

ELEKTRANE 2010
Vrnjačka Banja, 26-29. 10. 2010. god

**ISTRAŽIVANJE UZROKA OTEŽANOG RADA
PARNOG KOTLA BLOKA 300 MW TE „GACKO“**

**ANALYSES OF CAUSE FOR OPERATING
PROBLEMS OF STEAM BOILER OF 300 MW
BLOCK IN THERMAL POWER PLANT
“GACKO”**

Vinko Babić*, Zdravko N. Milovanović* Dragan Jeremić and
Svetlana Dumonjić-Milovanović*****

**Faculty of Mechanical Engineering, University in Banja Luka,
** Thermal Power Plant Gacko, ***Partner inženjering, Banja
Luka*

1. UVOD

TE „Gacko“ instalisane snage 300 MW u radu je od 1983. godine. Do sada je ostvarila 125.000 radnih časova. Kao gorivo koristi lignit iz vlastitog rudnika. Rezerve uglja su dovoljne za rad ovog bloka do kraja projektovanog vijeka trajanja, planirana je izgradnja još jednog/dva bloka.

Tab.1. Rezerve lignita PK Gračanica, Gacko

| | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| Bilansne rezerve A + B + C | <i>tona</i> | 269 958 000 |
| Vanbilansne rezerve | <i>tona</i> | 37 862 000 |
| Geološke rezerve | <i>tona</i> | 307 320 000 |
| Eksploatacione rezerve A + B + C | <i>tona</i> | 245 662 000 |



Kotao je projektovan za lignit donje toplotne moći 10.300 kJ/kg , dok je stvarna vrijednost $7.000 - 8.000 \text{ kJ/kg}$, a ponekad i manja. Sastav mineralnog dijela lignita dat je u Tab. 2. Praktična iskustva i provjera sklonosti zašljakivanju i zaprljanju grejnih površina po više kriterijuma (Altmanov dijagram, odnos bazne /kisele komponente, faktori zašljakivanja i zaprljanja, silikatni modul) su pokazali da je ovaj lignit izrazito sklon zašljakivanju i zaprljanju grejnih površina.

Tab.2. Elementarna analiza mineralnog dijela lignita „Gacko“

| SiO_2 | Fe_2O_3 | Al_2O_3 | CaO | MgO | SO_3 | P_2O_5 | TiO_2 | Na_2O | K_2O |
|---------|-----------|-----------|-------|-------|--------|----------|---------|---------|--------|
| 9,79 | 2,12 | 2,41 | 72,78 | 1,98 | 10,34 | 0,11 | 0,19 | 0,05 | 0,33 |



Pri istražnim radovima nije posvećena potrebna pažnja sastavu i karakteristikama mineralnog dijela lignita, što se pokazalo od izuzetnog značaja za eksploataciju. Ista je situacija sa sadržajem ksilita u lignitu, što će se vidjeti u narednom izlaganju, a isto tako značajno utiče na rada kotla. Prosječna donja toplotna moć „čistog uglja“ ukupnih rezervi PK „Gračanica“ sa kojeg se sada snabdjeva kotao, je 10.718 kJ/kg , dok je sadržaj pepela $12,27 \%$. Od samog početka rada prisutan je problem eksploatacije uglja sa određenim učećem jalovine. U ovom kopu su identifikovane tri vrste jalovine: žuti, sivi i glinoviti laporac. Njihov uticaj na donju toplotnu moć uglja je različit. Smanjenje donje toplotne moći pri 1% razblaženju iznosi respektivno $122, 78$ i 67 kJ/kg . Ovo se objašnjava učešćem karbonatne komponente u određenoj vrsti laporca,



Pri otkopavanju i skladištenju uglja potrebna su tehnološka rješenja i postupci koji će obezbijediti ujednačenije i kvalitetnije karakteristike uglja koji dolazi na sagorijevanje. Ujednačen kvalitet i sastav se mogu obezbijediti **istovremenom primjenom selektivnog otkopavanja i homogenizacijom uglja**. Isto tako ne treba zanemariti i **istraživanja mogućnosti oplemenjivanja rovnog uglja**. Na Sl. 1 je prikazan presjek kotla, a u Tab. 3 osnovni podaci o kotlu TE „Gacko“. Poslije početka rada termoelektrane uočen je niz problema u radu kotla, a najveći su bili što **termoelektrana nije mogla postići instalisanu snagu i vrlo brzo zašljakivanje ložišta i konvektivnog dijela kotla**. Zbog toga je izvedena rekonstrukcija kotla.



Tab.3. Osnovni podaci o kotlu TE „Gacko“

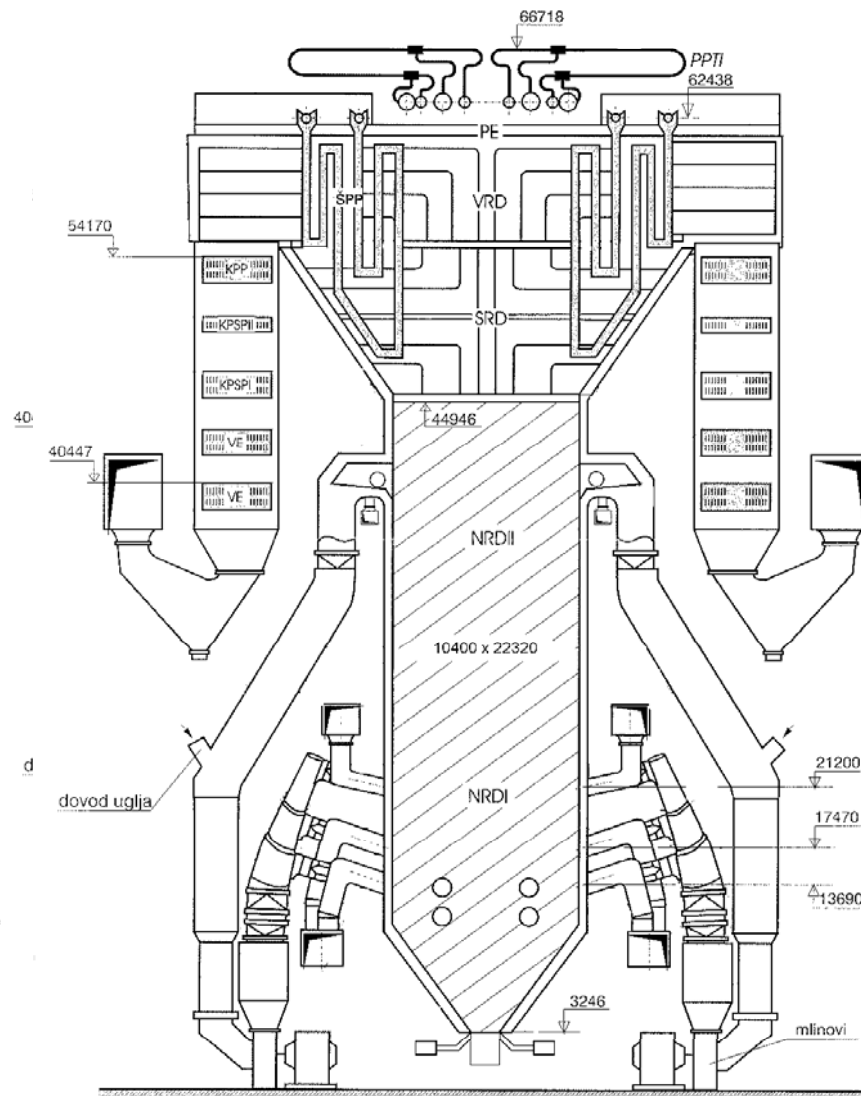
| Parametar/karakteristika | Jedinica mjere | Vrijednost |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Proizvođač | <i>ZIO Podolsk, Rusija</i> | |
| Tip | <i>P – 64</i> | |
| Produkcija svježe pare | <i>kg/s</i> | <i>275,00</i> |
| Pregrijana para | <i>MPa/C</i> | <i>25,00/545</i> |
| Produkcija međupregrijane pare | <i>kg/s</i> | <i>222,20</i> |
| Međupregrijana para | <i>MPa/C</i> | <i>3,92/545</i> |
| Temperatura napojne vode, bez/sa ZVP | <i>C</i> | <i>170/281</i> |
| Koeficijent korisnog djelovanja kotla | <i>%</i> | <i>87,50</i> |



2. REKONSTRUKCIJA I SADAŠNJE STANJE KOTLA

Poslije početka rada ostvareno je opterećenje od 220 MW i rad bez zastoja od svega 10 do 15 dana. Rekonstrukcija odšljakivača je urađena 1984. godine, zbog problema u radu i zastoja zbog njega. Poslije rekonstrukcije ovaj problem je riješen na zadovoljavajući način. Rekonstrukcija kotla je urađena u dvije faze. U prvoj fazi rekonstrukcije 1989. god. izvršena je zamjena gorionika, smanjene su konvektivne grejene površine za 30 %, a povećana je površina poluožračenog pregrijača za 100 %, rekonstruisan je kanal dimnog gasa ispred ventilatora dimnog gasa, ugrađeni su vodeni duvači, topovski i dugohodi duvači. Rezultat ove faze rekonstrukcije je povećanje snage na 240 MW i rad bez zastoja na 40 dana, dok je do ove rekonstrukcije ostvarena srednja snaga na stezaljkama generatora od 206 MW,





Sl.1. Parni kotao TE „Gacko“ 300 MW



Druga faza rekonstrukcije je urađena 2004. god. i obuhvatila je: zamjenu gorionika, klapni vrtložnika, zamjenu zagrijača vode membranskim, ugradnju sistema uduvavanja vazduha u hladni lijevak. Efekt ove faze rekonstrukcije je povećanje snage na 250 MW i rad bez zastoja na 3 mjeseca. **Aktuelna problematika sadašnjeg rada kotla je intenzivno zaprljanje ložišta i konvektivnog dijela kotla, visoka temperatura dimnog gasa na izlazu iz ložišta i iza zagrijača vazduha, često pucanje cijevi poluoizračenog pregrijača pare, abrazija uvodnica na zagrijaču vazduha pa dolazi prevelikog prisisavanja.** Sada su u planu radovi na: rješavanju razmjenjene toplote u zagrijaču vode; rekonstrukcija gorionika; kontrola i sanacija cijevnog sistema kotla, prvenstveno poluoizračenog pregrijača i konvektivnog pregrijača pare; rekonstrukcija zagrijača vazduha; poboljšanje rada sistema za obduvavanje: ložišta, poluoizračenog pregrijača pare i konvektivnog dijela kotla; kontrola i sanacija parovoda.



3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RADA KOTLA

Rad kotla karakteriše niz problema vezanih za sagorijevanje postojećeg lignita. Znatno je manja donja toplotna moć od projektovane i izrazita sklonost goriva zašljakivanju i zaprljanju grejnih površina kotla. Zašljakivanje ložišta dovodi do smanjenog prenosa toplote u ložištu i povišene temperature na izlazu iz ložišta. Povišena temperatura produkata sagorijevanja u ložištu i oblasti poluoizračenog pregrijača pare kao i konvektivnim grejnim površinama dovodi do prevelikog zaprljanja grejnih površina i smanjenog prenosa toplote, a u krajnjem slučaju i do zatrpavanja pepelom prolaza gasa. Rekonstrukcija sistema za obduvavanje grejnih površina je dala ograničen efekt, kao i promjena konstrukcije zagrijača vode. Povećanje ozračenih na račun konvektivnih grejnih površina je dala nešto bolji rezultat, ali još uvijek nezadovoljavajući. Povećan je period rada između dva zastoja, ali je to još uvijek nezadovoljavajuće.



Značajan broj zastoja kotla je zbog pucanja cijevi poluožraćenog zagrijača pare s tendencijom povećanja (i više od 20 godišnje). Materijal prvog/drugog stepena poluožraćenog pregrijača pare je čelik 12H1MF/12H18N12T. Mikrostruktura cijevi je austenitna, a austenitno zrno je sitno. Izvršeno je istraživanje uzroka pucanja cijevi poluožraćenog pregrijača. Na uzorcima puknutih cijevi ustanovljeno je prisustvo uključaka titan nitrida i karbida hroma po granicama austenitnih zrna i unutar njih. Prisustvo karbida hroma po granicama austenitnih zrna ukazuje da je došlo do degradacije strukture materijala cijevi, a što je uzrok njegovog slabljenja u pogledu termorezistentnosti. Istaloženi karbonitridi titana ukazuju na duže izlaganje cijevi visokim temperaturama (iznad 700 °C), i **na logičnu vezu velikog broja zastoja zbog pucanja cijevi poluožraćenog pregrijača pare i previsoke temperature gasa na izlazu iz ložišta kroz duži vremenski period.**



Ručno čišćenje grejnih površina ložišta dalo je dobar efekt, kao i rekonstruisano duvanje poluozračenog pregrijača pare. Snižena je temperatura gasa, na izlazu iz ložišta i u okretnoj komori, na prihvatljiv nivo. Temperatura gasa na izlazu iz kotla, usljed ostatka zaprljanja konvektivnih grejnih površina poslije čišćenja, ostalaje visoka (183 °C) i nije se mijenjala u intervalu opterećenja bloka od 230 do 265 MW. Pokazalo se da visoka efektivnost ručnog čišćenja ložišta ne rješava problem predaje toplote u konvektivnim površinama u uslovima visokog zaprljanja ovih površina. Ocjena ekonomičnosti rada kotla u eksploatacionim uslovima pokazala je sljedeće:

- ✓ Gubitak usljed nepotpunosti sagorijevanja sa letećim pepelom, pri ispitivanju, utvrđen je od 0,60-1,36 %. Gubitak usljed sagorivog u šljaci je 0,31-1,81. Pri tome je sagorivog u šljaci bilo 18,62-73,45 %, a poslije uključivanja nove četiri mlaznice donjeg duvanja procenat sagorivog je ograničen ispod 18%.
- ✓ Ukupan gubitak usljed mehaničke nepotpunosti sagorijevanja iznsio 1,56-2,89 što je u granicama projektovanog.
- ✓ Gubitak sa izlaznim gasovima je utvrđen od 11,15-11,69 %, što je za 0,50-1,00 % veće nego ranije. Uzrok je povećano prisisavanje vazduha u gasni trakt.
- ✓ Stepenn korisnog djelovanja kotla je ustanovljen od 85,12-86,87%.



4. ISPITIVANJE PRIPREME UGLJENOG PRAHA I RADA KOTLA

Poslije druge faze rekonstrukcije, srednje mjesečno opterećenje bloka je iznosilo 228 - 256 MW, a dnevno od min. 220 MW do max. 273 MW. Iz ovog podatka se može izvući zaključak da je efektivnost izvedene modernizacije/rekonstrukcije nešto manja, pa se postavilo pitanje ustanovljavanja uzroka. Ustvari, treba:

- ✓ **odrediti osnovne faktore koji ograničavaju maksimalno opterećenje kotla i**
- ✓ **puteve rješavanja ovog problema.**

Kako su prisutne određene protivrječnosti u režimu rada kotla pri promjeni kvaliteta goriva, a uzimajući u obzir ranija ispitivanja, nametnula se potreba da se pristupi ispitivanju pripreme ugljenog praha i rada kotla poslije izvršenog remonta kotla i ručnog čišćenja ekrana ložišta.



Ispitivanjima u nekoliko navrata, kroz duži vremenski period, se pokazalo **da ocjena kvaliteta goriva, samo na bazi donje toplotne moći, sadržaja vlage i pepela, nije adekvatna za ocjenu opterećenja kotla/bloka.**

Cilj ovog ispitivanja je da se izuči raspodjela ugljenog praha po etažama i presjeku gorionika. Izabrana su četiri postrojenja za pripremu ugljenog praha (od ukupno postojećih osam), pogonski broj M1, M2, M5 i M6. Prije početka ispitivanja podešen je vrtložnik raspodjele praha na 35 .

Rezultati sitovne analize obrađeni su podrazumijevajući da granulometrijska karakteristika podliježe Rosin-Ramler-Sperling jednačini:



$$R_x = 100e^{-bx^n}$$

gdje je:

x - dimenzija čestice ugljenog praha,

b - konstanta finoće mljevenja i

n - konstanta strukture mliva (koeficijent polidisperznosti).

Rezultati su prikazani grafički na Sl. 2, a u Tab. 5 su date prosječne vrijednosti ostatka na pojedinim gorionicima radi poređenja. Dobivena raspodjela ugljenog praha po etažama gorionika je data u Tab. 4. Udio praha po etažama na gorionicima br. 1, 5 i 6 se kreće u granicama: prva etaža 31,50 – 41,40 %, druga etaža 31,70 – 37,30 % i treća etaža 23,40 – 31,30 %, dok su srednje vrijednosti: 37,00; 35,60 i 27,30 %.



Tab. 4. Raspodjela ugljenog praha po etažama gorionika

| Etaža | M 1 | M 2 | M 5 | M 6 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1. | 0,315 | 0,315 | 0,376 | 0,414 |
| 2. | 0,373 | 0,279 | 0,367 | 0,317 |
| 3. | 0,311 | 0,406 | 0,257 | 0,269 |
| Σ | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |



Tab.5. Rezultati ispitivanja sistema za pripremu ugljenog praha

| Karakteristika (parametar) | | M6 | M5 | M1 | M2 |
|---|------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Srednja vrijednost | R_{90} | 33,08 | 36,81 | 39,77 | 44,83 |
| | R_{200} | 11,96 | 14,32 | 15,73 | 18,55 |
| | R_{4000} | 0,39 | 1,03 | 1,01 | 1,51 |
| Protok aerosmješe, m^3/h | | 132 515 | 162 218 | 199 215 | 188 096 |
| Brzina aerosmješe u kanalu po etažama I/II/III, m/s | | 21,9/13,8/6,7 | 21,0/17,4/13,2 | 24,5/16,7/21,6 | 19,1/23,4/17,2 |
| Temperatura aerosmješe, C | | 112 | 156 | 153 | 167 |
| Količina goriva, t/h | | 42 | 49 | 50 | 50 |

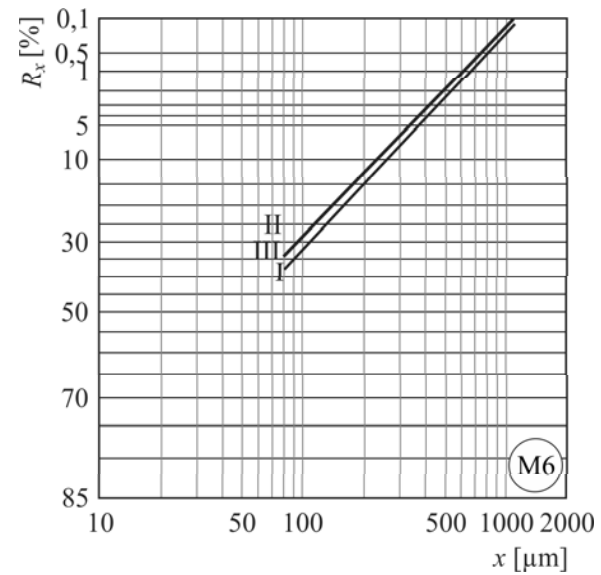
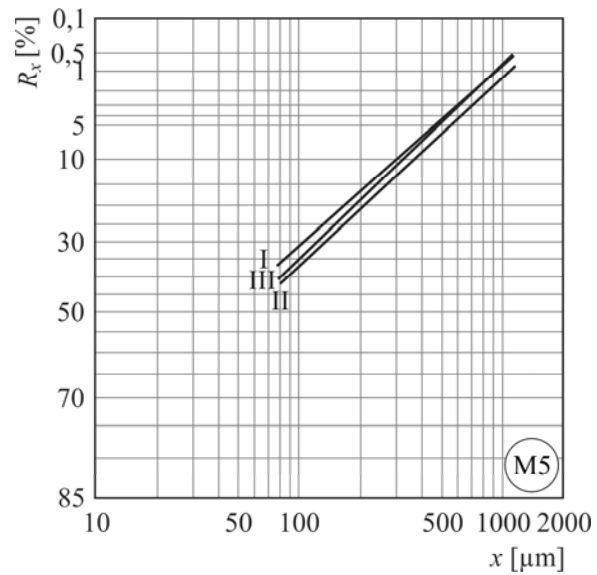
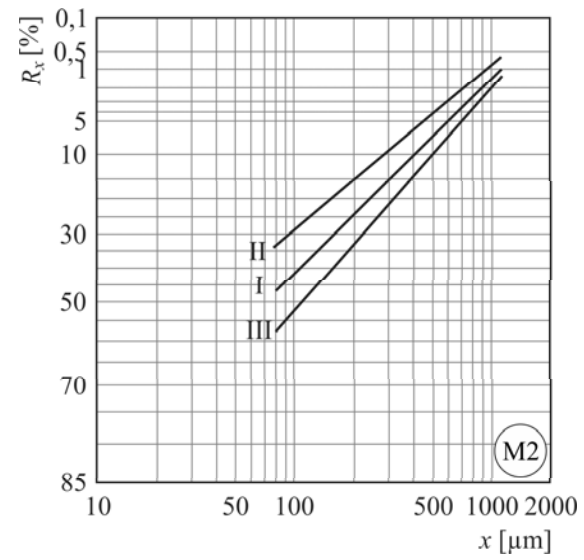
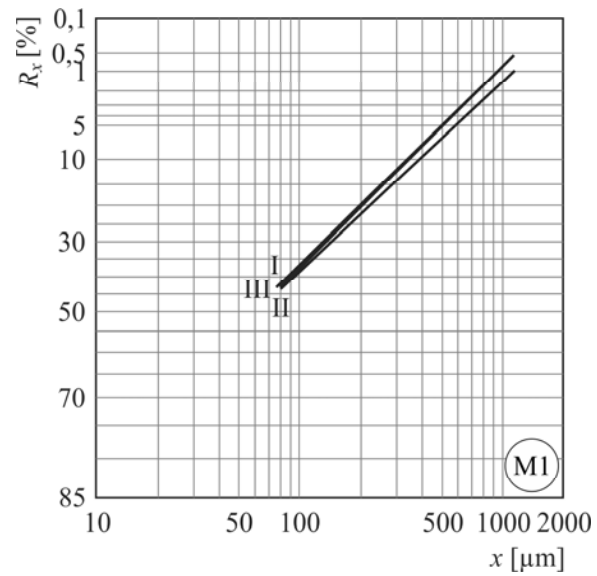


Međutim, raspodjela praha po etažama kod M2 se mora razmatrati posebno, zbog toga što rezultati izgledaju na prvi pogled nezadovoljavajući: prva etaža 31,50 %, druga etaža 27,90 % i treća etaža 40,60 %. Objašnjenje da je u pitanju greška mjerenja je isključena. **Međutim, postoji logična fizika procesa raspodjele praha u slučaju periodičnog dotura goriva s različitim sadržajem ksilita.** U tom cilju neophodno je razmotriti rezultate sitovne analize ugljenog praha po etažama gorionika date u Tab. 5. Vidi se da finoća mljevenja pri ispitivanju mlina br. 2 po etažama gorionika se kreće u mnogo širim granicama nego kod ostalih ispitivanih mlinova. Veličina praha je maksimalna na trećoj etaži $R_{90} = 55\%$ $R_{200} = 23,50\%$ $R_{1000} = 2\%$

u poređenju sa srednjom finoćom mljevenja $R_{90} = 44,83\%$ $R_{200} = 18,55\%$
 $R_{1000} = 1,51\%$

Sa Sl. 2. za M2 se vidi da je meljava na etaži III grublja od meljave na ostale dvije etaže, a mlivo je manje disperznosti (veći nagib karakteristike). Ovo samo potvrđuje prethodni zaključak.





Sl. 2. Granulometrijska karakteristika ugljenog praha po etažama



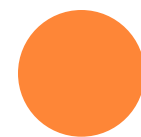
Iz granulometrijskih karakteristika ugljenog praha po etažama gorionika M1, M5 i M6, prikazanih na Sl. 2, vidi se da je meljava po etažama gorionika ujednačenog kvaliteta. Iz nagiba karakteristika vidljivo je da je $n < 1$, osim treće etaže M2, pa ugljeni prah sadrži dosta sitnih frakcija, to jest, premleven je.

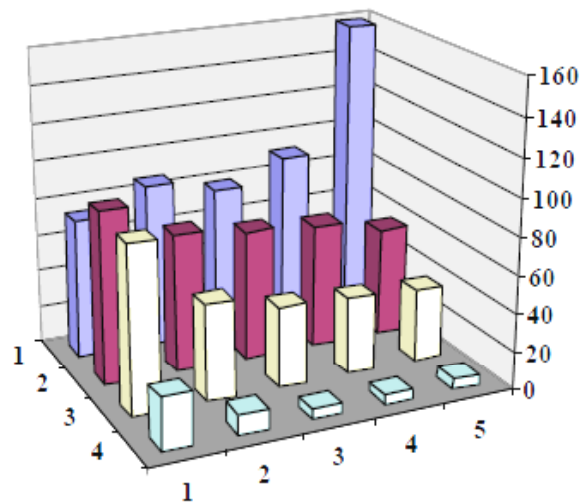
Navedene činjenice potvrđuju da su, u ovom režimu, u gorivu prisutne krupne čestice male mase, kao posljedica povišenog sadržaja ksilita. **Povećanje sadržaja ksilita u gorivu dovodi do neracionalne raspodjele praha po etažama gorionika** (s prvenstvenim izbacivanjem goriva u gornju etažu) i **porasta temperature gasa u okretnoj komori**. Upravo takav režim je bio na kotlu za vrijeme ispitivanja mlina br. 2.



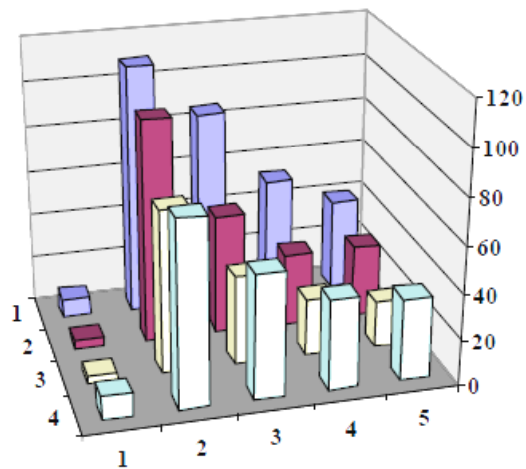
Raspodjela praha po presjeku kanala prve, druge i treće etaže gorionika br. 6 prikazana je na Sl. 3. Osim treće etaže, na kojoj možemo biti zadovoljni sa raspodjelom ugljenog praha, na prvoj i drugoj etaži raspodjela praha je nezadovoljavajuća. U gornjoj polovini kanala dolazi 2 do 4 puta više praha nego donjoj. Takva raspodjela praha po presjeku gorionika, u nekoj mjeri pomaže preklapanje procesa sagorijevanja po visini ložišta, međutim nije faktor koji definiše rad ložišta.

Ispitivanja sistema za pripremu ugljenog praha, osim za mlin br. 6, pokazala su da imaju dovoljnu ventilaciju za obezbjeđenje kapaciteta mlinova od 47 – 51 *t/h* i određenu rezervu. Na mlinu br. 6 opterećenje u granicama 40 – 42 *t/h* se pokazalo kao granično, zbog veoma niske ventilacije 132.000 *m³/h*. Najlogičnije objašnjenje ove situacije je prevelika parazitna recirkulacija sušućeg agensa u mlinu, što se može riješiti malim ulaganjima u godišnjem remontu.

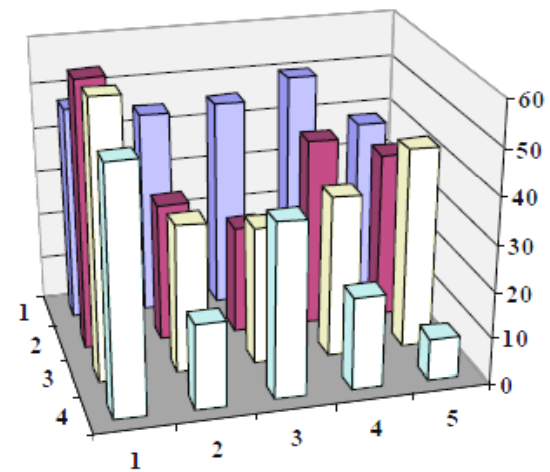




1. etaža



2. etaža



3. etaža

Sl. 3. Raspodjela ugljenog praha po presjeku kanala gorionika br.6.



Na taj način, osnovni problem u organizaciji ložišnog procesa sastoji se u tome, da usljed različitih sadržaja ksilita u gorivu proizlazi **raspodjela ugljenog praha po etažama gorionika, od normalne (s pretežnim izbacivanjem praha u donje etaže) do suprotne (prvenstveno izbacivanje praha u gornje etaže, naročito u treću etažu).**

Ako bi se obezbijedilo da gorivo ima približno isti sadržaj ksilita kroz duže vrijeme, onda bi se i rad kotla mogao prilagoditi postojećem gorivu.



5. ZAKLJUČAK

- ✓ Uvažavajući preostali radni vijek kotla i činjenicu da postoje dovoljne zalihe lignita nameće se stav da je neophodno kotao dovesti u tehničko stanje da može garantovati normalan rad u preostalom radnom vijeku. U tom cilju je potrebno ustanoviti stanje cijevnog sistema kotla i izvršiti potrebnu sanaciju, a po potrebi i zamjenu, kao i rekonstruisati zagrijač vazduha.
- ✓ Na bazi dosadašnjih iskustava treba izvršiti modernizaciju (rekonstrukciju/zamjenu) duvača u cijelom kotlu. U ovu svrhu treba konsultovati eksperte za ovu oblast. Pogotovo iz sredina gdje se pojavljuju slični problemi, a koji nisu do sada angažovani, uključujući i eksperte proizvođača ove opreme.
- ✓ U cilju poštovanja normi za zaštitu okoline potrebno je izvršiti rekonstrukciju/zamjenu gorionika ugljenog praha. I kod ove zamjene je potrebno angažovati kvalifikovane konsultante.



- ✓ **Uraditi sveobuhvatnu studiju obezbjeđenja ujednačenog kvaliteta i sastava uglja koji dolazi u ložište.** Pri tome posebno obratiti pažnju na: **donju toplotnu moć, sadržaj vlage i pepela, karakteristike pepela i ksilit.** Rudarske radove organizovati tako da se u najvećoj mjeri izbjegne miješanje jalovine sa ugljom. Kako se prelazi na novi kop „Polje C“, po potrebi izvršiti i dodatne istražne radove u cilju omogućavanja obezbjeđenja ujednačenog kvaliteta i sastava uglja.
- ✓ **Posebno organizovati istraživanje mogućnosti oplemenjivanja rovnog uglja, uvažavajući karakteristike postojećeg kotla i potrebe razvoja.**



HVALA NA PAŽNJI !

