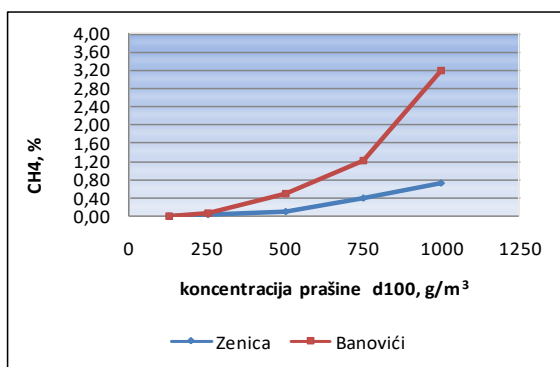
Dijagram 1. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ u funkciji koncentracije prašine



Dijagram 2. Grafički prikaz promjene koncentracije O₂ u funkciji koncentracije prašine



Dijagram 3. Grafički prikaz promjene koncentracije CO u funkciji koncentracije prašine



Dijagram 4. Grafički prikaz promjene koncentracije CH₄ u funkciji koncentracije prašine

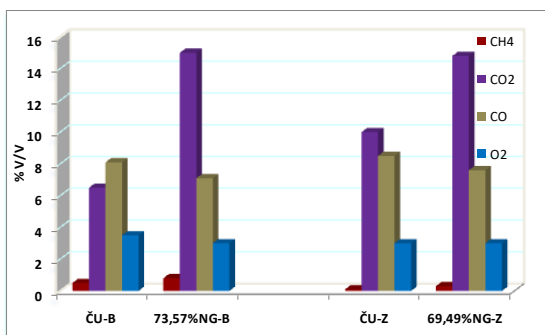
Nakon ispitivanja sastava plinova poslije eksplozije prašine čistog ugljena pristupilo se drugoj fazi istraživanja, odnosno inertizaciji prašine ugljena dodavanjem prašine vapnenca u koracima od 5%, pri stehiometrijskim koncentracijama prašine ugljena koja, kako je opitima utvrđeno, iznosi 500 g/m³. Istraživanjem su dobivene minimalne količine inertne materije u ugljenoj prašini od 69,49 %m/m, za prašinu iz rudnika Zenica i 73,57 %m/m za prašinu iz rudnika Banovići, koje je čine eksplozivno bezopasnom. Inertnu materiju u prašini ugljena predstavlja prirodni sadržaj mineralne materije u samom ugljenu i dodana količina prašine vapnenca.

IV. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Ispitivanjem plinskog sastava produkata eksplozije kod čistog ugljena sa oba lokaliteta ustanovljeno je dominantno prisustvo ugljik-dioksida, koji nastaje kao rezultat sagorijevanja ugljika iz ugljena i produkata pirolize ugljena. Maksimalni sadržaj ovog plina (10 %V/V) je izmjeren pri koncentraciji prašine od 250 g/m³ iz rudnika Zenica, dijagram 1. Povećanjem koncentracije prašine opada količina ugljik-dioksida zbog deficita kisika, neophodnog za odvijanje reakcije sagorijevanja. Također se uočava povećanje sadržaja ugljik-monoksida i metana, koji ne uspijevaju u potpunosti sagorjeti, dijagram 3. i 4.

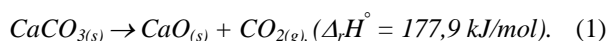
Potrošnja kisika ni kod jednog slučaja eksplozije ispitivane prašine čistog ugljena nije bila potpuna i kretala se od 77 do 88%. Procenat neutrošenog kisika kod oba opita ispitivanih prašina je bio najveći kod najnižih koncentracija prašine. Objašnjenje leži u činjenici da je količina prašine ugljena u takvom slučaju najmanja, nastala eksplozija prašine potpuna, a u plinskim produktima velik je udio neizreagirano kisika. Povećanjem koncentracije prašine vidno se povećava potrošnja kisika. Kod najvećih koncentracija prašine za oba ispitivana uzorka sadržaj kisika u plinskom sastavu nakon eksplozije je vrlo nizak (2 - 3 %V/V), dijagram 2.

U drugoj fazi ispitivanja pri inertizaciji ugljene prašine vapnencom utvrđeno je da količina inertne materije koja čini prašinu neeksplozivnom za ugljen iz rudnika Banovići ima vrijednost od 73,57 %m/m, a za ugljen iz rudnika Zenica 69,49 %m/m. Dobiveni rezultati plinskih analiza pokazuju da je došlo do promjena u sastavu produkata eksplozije inertizovane ugljene prašine u odnosu na sastav utvrđen kod ispitivanja čistog ugljena, dijagram 5.

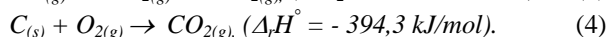
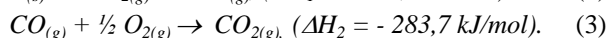


Dijagram 5. Usporedni prikaz sastava plinskih produkata nakon eksplozije čiste ugljene prašine (ČU) i inertizirane ugljene prašine (NG-negorivo) za prašinu iz Banovića (B) i Zenice (Z)

Budući da se pri eksploziji ugljene prašine razvijaju temperature iznad 1000°C , dolazi do termičke disocijacije vapnenca [3] prema jednadžbi:



Reakcija je endotermna i njeno odvijanje se vrši na račun egzotermnih reakcija sagorijevanja ugljika iz ugljena u procesu eksplozije, koje se odvijaju postupno ili direktno prema jednadžbama:



Količina toplote, koju apsorbira reakcija disocijacije vapnenca obara temperaturu eksplozije prašine ugljena, čime se pospješuje suzbijanje i na kraju prekid reakcije eksplozije. Uspješnost reakcije termičke disocijacije vapnenca najbolje se uočava u porastu koncentracije ugljik-dioksida u smjesi plinovitih produkata eksplozije. Kod obje vrste ugljena, prašina je pri različitim sadržajima inertne materije postizala neeksplozivna svojstva uz skoro ujednačeno izdvajanje CO_2 , čija vrijednost se kretala do $\sim 15\% \text{V/V}$. Svakako da je povećana koncentracija ugljik-dioksida, uz pozitivan učinak promjene entalpije osnovnih reakcija koje su se odvijale u uređaju, doprinjela efikasnosti prekida eksplozije prašine ugljena.

Analizom ostalih sastojaka plinske smjese (CO , CH_4 i O_2) inertizirane ugljene prašine kod obje vrste uglja uočava se da nema promjene u sadržaju kisika, da je došlo do neznatnog smanjenja sadržaja ugljik-monoksida i neznatnog povećanja sadržaja metana u odnosu na eksploziju čiste ugljene prašine.

V. ZAKLJUČAK

Prezentirani rezultati istraživanja pokazuju da je primjena vapnenca kao inertnog sredstva za prekidanje toka eksplozije ugljene prašine učinkovita sa stajališta prekidanja i onemogućavanja prenosa eksplozivnog toka. Razlike u procentualnom učešću dodavane prašine

vapnenca za sprečavanje eksplozije pojedinih prašina mrkog uglja su uslovljene kvalitetom samog ugljenog sloja, odnosno prirodnim sadržajem ukupne inertne materije.

Učinkovitost inertizacije na plinski sastav produkata eksplozije se manifestuje povećanjem koncentracije zagušljivog ugljik-dioksida, koji uz termohemijske procese u sistemu, povoljno djeluje i doprinosi bržem prekidu lančanog prenosa eksplozije.

Također, treba naglasiti da svi plinoviti produkti eksplozije imaju zagušljiva ili otrovna dejstva na ljudski organizam, te da u zatvorenom prostoru, kakve su jamske prostorije, i u slučaju prekida toka eksplozije prašine, postoji realno velika opasnost od gušenja i trovanja ovim plinovima, ali i deficitom kisika, koji se utroši u fazi početka i trajanja eksplozije, do njenog prekidanja. Naprijed navedeno ukazuje na važnost strateškog upravljanja rizicima u rudnicima u cilju sveobuhvatnije zaštite od požara i eksplozija.

LITERATURA

- [1] Bajramović K.: Sadržaj inertne čvrste materije i eksplozivne karakteristike nataložene ugljene prašine starijih miocenskih ležišta, Doktorski rad, RGGF Tuzla, 2011.
- [2] Cybulski W.: Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Wydawnictwo "Śląsk", 1973 r
- [3] I. Filipović, S. Lipanović: Opšta i anorganska kemija I, Školska knjiga, Zagreb, 1991.god
- [4] Lebecki K.: Zagrozenia pyłowe w górnictwie, Katowice 2004.
- [5] Nagy J., Verakis H.: Development and Control of Dust Explosions. New York, Basel Marcel Dekker Inc., 1983.
- [6] EN 14034-1:2004, BAS EN 14034-1:2004+A1:2011: Determination of explosion characteristics of dust clouds.part-1. Determination of the maximum explosion pressure p_{max} of the dust cloud.
- [7] EN 14034-2:2006, BAS 14034-2:2008:Determination of explosion characteristics of dust clouds. Part-2. Determination of the maximum rate of explosion pressure rise dp/dt_{max} of the dust clouds.
- [8] ISO 5068-1:2007, BAS ISO 5068-1: Brown coals and lignites – Determination of moisture content – Part 1: Indirect gravimetric method for total moisture.
- [9] ISO 1171:2010, BAS ISO 1171: Solid mineral fuels – Determination of ash.
- [10] ISO 5071-1:2013, BAS ISO 5071-1: Brown coals and lignites – Determination of volatile matter in the analysis sample – Part 1: Two-furnace method.
- [11] BAS 103:2002:Metode uzimanja uzoraka uglja za određivanje eksplozivnosti prašine.
- [12] JUS B.Z1.065.: Metode određivanja eksplozivnosti ugljene prašine.