

V. VIDOJKOVIĆ  
N. ĐORĐEVIĆ  
T. BOLJANAC  
M. VLAHOVIĆ  
S. MARTINOVIĆ

Institut za tehnologiju nuklearnih  
i drugim mineralnih sirovina,  
Beograd

STRUČNI RAD

620.4+662.613.13+549.23:332.156

## ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI VEZIVANJA ČESTICA LETEĆEG PEPELA IZ TERMoeLEKTRANA ELEMENTARNIM SUMPOROM

*U ovom istraživanju je ispitivana mogućnost korišćenja elementarnog sumpora (koji se javlja kao sporedni proizvod u procesu rafinacije nafte), kao vezivnog sredstva čestica letećeg pepela iz termoelektrana, manjih od 63  $\mu\text{m}$ , čime bi se omogućilo njegovo trajno vezivanje za tle i time suzbila eolska erozija depovanog pepela. Pokazano je da je daljim istraživanjima i realizacijom pogodnih tehničkih rešenja moguće efikasno razrešiti oba ekološka problema na jednom mestu.*

Fosilna goriva, uglj, nafta i prirodni gas, najveći su primarni izvori energije i najviše se koriste u proizvodnji električne energije. Njihovim sagorevanjem nastaju štetni gasovi, kao i čvrst otpad koji izaziva hronične zdravstvene tegobe, globalno zagrevanje i značajno zagađenje vazduha, vode i zemljišta.

Sagorevanjem fosilnih goriva, posebno niskokaloričnih vrsta uglja za proizvodnju električne energije, nastaju mnoge zagađujuće materije, uključujući azotne okside, sumpor-dioksid, ugljen-monoksid i ugljen-dioksid, halogena jedinjenja, ugljovodonike, prašinu, čađ, dim i druge čestice. Sve ove materije mogu da izazovu ozbiljne zdravstvene probleme, kao što su astma, bronhitis, infekcije disajnih puteva i druge.

Čvrsti ostaci nakon sagorevanja, kao što su pepeo i šljaka, odlažu se na deponije, koje se, nažalost, nalaze blizu reka ili jezera, na terenima s visokim nivoom podzemnih voda, pa zbog sadržaja rastvorenih teških metala i drugih zagađujućih materija predstavljaju izvor zagađivanja podzemnih i površinskih voda. Deo čvrstih čestica raznosi se strujanjem vazduha po okolini i takođe predstavlja opasnost po zdravlje ljudi, jer se unose udisajem. Jedan deo odloženog pepela eolskom erozijom raznosi se po okolini i poljoprivrednom zemljištu, pa biljke iz tla crpe i teške metale. Zbog ispiranja teških metala i ostalih zagađujućih materija, s deponija pepela i šljake, zagađuju se podzemne i površinske vode, a rekom se zagađenje prenosi i na mnogo šire prostore. Deponije pepela i šljake neprekidno rastu, usled odlaganja novih količina pepela. Ujedno, zahtevaju održavanje i neprekidnu brigu, kako se deponije ne bi urušile a pepeo nekontrolisano rasuo i izlio u reku. Delovi deponije

koji su dostigli najveću dozvoljenu visinu moraju da se rekultiviraju i da se na tom delu zasade ili zaseju biljke koje mogu da uspevaju na takvom tlu [1].

Termoelektrane u Srbiji za proizvodnju električne energije koriste lignit čijim sagorevanjem nastaju različiti produkti, između ostalih i pepeo. Od ukupno utrošenog uglja u termoelektranama, 17% ne sagori i ostaje u obliku pepela koji se specijalnim sistemima transportuje do deponija. I pored napora da se aktivni delovi deponija specijalnim sistemima za polivanje drže vlažnim, a ostali delovi rekultiviraju pogodnim biljnim vrstama, aero zagađenja u okolini termoelektrana i deponija pepela su redovna i izražena pojava. S obzirom na statističke podatke o broju obolelih od respiratornih bolesti u ovim regionima, zagađenje životne sredine u okolini deponija pepela dostiže razmere ekološke katastrofe [2].

U termoelektranama u Srbiji godišnje se za proizvodnju električne energije iskoristi oko 35 miliona tona uglja, pretežno lignita. Ova vrsta uglja je donje toplotne moći 6000–8000 kJ/kg, prosečnog sadržaja vlage 45–53% i pepela 10–23% [3]. Dnevna potrošnja uglja je od 17000 do 19000 tona po bloku elektrane (Termoelektrana "Nikola Tesla", Obrenovac), pri čemu sagorevanjem uglja u termoelektranama, proizvodnjom svakog kilovata struje ostaje značajna količina pepela. Deponije na kojima se odlaže pepeo su ukupne površine oko 1.639 hektara. Od 1974. godine do danas odloženo je između 250 do 300 miliona tona pepela i šljake. Pepeo predstavlja jedan od najčešćih zagađujućih materija u radnoj i životnoj sredini, pri čemu zagađuje zemljište, vodu i vazduh. Analizom uzoraka letećeg pepela iz termoelektrane Nikola Tesla iz Obrenovca ustanovljeno je prisustvo teških metala: Zn, Cr, Cd, Sr, Pb, Co i Ni [3].

Deponija pepela u termoelektrani "Nikola Tesla" je izgrađena na terenu gde je istraživanjem utvrđen debeo sloj gline, a sam pepeo se održava vlažnim. Ipak, analizom vode i zemljišta, a naročito vazduha, utvrđeno je prisustvo velike količine letećeg pepela koji nepovoljno

Adresa autora: N. Đorđević, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugim mineralnih sirovina, Beograd, Franše d'Eperea 86  
E-mail: n.djordjevic@itnms.ac.yu  
Rad primljen: Decembar 11, 2005  
Rad prihvaćen: Maj 10, 2006

utiče na okolnu sredinu i zdravlje ljudi. Statistički podaci pokazuju da preko 50% stanovništva ima probleme sa respiratornim organima, i da skoro 2/3 dece školskog i predškolskog uzrasta ima slične probleme [1]. Ovo se direktno može povezati sa uticajem deponije pepela. Pored složenog delovanja faktora aerozagađenja, bitni su i ostali faktori koji se unose hranom i vodom za piće, jer su područja oko elektrana uglavnom naseljena agrarnim stanovništvom, i mnoga domaćinstva koriste kako bunarsku vodu za piće, tako i hranu koju sami na tim lokacijama proizvode. Saniranje problema letećeg pepela je stoga postao gorući problem sa aspekta zaštite životne sredine.

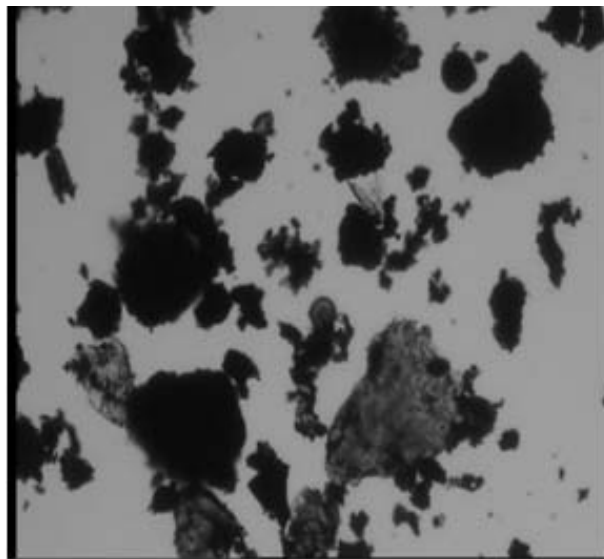
S druge strane, u procesu rafinacije nafte kao nusprodukt javlja se elementarni sumpor, kao posledica odsumporavanja dobijenih naftnih derivata. On predstavlja balastni materijal i takođe pretili da postane ozbiljan ekološki problem. Količina sumpora dobijenog i deponovanog na ovaj način biće u buduću kod nas sve veća, sa pooštavanjem domaćih propisa o sadržaju sumpora u derivatima nafte i približavanjem tih propisa normativima EU. U svetu se poslednjih godina intenzivno radi na iznalaženju efikasnih načina za racionalan utrošak naglo uvećanih količina elementarnog sekundarnog sumpora. Kao jedna od mogućnosti korišćenja ovog sekundarnog sumpora je i vezivanje letećeg pepela, naročito čestica dimenzija –  $<63 \mu\text{m}$ , čime bi se uspešno sanirao problem aero zagađenja iz termoelektrana.

U ovom istraživanju je izvršeno ispitivanje mogućnosti primene elementarnog sumpora u aglomeraciji submikronskih čestica pepela, a u cilju dobijanja frakcija koje bi se odlagale na površinskom delu deponije. Time bi se najsitnije čestice međusobno i sa krupnijim česticama vezale u krupnije i teže aglomerate. Ovime bi se sprečilo njihovo rasejavanje po bližoj i daljoj okolini deponije.

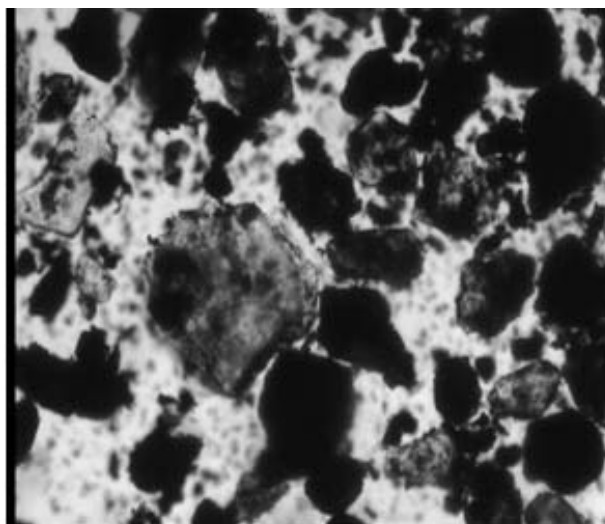
## EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentima je korišćen pepeo Termoelektrane "Nikola Tesla – A" u Obrenovcu, dok je kao vezivno sredstvo korišćen sekundarni sumpor dobijen kao nusprodukt u procesu rafinacije nafte Rafinerije nafte u Pančevu.

U otvorenim reaktorima u laboratorijskim uslovima je pepeo zagrevan na temperaturu od 150 do 170°C. Zagrejanom pepelu je uz intenzivno mešanje dodavan sumpor u količinama od 3.85 do 21.88 mas.% S. Na ostvarenim temperaturama sumpor se topio, i u tako rastopljenom stanju oblagao čestice pepela. Nakon intenzivnog mešanja, homogenizacije i aglomeracije dobijeni proizvod se spontano hladio do sobne temperature. Presipanjem dobijenih uzoraka (slobodnim padom) vizuelnom metodom utvrđivano je prisustvo letećih frakcija. Nakon aglomeracije uzorci su ispitivani optičkom



Slika 1. Snimak uzorka PR sa 7,41% S  
Figure 1. Photograph of the sample PR with 7.41% S

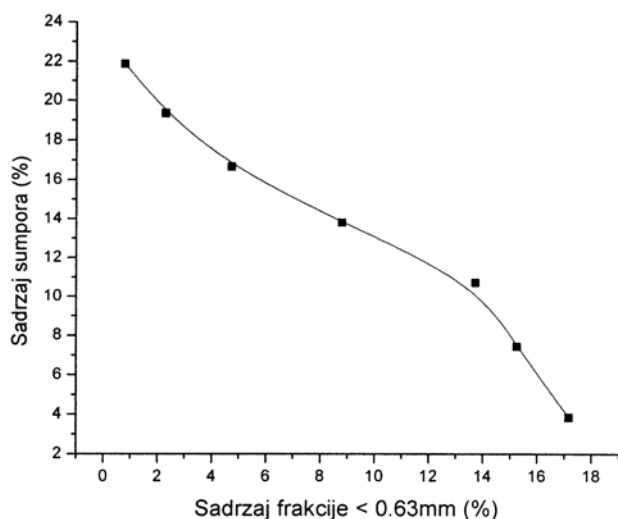


Slika 2. Snimak uzorka PR sa 19,35% S  
Figure 2. Photograph of the sample PR with 19.35% S

metodom i izvršena je analiza granulometrijskog sastava mokrim postupkom na situ otvora 63  $\mu\text{m}$ .

## REZULTATI I DISKUSIJA

Mikroskopska analiza je utvrdila da se svi uzorci sastoje od kvarca i neprozračne do neprovidne amorfnе materije. Prisutne su čestice različitih dimenzija, pri čemu su u uzorcima sa manjom količinom sumpora prisutne čestice i većih i manjih dimenzija. Sa porastom količine sumpora preovlađuju krupnija zrna pepela, kvarca i aglomerisanih čestica sa sumporom, dok je prisustvo sitnih frakcija u uzorku sa 22% S zanemarljivo.



Slika 3. Sadržaj frakcija <math>< 63 \mu\text{m}</math> u funkciji od udela sumpora u ispitivanim uzorcima

Figure 3. Fraction <math>< 63 \mu\text{m}</math> as a function of the sulphur content

Kao referentni uzorak je snimljen pepeo bez prisustva sumpora. Snimci ispitivanih sistema prikazani su na slikama 1 i 2.

Rezultati granulometrijske analize prikazani su na slici 3. Rezultati su pokazali da se sa povećanjem količine sumpora u pepelu značajno smanjuje količina čestica manjih od <math>63 \mu\text{m}</math>. Pri količini prisutnog sumpora od približno 22% prisustvo ultrafinih frakcija je ispod 1%, u odnosu na 19%, koliko je zabeleženo u uzorcima bez dodatka sumpora.

Mikroskopska analiza je pokazala da su u uzorcima kojima je dodat sumpor prisutne izrazito krupne čestice koje su posledica aglomerisanja frakcija pepela sumporom. Uočeno je da se sa povećanjem količine dodatog sumpora smanjuje broj sitnih čestica prisutnih u ispitivanom uzorku, pri čemu su uzorci homogeniji u smislu veličina čestica sa povećanjem količine prisutnog sumpora.

Presipanjem uzoraka nakon aglomeracije i hlađenja utvrđeno je da se sa povećanjem količine dodatog sumpora u sistem količina letećeg pepela značajno smanjuje. Minimalna vrednost sumpora dodatog u pepeo, pri kojoj vizuelnom metodom nije utvrđeno prisustvo letećeg pepela iznosila je 15.0%.

Naknadnim simuliranjem prirodnih uslova je potvrđeno da sa dodatkom manje količine od 15.0% sumpora nije izvršeno oblaganje svih sitnijih čestica, nakon čega su se one i dalje odvajale od ukupne mase uzorka i stvarale oblak letećeg pepela iznad ispitivanog uzorka. Uzorci u kojima je količina sumpora iznad ove granične vrednosti su homogeno padali niz kosinu, a simulacijom prirodnih uslova nije došlo do vidljivog odvajanja letećeg pepela.

Određivanje granulometrijskog sastava mokrim postupkom na situ otvora <math>63 \mu\text{m}</math> utvrđena je frakcije <math>< 63 \mu\text{m}</math> u funkciji od udela sumpora.

Ovim je potvrđeno da je u postupku homogenizacije pepela sa sumporom na datim temperaturama došlo do homogenizacije prisutnih čestica sa istopljenim sumporom koji ih je obložio, povećavajući im time dimenzije, istovremeno podstičući međusobnu aglomeraciju prisutnih čestica, čime se direktno uticalo na smanjenje količine ultrafinih čestica koje vazдушnim strujanjima mogu biti raznošene sa deponije.

Ova preliminarna istraživanja i idejno rešenje postrojenja za tretman pepela elementarnim sumporom doprineli su zaključku da bi ulaganja u izmenu postojeće opreme za otpremanje pepela na deponiju termoelektrane bila minimalna. S druge strane, dalja istraživanja i razvoj odgovarajućeg tehničko-tehnološkog rešenja otvaraju mogućnost efikasnog rešavanja dva ozbiljna i akutna ekološka problema.

## ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je bio da se ispita mogućnost korišćenja elementarnog sumpora, koji je sekundarni produkt u procesu rafinacije nafte, u postupku vezivanja čestica letećeg pepela koji nastaje sagorevanjem lignita u procesu dobijanja električne energije u termoelektranama. Leteći pepeo sadrži, pored krupnih čestica i ultrafine frakcije koje se eolskom erozijom resejavaju i ugrožavaju životnu sredinu i zdravlje ljudi u bližoj i daljoj okolini deponija pepela. Eksperimentima je utvrđeno da se procesom homogenizacije pepela i sumpora na temperaturama od 150 do <math>170^{\circ}\text{C}</math> uz intenzivno mešanje, čestice pepela oblažu istopljenim sumporom, čime se postiže aglomeracija prisutnih frakcija. Granulometrijskom analizom i simuliranjem prirodnih uslova je utvrđeno da se dodatkom aproksimativno 15% sumpora dobijaju agregati koji više ne sadrže sitne frakcije koje bi se raznosile eolskom erozijom. Primenom ove tehnologije bi se značajno doprinelo zaštiti životne sredine i zdraviju stanovništva koje živi u okolini termoelektrana.

## ZAHVALNICA

Istraživanja izneta u ovom radu su rađena u okviru projekta "Eliminacija i korišćenje sumpora dobijenog kao sporedni proizvod pri preradi nafte" koji finansiraju Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije i Naftna industrija NIS, Novi Sad.

## LITERATURA

- [1] D. Budimirović, Izvodi iz studije "Rešavanje ekoloških problema nastalih radom Termoelektrana "Nikola Tesla" A i B
- [2] Prvo savetovanje o deponijama pepela i šljake termoelektrana, Obrenovac, 2005. god.
- [3] Štampani materijal Termoelektane "Nikola Tesla", Obrenovac
- [4] A. Nikolić, M. Ilić, Naučno tehnički PREGLED, vol. LI (2001) No. 5, s. 75

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF BINDING FLY ASH PARTICLES BY ELEMENTAL SULPHUR

(Professional paper)

V. Vidojković, N. Djordjević, T. Boljanac, M. Vlahović, S. Martinović

Thermal power plants in Serbia use lignite for electrical power production. The secondary product of coal combustion is fly ash in the amount of 17%. Fly ash causes the pollution of air, water and soil, and also cause many human, especially lung diseases. Secondary sulphur is a product of crude oil refining. The aim of this study was to investigate the use of sulphur as a bonding material in ultra fine particle agglomeration (smaller than 63  $\mu\text{m}$ ) in fly ash. The agglomeration should make the ash particles larger and heavy enough to fall without flying fractions. The experiments showed that during the homogenization of the ashes and sulphur from 150 to 170  $^{\circ}\text{C}$  in a reactor with intensive mixing, an amount of 15% sulphur was sufficient to bond particles and cause agglomeration without visible flying fractions.

Key words: Thermal power plants •  
Fly ash • Sulphur • Agglomeration •

Ključne reči: Termoelektrane •  
Leteći pepeo • Sumpor •  
Aglomeracija •