

## ODREĐIVANJE BILANSA SUMPORA SAGORIJEVANJEM UGLJA NA MALIM I VELIKIM LOZIŠTIMA

M. KRSTIĆ, A. PAPO i A. JAGANJAC

*Zavod za procesnu tehniku i zaštitu čistoće vazduha Mašinskog fakulteta  
i Prirodno-matematički fakultet, Sarajevo*

U toku ovih ispitivanja eksperimentalno smo provjeravali uobičajeni proračun emisije sumpora na osnovu tzv. »sagorivog sumpora« u uglju. Mjerenja sadržaja sumpora u dimnim plinovima su pokazala da se ovakvim proračunima, koji se baziraju na određivanju tzv. »vezanog sumpora« u laboratorijskim uslovima spaljivanjem goriva do 800°C, može načiniti greška i do 100%. Emisija sumpora iz velikih ložišta za centralno grijanje kreće se otprilike 90%, dok je pretpostavljena emisija iz podataka o »sagorivom sumporu« trebala da iznosi otprilike 50%. Emisije sumpora iz sobnih peći kretale su se od 56 do 88% zavisno od konstrukcije, te od načina loženja i režima rada peći. I u ovom su slučaju emisije redovno bile više od očekivanih emisija »sagorivog sumpora«. Rezultati ovih mjerenja nam pokazuju da se prilikom projektovanja i proračuna emisije i visine dimnjaka ne možemo osloniti samo na podatke o sadržaju »sagorivog sumpora« u gorivu nego na eksperimentalne podatke o bilansu sumpora, koji se sve češće mogu naći u stranoj tehničkoj literaturi.

Emisija  $SO_2$  i  $SO_3$  iz dimnih plinova predstavlja veoma težak problem u nastojanjima za čuvanje čistog zraka. Činjenica je da se emisija  $SO_2$  i  $SO_3$  može približno ocijeniti na bazi poznatog sadržaja sumpora u gorivu a tačan bilans sumpora određuje se kod nas iz laboratorijskih podataka o sadržaju »vezanog« i »sagorivog« sumpora u uglju. Takvi podaci često daju pogrešne rezultate o emisiji sumpora, te smo eksperimentalno provjeravali bilans sumpora mjereći koncentraciju  $SO_2$  i  $SO_3$  u dimnim plinovima i paralelnim određivanjem sadržaja sumpora u uglju, šljaci i lebdećem pepelu.

Mjerenja su pokazala da se bilansi određeni na osnovu »sagorivog« sumpora znatno razlikuju od bilansa određenog mjerenjem stvarne emisije sumpora iz ložišta. Količine emitovanog sumpora, naime, bitno su veće od sadržaja »sagorivog« sumpora u gorivu. Potvrdu ovakvih rezultata našli smo u odgovarajućoj njemačkoj i američkoj literaturi (1, 2, 3).

## EKSPERIMENTALNI DIO

Ispitivanja su vršena sa mrkim ugljem »Breza«, koji sadrži prosječno 2,5 — 3,1% sumpora, na tri tipa velikih ložišta kotlova za centralno grijanje i dva tipa peći za domaćinstvo, sa varijacijama u njihovom režimu rada.

Određivanje sadržaja sumpora u dimnim plinovima vršeno je apsorpcijom jod-tiosulfatnom metodom i metodom NaOH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Posebno je razrađen način uzorkovanja modifikovanom aparaturom prema *Corbettu* (4) sa električno grijanom sondom i ugrađenim guč filtrom. Grijanje je bilo neophodno radi sprečavanja kondenzacije SO<sub>3</sub>.

Emisija SO<sub>2</sub> i SO<sub>3</sub> određivana je za cijelo vrijeme sagorijevanja uglja. Na taj način dobiveno je u prosjeku 7—10 neovisnih mjerenja kod svakog pojedinog rada ložišta.

Drugi neophodni podaci za izračunavanje bilansa sumpora; ukupni sadržaj sumpora u uglju, »vezani« sumpor u uglju, sumpor u šljaci i lebdećem pepelu, određeni su analizom po standardnim metodama (5).

## REZULTATI I DISKUSIJA

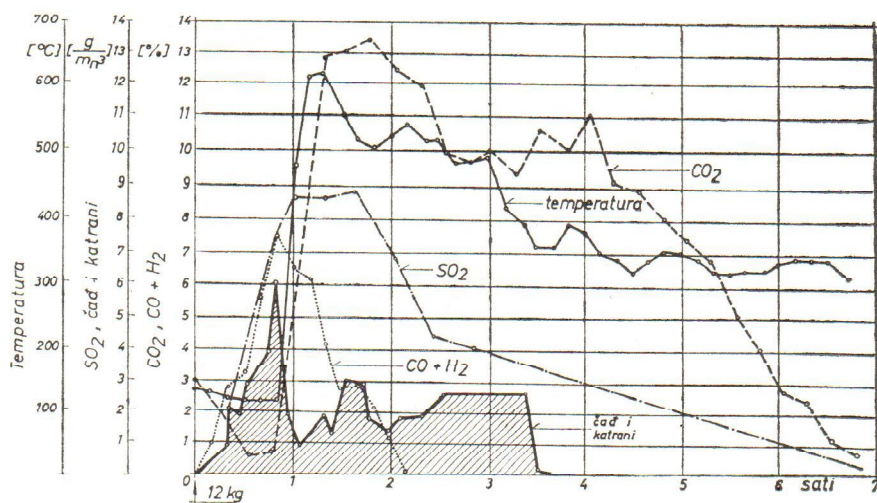
Na osnovu opisanih mjerenja izračunat je bilans sumpora izražen kao odnos sumpora u dimnim plinovima prema ukupnom sadržaju sumpora u uglju. Bilans je provjeravan zahtjevom da suma sadržaja sumpora u dimnim plinovima, šljaci i lebdećem pepelu odgovara ukupnoj količini sumpora u uglju. Kompletni podaci potrebni za izračunavanje bilansa prikazani su u tablici 1. na primjeru malog ložišta šahtne peći »Plamen«.

Tablica 1

Karakteristike mrkog uglja »Breza« i dimnih plinova kod šahtne peći »Plamen«

Režim rada ložišta	Povremeno nabacivanja goriva	Puna peć, žar ispod goriva	Puna peć, žar iznad goriva
<i>Karakteristike uglja</i>			
Gruba vlaga (%)	5—15	5—15	5—15
Fina vlaga (%)	5—6	5—6	5—6
Pepeo (%)	21—24	21—24	21—24
Isparljive materije (%)	29—32	29—32	29—32
C <sub>fix</sub> (%)	44—47	44—47	44—47
Ukupni sumpor (%)	2,7	2,8	2,7
Vezani sumpor (%)	1,4—1,9	1,4—1,9	1,4—1,9
Donja kalorična moć (kcal/kg)	3500—4000		
Temperatura žara (°C)	800—900	800—900	800—900
<i>Karakteristike dimnih plinova</i>			
Količina dimnih plinova (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /kg)	14—16	16—20	20—22
Temperatura (°C)	250—330	300—330	250—390
CO <sub>2</sub> (%)	2,6—3,0	3,0—3,8	3,0—4,0
SO <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub> kao (g SO <sub>2</sub> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	1,2—1,7	2,2—2,3	1,1—1,2
Emisija od ukupnog sumpora (%)	74—76	83—86	53—59

Tok jednog kompleksnog mjerenja stanja dimnih plinova prikazan je grafički na slici 1. na primjeru malog ložišta peći »Kreka Wesso«.



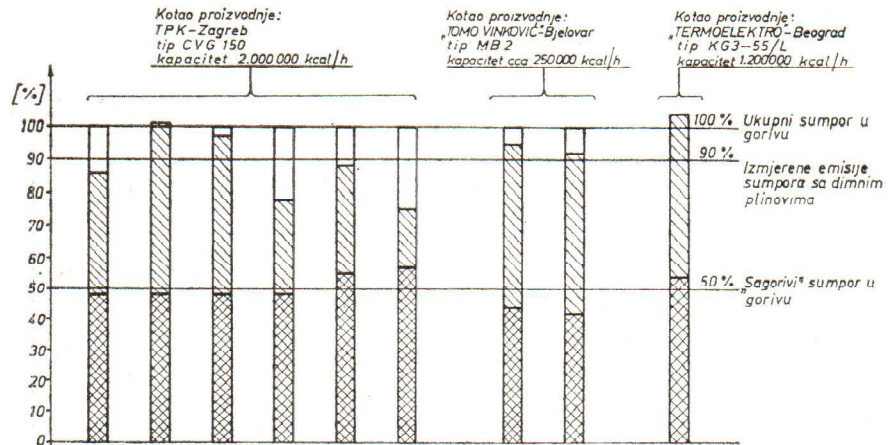
Sl. 1. Uporedni dijagram stanja dimnih plinova iz peći »Kreka — Weso« 40.12.R (ložene ugljem Breza) (način loženja — puna peć, regulator 6)

Sumarne rezultate bilansa kao uporedne dijagrame stvarne emisije sumpora iz ložišta i pretpostavljene emisije izračunate na osnovu određivanja »sagorivog« sumpora, prikazuju slike 2. i 3.

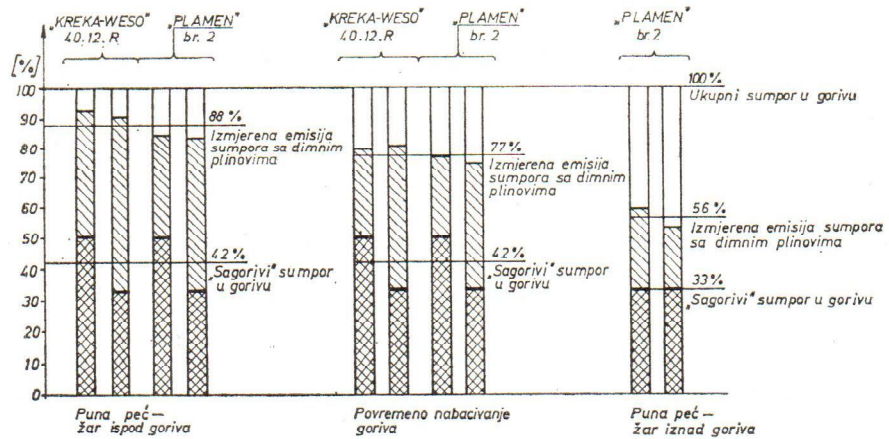
Greške bilansa kod većih ložišta bile su unutar 10% što može da zadovolji jer se radi o mjerenjima u poluindustrijskim uvjetima. Kod malih ložišta bilans je određivan greškom manjom od 4%.

Kao što se vidi iz grafičkog pregleda, postoji opšta pravilnost da je, neovisno od tipa ložišta i režima rada ložišta, emisija sumpora u dimnim plinovima znatno viša od očekivane. Tako je za očekivanu prosječnu vrijednost emisije prema sadržaju sagorivog sumpora u uglju od 50% nađeno kod velikih ložišta 90% sumpora u emisiji. Ovi rezultati mogu se kvalitativno objasniti time da se uslovi sagorijevanja u ložištima bitno razlikuju od stacionarnog laboratorijskog određivanja vezanog sumpora u ugljenu, tj. u ložištima mogu lokalno postojati tako visoke temperature kod kojih počinje razlaganje vezanog sumpora.

Ispitivanja na pećima za domaćinstvo pokazala su da osim gornjeg opšteg zaključka emisija sumpora zavisi od režima rada ložišta. Tako je niža emisija sumpora (56%) primjećena kod šahtne peći »Plamen« sa režimom rada »žar iznad goriva« kod koga je prirodan smjer dimnih plinova takav da prolaze kroz šljaku, što ukazuje na određenu adsorptivnu ulogu šljake.



Sl. 2. Rezultati bilansa sumpora u ložištima za centralno grijanje loženih mrkim ugljem Breza



Sl. 3. Rezultati bilansa sumpora u ložištima sobnih peći loženih mrkim ugljem Breza

### ZAKLJUČAK

Istraživanjem bilansa sumpora spaljivanjem mrkog uglja »Breza« na različitim ložištima ustanovljeno je da za proračun emisije nije dovoljno poznavanje samo sastava goriva. Odlučujući element kod proračuna emisije treba da budu eksperimentalni podaci o sadržaju sumpora u dimnim plinovima.

*Literatura*

1. *Stratmann, H.*: Mitt. Ver. Grosskesselbesitzer; Heft 52 (1958).
2. *Frank, B., Stahl, H.*: Mitt. Ver. Grosskesselbesitzer, Heft 81 (1962).
3. VDI — Richtlinien, 2299, Dez. 1963.
4. *Corbett, P. F.*: J. Inst. Fuel, 24 (1951) 28.
5. *Griffin, R. C.*: Technical Methods of Analysis, Mc Grow Hill Inc., New York, 1955, str. 207.

*Summary*DETERMINATION OF THE SULPHUR BALANCE IN COAL DURING  
COMBUSTION IN SMALL AND LARGE FUEL BEDS

The usual rough estimate of sulphur emission was checked experimentally on the basis of the sulphur content in coal known as »burnt sulphur«. The measurements of the content of sulphur in stack gases proved that such an estimate based on the measuring of sulphur in ash known as »bound sulphur« under laboratory conditions of burning fuel up to 800°C, can result in an error of up to 100%. The emission of sulphur from solid fuel beds used for central heating comes to 90% while the supposed emission based on »burnt sulphur« should be about 50%. The sulphur emission from domestic stoves reached 56% to 88% depending on stove design, coal burning and on operating conditions. The emissions were always greater than the expected emissions of »burnt sulphur«. The results of these measurements indicate that we cannot rely only on the information concerning »burnt sulphur« content when the design and calculation of chimney emission and height is carried out, but the experimental data on sulphur balance should also be taken into account. Such data can be more and more often found in foreign technical literature.

*Institute for Chemical Engineering  
and Clean Air Protection,  
and Institute for Chemistry,  
University of Sarajevo, Sarajevo*