



## ISPITIVANJE ZAPALJIVIH PRAŠINA U SKLADU SA HARMONIZOVANIM STANDARDIMA ZA PROTIVEKSPLOZIONU ZAŠTITU \*

### TESTING OF COMBUSTIBLE DUST IN ACCORDANCE WITH HARMONIZED STANDARDS FOR EXPLOSION PROTECTION

Aleksandar Đurđević<sup>1)</sup>, Jelica Grahovac<sup>2)</sup>, Ljubiša Kovačević<sup>3)</sup>

**Rezime:** Oko 80% industrijskih prašina je zapaljivo (eksplozivno), pa je jako važno uspostavljanje adekvatne Ex-zaštite u tim prostorima. U skladu sa odgovarajućim harmonizovanim standardima, Laboratorija CENEx Instituta za nuklearne nauke „VINČA“ je uspostavila metode za ispitivanje ključnih fizičkih osobina prašina u pogledu utvrđivanja njihovih eksplozivnih svojstava.

**Ključne reči:** zapaljiva prašina, sloj prašine, oblak prašine, električni otpor, energija paljenja

**Abstract:** About 80% of industrial dust is potentially explosive, and constitution of adequate Ex protection in this areas is very important. In CENEx laboratory, within the VINČA Institute, a methods for determination of some properties of combustible dust, in accordance with harmonized standards, are established.

**Key words:** combustible dust, dust in layer, dust/air mixture, electrical resistivity, ignition energy

## 1. UVOD

Dugogodišnje iskustvo u protiveksplozionoj zaštiti ukazuje da zapaljive prašine zauzimaju određeno mesto u odnosu na gasove i pare.

Nažalost, podaci o eksplozijama prašina iz svih krajeva sveta upozoravaju da je to često olako shvaćena opasnost. Samo se u SAD, u razdoblju od 5 godina (1999.-2004.) dogodilo 6 eksplozija prašine koje su oduzele 28 života, povredile 112 ljudi i prouzrokovale ogromnu materijalnu štetu.

Eksplozije prašine imaju drugačije karakteristike od eksplozija gasova, i u nekim slučajevima su mnogo razornije. Na primer, ako u prostoru u kome već ima nataložene prašine dođe do neke manje (lokalne) eksplozije, ona može da izazove podizanje prašine i stvaranje oblaka prašine koji potom može da izazove eksplozije mnogo većih razmera. Ovo je naročito opasno u rudnicima, gde manja eksplozija metana može stvoriti oblak prisutne ugljene prašine, koji dalje eksplodira i izaziva stvaranje novih oblaka, pa se uzastopne eksplozije prenose duž hodnika rudnika.

Zapaljivim prašinama treba pokloniti veću pažnju prilikom razmatranja protiveksplozione zaštite. U skladu sa odgovarajućim harmonizovanim standardima, u Laboratoriji CENEx Instituta za nuklearne nauke „VINČA“ razvijene su aparature za određivanje fizičkih

osobina prašine koje se odnose na električnu otpornost nataloženog sloja prašine i na energiju paljenja uzvitlanog oblaka prašine i vazduha.

## 2. ZAPALJIVE PRAŠINE

Prašine su male čvrste čestice u atmosferi koje se talože usled sopstvene težine, ali koje mogu i da izvesno vreme lebde u vazduhu. Skoro svaki dovoljno fino usitnjen materijal u smeši sa vazduhom može da gori tj. eksplodira ako mu se iz povoljnog izvora dovede energija dovoljna za iniciranje egzotermne reakcije.

Zapaljive prašine se dele u 3 glavne grupe:

### I. Organske prašine

- a) Prirodne prašine
  - prašina drva
  - prehrambena
  - ugljena
  - ostale prirodne prašine
- b) Hemijsko-tehnološke prašine
  - plastične, smole, gumene
  - farmaceutske, kozmetičke, pesticidi
  - ostale hemijsko-tehnološke

### II. Neorganske prašine

- a) Metalne i razne legure
- b) Ostale neorganske prašine (karbidi, nitrati, oksidi,...)

1) Aleksandar Đurđević, Institut „VINČA“, 11001 Beograd, p.p.522, mail: acadjur@vin.bg.ac.yu

2) Jelica Grahovac, Institut „VINČA“, 11001 Beograd, p.p.522, mail: grahovac@vin.bg.ac.yu

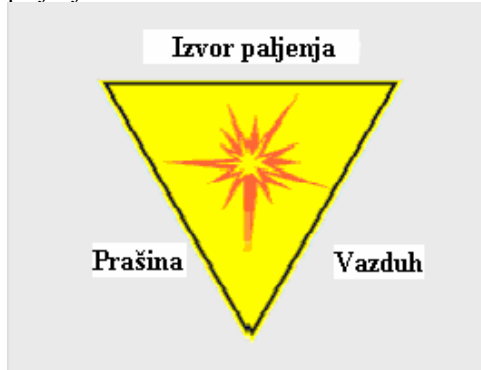
3) Ljubiša Kovačević, Institut „VINČA“, 11001 Beograd, p.p.522, mail: ljubisak@vin.bg.ac.yu

\*) Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu TD-7054B

koga finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

III. Mešovite prašine (razne smeše prašina u raznim odnosima, npr. kalcijum karbonat / grafit, aluminijum / poliester. itd.).

Za paljenje eksplozivne smeše potrebna su tri činioca (slika 1.): zapaljiva prašina, vazduh i izvor paljenja.



Slika 1. Trougao potrebnih uslova za eksploziju

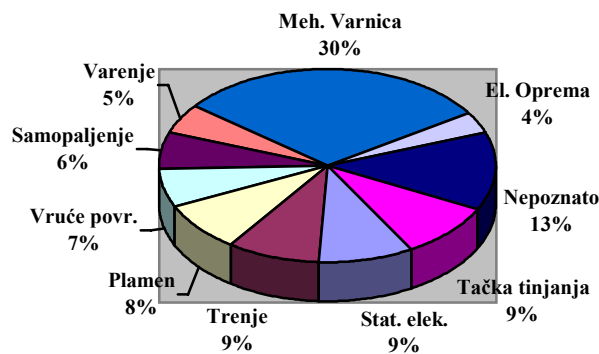
U slučaju eksplozivnih prašina, niz uzroka može biti izvor paljenja eksplozivne smeše, kao što je prikazano na slici 2. Statistički je najčešći uzrok paljenja mehanička varnica (30%), a statički

elektricitet, trenje i tinjanje su ravnopravni uzroci u ukupno 27% slučajeva.

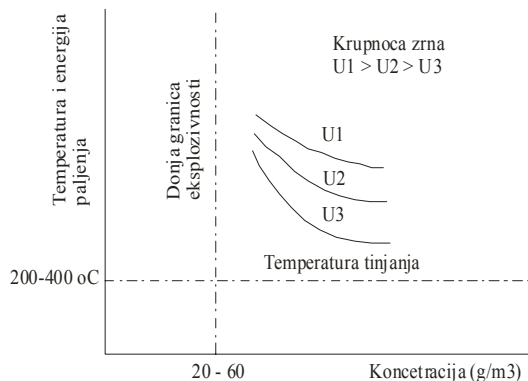
U poređenju sa eksplozivnim gasnim smešama, po pravilu, za paljenje smeše prašina sa vazduhom potrebne su znatno više energije. Ako se kod gasova radi o energijama reda veličine  $\mu\text{J}$ , kod prašina je u pitanju red  $\text{mJ}$ . Međutim, novija istraživanja pokazuju da postoje fino usitnjene vrste prašina čije su minimalne energije paljenja istog reda veličine ili čak niže nego za gasove [4].

Veličina čestica i koncentracija ima direktne veze s energijom i temperaturom koja je potrebna za paljenje prašina, što prikazuje slika 3.

U cilju izbegavanja eksplozije, prvo treba utvrditi fizičke osobine prašine: zapaljivost, eksplozivnost, granice eksplozivnosti, **minimalne energije paljenja**, temperature paljenja oblaka prašine, temperature tinjanja, tačke samopaljenja i električnu otpornost prašine.



Slika 2. Procentualna zastupljenost uzroka paljenja eksplozivnih prašina



Slika 3. Zavisnost temperature i energije paljenja od koncentracije prašine

### 3. METODA ZA ODREĐIVANJE ELEKTRIČNE OTPORNOSTI SLOJA PRAŠINE

U odnosu na električnu otpornost prašine se klasifikuju kao prašine sa niskim, srednjim ili visokim izolacionim svojstvima. Prašina sa izolacionim svojstvima ima sklonost ka zadržavanju elektrostatičkog potencijala, i može doći do elektrostatičkog pražnjenja ako je u blizini uzemljena oprema ili osoblje, što dalje može dovesti do paljenja eksplozivne atmosfere.

Električni otpor sloja prašine je minimalna vrednost električnog otpora sloja prašine koja se meri između elektroda postavljenih na jedinično

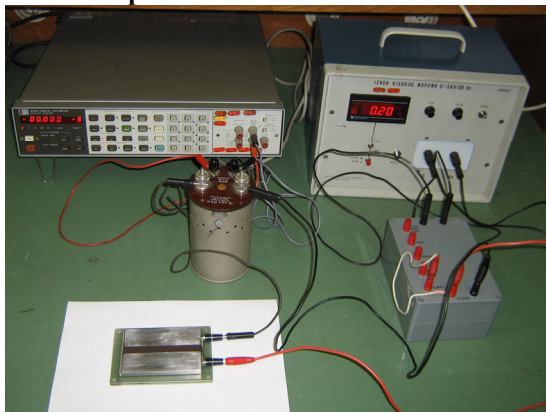
rastojanje, pri čemu je kontaktna površina elektrode i sloja prašine takođe jedinična.

Postupak određivanja električne otpornosti sloja prašine, i aparatura koja se koristi urađeni su u skladu sa standardom IEC 1241-2-2 [1].

S obzirom na električna svojstva, prašine se dele na [1]:

- Provodne (specifična otpornost  $\leq 103 \Omega\text{m}$ )
- Neprovodne (specif. otpornost  $> 103 \Omega\text{m}$ ).

### 3.1. Aparatura



*Slika 4. Aparatura za određivanje električne otpornosti sloja prašine*

Aparatura (slika 4.) obuhvata:

- Ispitnu ćelija
- Izvor visokog jednosmernog napona
- Voltmetar
- Ampermetar.

### 3.2. Postupak ispitivanja

Pre početka ispitivanja treba utvrditi uslove ispitivanja, izmeriti temperaturu okoline i vlažnost vazduha i to navesti u Izveštaju o ispitivanju.

Uzorak prašine mora biti homogen i granulacije  $\leq 71 \mu\text{m}$ ., a ako je potrebno, granulacija može biti i do  $500 \mu\text{m}$ , ali se i to mora navesti u Izveštaju. Takođe je potrebno izmeriti i sadržaj vlage, i masu uzorka.

Otpornost prašine ( $\rho$ ) se izračunava pomoću poznatog napona, izmerene struje i geometrijskog odnosa između elektroda. Otpornost prašine može biti vrlo velika, pa je potreban visok napon (do  $2000\text{V d.c}$ ). Što je veći sadržaj vlage u prašini, ona je provodnija, pa ispitivanje treba vršiti u prostoru sa što manjom relativnom vlažnošću.

## 4. METODA ZA ODREĐIVANJE MINIMALNE ENERGIJE PALJENJA OBLAKA SMEŠE PRAŠINE I VAZDUHA

Uzvitlana prašina je vrlo opasna, ali i na mestima gde postoji nataložena prašina može doći

do njenog uzvitlavanja, npr. usled udara vazduha, pa je veoma važno znati kolika je energija paljenja tog oblaka prašine.

Energija paljenja oblaka prašine je najniža energija električne varnice pri kojoj dolazi do paljenja smeše prašine i vazduha.

Postupak određivanja minimalne energije paljenja smeše prašine i vazduha (oblaka prašine), i aparatura koja se koristi urađeni su u skladu sa standardima IEC-1241-2-3 [2] i EN 13821 [3].

Treba istaći da se ova metoda ne koristi za određivanje energije paljenja eksploziva, baruta, dinamita, i ostalih sličnih materija.

### 4.1. Aparatura

Test aparatura čija je šema prikazana na slici 5, sastoji se od dve celine:

- komore u kojoj se stvara oblak prašine i izaziva njegova eksplozija, i
- generatora varnica, koji proizvodi varnice određene energije i učestanosti.

**Komora** je modifikovana "Goldberg-Greenwald-ova peć", koja se koristi za određivanje temperature paljenja oblaka prašine, sa postojećim sistemom za raspršivanje prašine, pomoću vazduha pod pritiskom. U komori su naknadno ugrađene elektrode između kojih se stvaraju varnice pomoću generatora varnica.

**Generator varnica** je realizovan u varijanti u kojoj okidanje varnica nastaje usled porasta napona (slika 6). U standardu inače postoje četiri varijante generatora varnica.

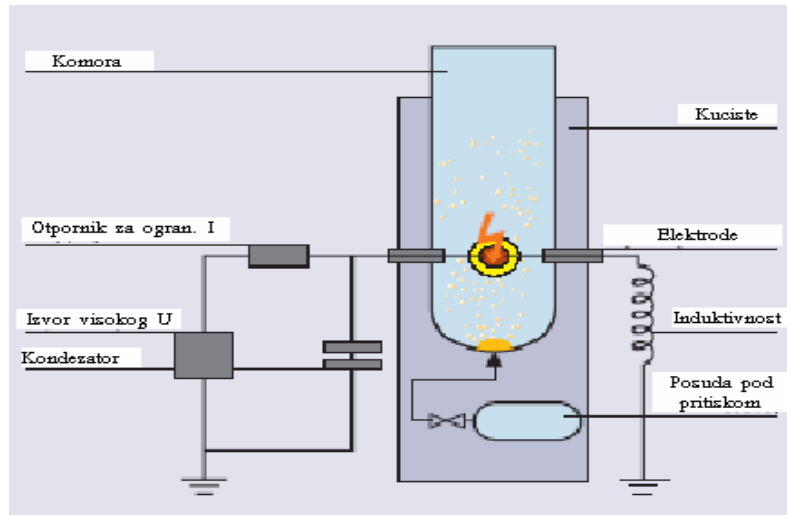
### 4.2. Postupak ispitivanja

Pre početka ispitivanja treba izvršiti pripremu uzorka prašine. Najvažnije je odrediti granulaciju i vlažnost prašine.

Prašina se uniformno raspršuje u komori na sobnoj temperaturi i atmosferskom pritisku (slika 5) a zatim se stvara varnica na elektrodama, pražnjenjem kondenzatora.

Minimalna energija paljenja zavisi od koncentracije prašine u vazduhu i vrtloženja u oblaku prašine. Minimalna energija se meri pri optimalnoj koncentraciji i minimalnim vrtloženjema. Uticaj vrtloženja smanjuje se produžavanjem vremena između dve varnice.

Optimalna koncentracija i nisko vrtloženje ne može se postići u jednom koraku već je potreban veći broj iteracija. Kalibracioni test treba da se sprovede na tri referentne prašine (suše se  $24 \text{ h}$  na atmosferskom pritisku i temperaturi od  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



Slika 5. Šematski prikaz generatora varnice i komore za ispitivanje



Slika 6. Aparatura za generisanje varnice

Primer očekivanih minimalnih temperatura (T) i energija paljenja (E) smeše prašine sa vazduhom i sloja nataložene prašine, za različite materijale, dat je u tabeli 1 [5].

Tabela 1. Tipične vrednosti parametara prašine

MATERIJAL	Ti [°C]	Ts [°C]	ØE <sub>min</sub> [mJ]	E <sub>min</sub> [mJ]
Drvo	≥410	≥200	≥100	6
Mrki ugalj	≥380	≥225	-	5
Ugalj	≥500	≥240	≥1000	13
PVC	≥530	≥340	≥5	<1
Aluminijum	≥560	≥270	≥5	<1
Sumpor	≥240	≥250	≥10	5

## 5. ZAKLJUČAK

Prašina se u procesu proizvodnje pojavljuje kao proizvod ili nusproizvod u mnogim industrijama. Smatra se da je oko 80% svih industrijskih prašina zapaljivo (eksplozivno). Čak

je i sloj zapaljive prašine od 1mm u zatvorenoj prostoriji dovoljan da izazove eksploziju, ako se pojavi izvor paljenja dovoljne energije i ako dođe do formiranja oblaka tog sloja prašine.

Zbog značaja adekvatne Ex-zaštite i uslova propisanih ATEX direktivom EU, u skladu sa odgovarajućim harmonizovanim standardima, Laboratorija CENEx Instituta za nuklearne nauke „VINČA“ je uspostavila metode za ispitivanje fizičkih osobina prašina u pogledu utvrđivanja njihovih eksplozivnih svojstava.

## LITERATURA

- [1] IEC 1241-2-2, Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust, Part 2: Test methods - Section 2: Methods for determining the electrical resistivity of dust in layers.
- [2] IEC 1241-2-3:1994, Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust Part 2: Test methods - Section 3: Methods for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures
- [3] EN 13821:2002, Potentially explosive atmospheres - Explosion prevention and protection, Determination of minimum ignition energy of dust/air mixtures.
- [4] Mario Mačković. Ispitivanje fizičkih parametara zapaljivih prašina, Ex-Bilten 2005, Zagreb, Hrvatska.
- [5] The basics of dust-explosion protection, R.STAHL Explosion protection, www.stahl.de