

# REŽIMI RADA KOTLOVA PRIKLJUČENIH NA SISTEM CENTRALNOG GREJANJA GRADA KRAGUJEVCA

Nebojša Lukić\*

## IZVOD

*U Kragujevcu je na sistem centralnog grejanja priključeno preko 14000 potrošača. Za obezbeđivanje potrebne toplotne energije za grejanje grada na raspolaganju je približno 400 MW toplotne snage, instaliranih kotlova, različitih konstrukcija, kapaciteta i pogonskog goriva (gas, mazut, ugalj). U okviru Nacionalnog programa energetske efikasnosti, radom na projektu NPEE403-109A, u toku grejne sezone 2002/2003., korišćenjem savremenog, kompjuterizovanog analizatora produkata sagorevanja, izvršeno je snimanje radnih režima dvanaest najvećih kotlova, priključenih na sistem centralnog grejanja u Kragujevcu. Merena je emisija CO, SO<sub>2</sub>, sadržaj O<sub>2</sub>, izračunavan sadržaj CO<sub>2</sub>, koeficijent viška vazduha, efikasnost kotlova i gubici na energiji dimnih gasova. Došlo se do veoma interesantnih rezultata, koji otvaraju mogućnosti za velike uštede energije samom promenom režima sagorevanja. Ovaj rad prezentuje te rezultate.*

**KLJUČNE REČI:** REŽIMI RADA KOTLOVA, MERENJA EMISIJE PRODUKATA SAGOREVANJA, ANALIZA PROCESA SAGOREVANJA

## 1 UVOD

Niz otežavajućih okolnosti opterećuje rad energane sistema centralnog grejanja u gradu Kragujevcu. Ukupno 303 MW raspoložive toplotne snage predstavljaju kotlovi na ugalj, starosti od 18 do 35 godina, što znatno snižava efikasnost proizvodnje toplotne energije, otežava kontrolu procesa sagorevanja, stvara veliki

problem zagađenja životne sredine, naročito što se tiče emisije praškastih materija. Kotlovi su parni sa radnim parametrima 38 bar i 450°C, tako da je za potrebe grejanja grada potrebno izvršiti transformaciju grejnog fluida (pregrejana para-vrela voda), što stvara enormne eksergetske gubitke.

Proteklih godina ali i u sadašnjem vremenu, sa razlikih stručnih i manje stručnih pozicija se isticalo da je grad Kragujevac u prednosti zbog ovakvog načina grejanja, odnosno zbog okrenutosti uglju kao energentu. Ovakva tvrdnja se pravda pre svega nestabilnom isporukom gasa koja stvara probleme u funkcionisanju velikih sistema centralnog grejanja, kakvi su u Beograd i Novi Sad. Autor ovog rada ne deli ovakvo mišljenje jer postoji mnogo činjenica koje ne idu u prilog navedenim tvrdnjama.

U cilju sagledavanja postojećeg stanja, a u okviru projekta NPEE403-109A, Program uvođenja i praćenja efekata primene merača količine toplote u sistemu centralnog grejanja u Kragujevcu, finansiranog od strane Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoje, Republike Srbije, izvršena su planirana ispitivanja. Obuhvaćeno je dvanaest kotlova, priključenih na sistem centralnog grejanja grada Kragujevca, na tri lokacije: matičnoj, KBC i Erdoglija.

\* Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

Merenja su realizovana korišćenjem sofisticiranog analizatora produkata sagorevanja, tokom decembra, januara i februara grejne sezone 2002/2003., a snimljeni su ustaljeni radni režimi pomenutih kotlova, [1].

## 2 RADNI REŽIMI KOTLOVA NA MATIČNOJ LOKACIJI ENERGANJE

### 2.1 Karakteristike instaliranih kotlova

Na matičnoj lokaciji energane zadužene izmeđuostalog za funkcionisanje sistema centralnog grejanja u Kragujevcu se nalazi pet kotlovskih postrojenja čije su osnovne karakteristike date u tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Osnovne karakteristike kotlova smeštenih na matičnoj lokaciji energane

Oznaka i vrsta kotla	Nominalna snaga kotla (MW)	Gorivo	Gorivo za startovanje kotla	Starost kotla (god.)
K1 – parni	31,65	gas		35
K2 – parni	31,65	gas		35
K3 – parni	63,3	ugalj	mazut	28
K4 – parni	61,5	ugalj	mazut	23
K5 – parni	115,18	ugalj	mazut	18

Kotlovi K1 i K2 su do rekonstrukcije bili kotlovi na ugalj sa zastarelim rešetkastim ložištem i krupnom granulacijom uglja koji je sagorevao. Sa potrebnim prepravkama uz dodatak gasnih gorionika, oni sada rade na gas. Kotlovi rade sa potpritiskom u ložištu, sa dva ventilatora, jednog za sveži vazduh (mogućnost regulacije klapnama) i drugog za dimne gasove (bez mogućnosti regulacije) postavljenog ispred dimnjaka.

Kotlovi K3 i K4 su kotlovi na ugalj (raspon korišćenih ugljeva od 7000 do 16000 kJ/kg, donje toplotne moći), sa sagorevanjem u sloju, bakljastim ložištem (četiri gorionika), potpaljivanjem mazutom, sa ventilatorskim mlinovima (promena režima frekventnim regulatorima), koji melju i suše ugalj i zajedno sa vazduhom ga šalju u ložište. Kotlovi rade sa potpritiskom sa ventilatorom dimnih gasova postavljenim iza sistema elektrofiltra. Kotlovi K3 i K4 su najkorišćeniji kotlovi na matičnoj lokaciji.

Kotao K5 relativno novije konstrukcije sa ciklonskim ložištem (potpritisak) i propisanim kvalitetom goriva od 15400 (granični vrednost) do 17300 kJ/kg (garantovani kapacitet kotla). Zbog nedostatka kvalitetnih ugljeva na našem

tržištu, poslednjih godina ovaj kotao je bio retko u pogonu.

Svi opisani kotlovi su klasični parni kotlovi koji pored ostalog poseduju napojni rezervoar, ekransko ložište, dva pregrejača pare, ekonomajzer i zagrejač vazduha (LUVO paket). Više informacija o ovim kotlovima se može naći u [2].

### 2.2 Rezultati merenja

Merna mesta sa kojih su uzimani podaci o režimima rada ovih kotlova složenih konstrukcija, su se nalazila neposredno iza LUVO paketa (prostor šljakare). Kako iza zagrejača vazduha ne postoji dalje iskorišćavanje energije dimnih gasova, odabrana mesta su dala realne podatke o gubicima ispitivanih kotlova. Merena je emisija dimnih gasova za više radnih režima kotlova, a dobijeni rezultati su dati u tabeli 2.2.

U istoj tabeli veličina  $T_{ps}(^{\circ}C)$  predstavlja temperaturu produkata sagorevanja,  $\lambda(-)$  koeficijent viška vazduha,  $g_{ps}(\%)$  gubitke na energiji dimnih gasova. Ostale oznake predstavljaju sadržaj pojedinih gasova u produktima sagorevanja ( u % ili  $mg/m^3$ ).

Tabela 2.2 Radni režimi kotlova na matičnoj lokaciji energane

Oznaka kotla i gorivo	Toplotna snaga (MW)	Opterećenje (%)	T <sub>ps</sub> (°C)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	λ(-)	g <sub>ps</sub> (%)
K1 (gas)	31,65	60							
		80							
		100	96	16,1	2,7	0	0	4,31	12,5
K2 (gas)	31,65	60							
		80							
		100	104	15,0	3,3	0	0	3,52	11,2
K3 (ugalj)	63,3	60							
		80							
		100	168	14,9	4,38	3514	666	3,47	21,0
K4 (ugalj)	61,5	60							
		80							
		100	166	14,5	4,65	176	603	3,27	19,5
K5 (ugalj)	115,18	50	123	15,7	4,12	0	1533	3,98	15,4
		60	(115)	11,5	7,42	0	2786	2,21	(8,9)
		100							

### 2.2.1 Kotao K1

Izmereni koeficijent viška vazduha pri punom opterećenju ovog kotla je enormno veliki i praktično K1 radi sa četiri puta većim protokom vazduha nego što je to uobičajeno za sagorevanje gasa ( $\lambda=1,05$ ). Korišćeni uređaj je koeficijent viška vazduha izračunavao po formuli  $\lambda=21\%/(21\%-O_2)$ , gde je  $O_2$  (%) zapreminski sadržaj kiseonika u dimnim gasovima, što predstavlja prilično pouzdan način određivanja  $\lambda$ , [3]. Bez obzira na relativno nisku temperaturu dimnih gasova 96°C, ovako veliki protok vazduha sa sobom nosi veliku neiskorišćenu toplotnu energiju, tako da gubici ovog kotla usled energije produkata sagorevanja iznose 12,5%. Pomenuti gubici su računati prema nemačkoj standardizovanoj formuli (BimSchV\*) iz 1988., [4], za sagorevanje prirodnog gasa:  $g_{ps}=(t_{ps}-t_o)(B+A2/(20,9-O_2))$ , gde su B (za gas 0,009) i A2 (za gas 0,66) koeficijenti,  $t_{ps}$  (°C) temperatura dimnih gasova, a  $t_o$  (°C) temperatura okoline. Izmereni gubici su približno duplo veći od uobičajenih. Ovakvim neodgovarajućim režimom sagorevanja u kotlu 1 gubi se oko 2 MW toplotne snage na preveliku entalpiju dimnih gasova. Što se tiče vrednosti izlazne temperature

dimnih gasova u odnosu na višak vazduha  $\lambda=4,31$ , može se reći da K1 ima više nego dovoljnu zagrevnu površinu da maksimalno iskoristi oslobođenu energiju goriva, pri svom punom opterećenju. Drugim rečima, postoje rezerve za povećanje kapaciteta kotla uz propisanu efikasnost. Za dalju efikasnu eksploataciju ovog kotla potrebno je značajno smanjiti koeficijent  $\lambda$ , do propisanih vrednosti od 1,05-1,1. Nedostatak kvalitetne regulacije ventilatora svežeg vazduha i dimnih gasova (nedostataka frekventnih regulatora), potpitisak u ložištu, kao i veliko i nekontrolisano curenje vazduha na staroj konstrukciji kotla, predstavljaju ozbiljne probleme u nastojanjima da se dostigne optimalni režim sagorevanja.

### 2.2.2 Kotao K2

Sve što je rečeno za kotao 1, može se ponoviti i za kotao 2, uz određenu razliku u izmerenoj temperaturi dimnih gasova. S obzirom na nešto manji koeficijent  $\lambda$  (3,52) ukoliko se radi o istoj potrošnji goriva u odnosu na K1, postoje razlike u aktivnim površinama razmene toplote. Da se radi o identičnim konstrukcijama (što jeste slučaj, barem na papiru), za istu

potrošnju goriva (opterećenja K1 i K2 su bila identična) i za smanjeni koeficijent  $\lambda$  kod K2 bi se dobila niža temperatura dimnih gasova, što nije bio slučaj u realizovanim merenjima. Kod starih konstrukcija kotlova treba uvek računati i sa izmenjenom putanjom dimnih gasova usled oštećenja u radijacionoj i konvektivnoj zoni kotla. U svakom slučaju i ovde postoji neopravdani gubitak toplotne energije od oko 2 MW.

### **2.2.3 Kotao K3**

Problem radnog režima kod kotlova na ugalj 3, 4 i 5 je znatno složeniji jer je kontrola procesa sagorevanja otežana, kvalitet goriva je promenljiv (naročito u postojećim uslovima), a toplotna snaga kotlova veoma velika. Tokom sprovedenih merenja u kotlovima K3 i K4 je korišćen ugalj Miljevina, niske donje toplotne moći od oko 11000 kJ/kg, velike vlažnosti i sadržaja pepela (laboratorijske analize u energani). Izmereni koeficijent viška vazduha je jako veliki 3,47, više nego duplo veći od propisanog za kotlove sa sagorevanjem u letu (1,4-1,6). Izmereni gubici  $g_{ps}$  (21%) su duplo veći od očekivanih i optimalnih. To znači da se nepotrebno gubi oko 6 MW toplotne snage u ovom kotlu. Kako u datoteci korišćenog mernog uređaja, ne postoje podaci za korišćeni ugalj (već samo za daleko kvalitetnije ugljeve), gubici usled entalpije dimnih gasova su izračunavani kao  $g_{ps} = (t_{tts} - t_{ps}) / (t_{tts} - t_o)$ , gde je  $t_{tts}$  (°C) teorijska temperatura sagorevanja. Za procenjeni sastav uglja Miljevina ( $w=0,28$  ;  $a=0,23$  ;  $c=0,306$  ;  $h=0,026$  ;  $o=0,128$  ;  $s=0,019$ ) i za izmereni koeficijent  $\lambda=3,47$ , dobijena je teorijska temperatura u ložištu kotla od 820°C. Ova temperatura odgovara izmerenim vrednostima u ložištu i na žalost predstavlja donju granicu funkcionisanja kotla. Sa druge strane očigledno da postoje konstantno prisutni problemi sa kvalitetom sagorevanja uglja, jer se tokom merenja i pored velikog prisustva kiseonika u dimnim gasovima pojavila veoma visoka koncentracija

ugljenmonoksida, četrnaest puta veća od zakonom dozvoljene (Pravilnik, Službeni glasnik Republike Srbije broj 30/97). Sve to govori o višestrukim problemima, nedovoljnom sušenju uglja u mlinovima, lepljenju nesagorelih čestica i nepotpunom sagorevanju. Zanimljiva je činjenica da pri smanjenju količine svežeg vazduha dolazi do gašenja plamena u ložištu, a ne kako bi to teorija očekivala do rasta temperature sagorevanja. Radi se o iskustvu zaduženih za funkcionisanje kotla. Pored činjenice da ne postoji mogućnost regulacije rada ventilatora dimnih gasova, velikog curenja vazduha na oplati kotla, optimizaciju procesa sagorevanja u ovom kotlu dakle, otežava i problematični kvalitet goriva odnosno njegova priprema (sušenje). Ovde treba računati na deo svežeg vazduha koji curi iza ložišta tako da je realni višak vazduha u njemu niži od izmerenog. Očigledno da je ovde zadatak poboljšanja procesa sagorevanja vrlo kompleksan i da verovatno treba početi od obezbeđivanja kvalitetnog goriva stabilnog sastava. Količina sumpora u dimnim gasovima je direktno vezana za sastav goriva i u slučaju uglja Miljevina za propisani koeficijent  $\lambda$  od 1,4-1,6 bi bila negde na granici dozvoljenog (1450 mg/m<sup>3</sup>). U zatečenom stanju emisija SO<sub>2</sub> je prihvatljiva. Mada, kada se sprovede proračun prema poznatom opterećenju kotla i izmerenom koeficijentu viška vazduha, a za procenjeni sadržaj sumpora u gorivu od 1,9%, proračunom se dobija vrednost od oko 3510 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja, što ne odgovara izmerenim vrednostima emisije. Očigledno da u korišćenom uglju ima znatno manje sumpora od pretpostavljenih 1,9%.

### **2.2.4 Kotao K4**

Kotao 4 je po konstrukciji identičan sa K3, a najčešće i po korišćenom gorivu, što je bio slučaj tokom sprovedenih merenja (ugalj Miljevina). Izmeren je sličan veoma visok koeficijent  $\lambda$  (3,27) i po istom postupku kao i za kotao 3, izračunati su gubici  $g_{ps}=19,5\%$ . Dakle i u slučaju K4

neopravdani gubitak toplotne snage iznosi oko 6 MW. Za razliku od prethodnog kotla u kotlu 4 udeo CO u dimnim gasovima je znatno manji. Mogućnosti optimizacije procesa sagorevanja su slične kao i za K3. Kako se radi o identičnom gorivu i skori identičnom višku vazduha i udeo SO<sub>2</sub> u dimnim gasovima je približan prethodnom slučaju.

### **2.2.5 Kotao K5**

Kotao broj 5 je najnoviji, najveći i najsavremeniji kotao na matičnoj lokaciji ali kotao koji je predviđen i konstruisan za kvalitetne vrste ugljeva. Iz pomenutog razloga kotao 5 retko radi pod punim opterećenjem jer je raspoloživog kvalitetnog uglja (Banovići, donja toplotna moć 16000 kJ/kg) malo, pa se troše i velike količine mazuta da ne bi došlo do gašenja plamena. Produkti sagorevanja ovog kotla su mereni pri opterećenju od 50%. Drugo, navedeno merenje pri opterećenju od 60% treba uzeti uslovno jer se radi o prelaznom režimu kotla (smanjenje opterećenja) i neodgovarajućem mestu uzimanja uzoraka. Pomenuto mesto se nalazilo iza ventilatora dimnih gasova pa izmerena temperatura istih je bila umanjena hlađenjem dimnih gasova u elektrofiltru i dimnim kanalima. Kao i u prethodnim slučajevima radilo se o veoma velikom koeficijentu viška vazduha i uvećanim gubicima  $g_{ps}=15,4\%$ , doduše nižim nego u prethodnim slučajevima. Za procenjeni sastav uglja Banovići ( $w=0,194$  ;  $a=0,21$  ;

$c=0,421$  ;  $h=0,035$  ;  $o=0,1185$  ;  $s=0,014$ ) i za izmereni koeficijent  $\lambda=3,98$ , dobijena je teorijska temperatura u ložištu kotla od 800°C. Izostanak prisustva CO u dimnim gasovima govori o kvalitetnoj pripremi goriva i sagorevanju ali sadržaj SO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja govori o potrošnji goriva (uglja i mazuta) sa visokim sadržajem sumpora jer i pri 50% opterećenja i  $\lambda=3,98$  izmeren je sadržaj sumpora na granici dozvoljenog. Kada se sprovede proračun prema poznatom opterećenju kotla i izmerenom koeficijentu viška vazduha, a za procenjeni sadržaj sumpora u gorivu od 1,4%, proračunom se dobija vrednost od oko 1590 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja, što se u potpunosti poklapa sa izmerenim vrednostima emisije. U optimalnom režimu rada kotla ovaj sadržaj bi bio daleko iznad pravilnikom dozvoljenog što bi stvaralo dodatne probleme. Nedostatak kvalitetne regulacije rada ventilatora i kvalitetnog goriva, znatno otežava mogućnost optimizacije sagorevanja u kotlu.

## **3 RADNI REŽIMI KOTLOVA NA LOKACIJI KBC**

### ***3.1 Karakteristike instaliranih kotlova***

Ova toplana se nalazi na lokaciji Kliničko-bolničkog centra grada Kragujevca i sastoji se od pet kotlovskih postrojenja čije su osnovne karakteristike date u tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Osnovne karakteristike kotlova smeštenih na lokaciji KBC

Oznaka i vrsta kotla	Nominalna snaga kotla (MW)	Gorivo	Radni fluid	Starost kotla (god.)
K1b	6,6	gas	vrela voda	19
K2b	6,6	gas	vrela voda	20
K3b	7,3	gas	vrela voda	20
K4b	2,6	gas	vodena para	27
K5b	7,0	gas	vrela voda	17

Ova toplana je namenjena za grejanje gradskog naselja Aerodrom i njen ukupni kapacitet je 27,5 MW + 2,6 MW (kotao K4b se koristi za podmirenje potreba za vodenom parom KBC-a). Radi se o klasičnim vrelovodnim kotlovima (izuzev K4b) nekada sa gorionicima na mazut, a sada sa novim gasnim gorionicima. Sagorevanjem gasa mogu da se postignu najviši stepeni korisnosti kotla (znatno iznad 90%), a produkti sagorevanja su

opterećeni samo sa azotnim oksidima. Jasno, sve pod uslovom da kotlovi rade u optimalnom režimu.

### 3.2 Rezultati merenja

U tabeli 3.2 su dati rezultati merenja emisije dimnih gasova u kotlarnici KBC, na svih pet kotlova.

Tabela 3.2 Radni režimi kotlova u kotlarnici KBC

Oznaka kotla i gorivo	Toplotna snaga (MW)	Opterećenje (%)	T <sub>ps</sub> (°C)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	λ(-)	g <sub>ps</sub> (%)
K1b (gas)	6,6	60	200	4,1	9,4	0	0	1,24	9,1
		80							
		100	212	2,4	10,4	0	0	1,13	8,8
K2b (gas)	6,6	60	140	5,1	8,9	0	0	1,33	6,6
		80							
		100	174	2,7	10,2	0	0	1,15	7,3
K3b (gas)	7,3	60	189	0,0	11,7	5000max	1127	<1	-
		80							
		100	192	0,0	11,7	5000max	1336	<1	-
K4b (gas)	2,6	60	221	8,9	6,8	0	0	1,74	13,2
		80							
		100	254	2,4	10,4	0	0	1,13	10,7
K5b (mazut)	7,0	50	246	2,2	14,2	6	3564	1,12	10,5
		80							
		100							

#### 3.2.1 Kotao K1b

Izmereni koeficijent viška vazduha  $\lambda=1,13$ , pri punom opterećenju ovog kotla je nešto veći od optimalanog, nema prisustva CO i SO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja ali su gubici kotla usled energije dimnih gasova veći  $g_{ps}=8,8\%$  u odnosu na optimalne (oko 6%). Pomenuti gubici su računati kako je to objašnjeno u odeljku 2.2.1 (računati u samom mernom uređaju). Razloge za nešto uvećane gubitke treba tražiti u neodgovarajućoj grejnoj površini kotla za dato opterećenje ili što je verovatnije o starom cevnom sistemu kotla koji na oštećenim mestima skraćuje put dimnih gasova kroz kotao i time povišava temperaturu izlaznih produkata sagorevanja. Ovakvim

odgovarajućim režimom sagorevanja u kotlu ali neodgovarajućim kotlom gubi se dodatno oko 200 kW toplotne snage. Pri opterećenju kotla od 60% višak vazduha, kao i gubici su neznatno viši u poređenju sa punim opterećenjem kotla. Mogućnost kontrole protoka vazduha na kotlu je zastarela, neodgovarajuća (prigušivanje klapnom).

#### 3.2.2 Kotao K2b

Kotao K2 u kotlarnici KBC, je identičan kotlu K1 u pogledu konstrukcije, korišćenog goriva, toplotnog kapaciteta. Izmereni koeficijent viška vazduha  $\lambda=1,15$ , pri punom opterećenju ovog kotla je nešto veći od optimalanog, nema prisustva CO i

SO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja, a gubici kotla usled energije dimnih gasova,  $g_{ps}=7,3\%$  se mogu uzeti kao prihvatljivi u odnosu na optimalne. Razlika u gubicima  $g_{gs}$  dva identična kotla, K1 i K2 proističe iz dugogodišnjom eksploatacijom, umanjene aktivne površine razmene toplote K1. Očigledno da do sličnih oštećenja još nije došlo u K2. Na opterećenju kotla od 60% višak vazduha je nešto veći, a gubici su manji u poređenju sa punim opterećenjem kotla. Oba režima kotla 2 se mogu prihvatiti kao veoma bliski optimalnom. Svakako da i ovde ima mesta za "finu" optimizaciju.

### **3.2.3 Kotao K3b**

Kotao broj 3, je kotao sličan kotlovima 1 i 2 ali nešto veće toplotne snage. Pri oba ispitivana radna režima kotla 3 (60% i 100%), podaci su pokazali da se radi o sagorevanju pri koeficijentu viška vazduha manjim od jedinice, drugim rečima raspoloživi vazduh za sagorevanje u ovom kotlu je bio manji od teorijskog minimuma. Trećim rečima, kotao je pri oba režima izbacivao određene količine nesagorelog goriva u atmosferu. O kojim se količinama radi nije poznato jer potrošnja goriva i realni kapacitet kotla nisu mereni. Posledica ovakvog, incidentnog sagorevanja je izmerena količina CO u dimnim gasovima jednaka, gornjem opsegu merenja instrumenta, dok je višak kiseonika bio na nuli. Posle intervencije na klapni za dovod svežeg vazduha u komoru za sagorevanje kotla i ponovljenog merenja, rezultat je bio identičan što govori da se protok vazduha nije promenio, odnosno da klapna ne funkcioniše ili je već bila u položaju maksimalnog protoka. Ono što je veoma zanimljivo je registrovani sumpordioksid u dimnim gasovima i to u zantnim količinama (1127 i 1336 mg/m<sup>3</sup>). Poznato je da prirodni gas može sadržati znatne količine vodoniksulfida (H<sub>2</sub>S), tako da se u produktima sagorevanja javlja SO<sub>2</sub>, međutim, na ostalim gasnim kotlovima sumpordioksid nije registrovan. Često u

kotlovima na mazut, kada nisu u pogonu, kod starih ili neispravnih gorionika dolazi do curenja mazuta u kotao i njegovog taloženja u dimnim cevima. Kako je kotao K3b do skora radio sa gorionikom na mazut i ova varijanta nije isključena. Dimnost produkata sagorevanja u ovom kotlu nije merena. U svakom slučaju radi se o nedopustivom, incidentnom režimu sagorevanja i sa gledišta gubitaka i sa gledišta kvaliteta produkata sagorevanja.

### **3.2.4 Kotao K4b**

Kotao broj 4 je mali parni kotao na gas, star 27 godina. Njegovu starost jasno ilustruju i izmereni podaci u dva režima rada. Iako je koeficijent viška vazduha, na opterećenju kotla od 100% bio skoro optimalan, gubici su bili veoma veliki (10,7%), na šta ukazuje veoma visoka temperatura izlaznih dimnih gasova. Dakle, ili veličina kotla ne odgovara pripadajućem gorioniku, što je malo verovatno ili je cevni sistem kotla usled starosti ozbiljno degradiran, a aktivna površina razmene toplote značajno smanjena. Što se tiče radnog režima pri opterećenju od 60%, višak vazduha je nepodešen i jako veliki (1,74), tako da su i gubici veoma visoki (13,2%). Mora se napomenuti da navođena opterećenja kotlova od 50, 60, 80, 100%, predstavljaju opterećenja podešena na pripadajućim gorionicima kotlova. Da li su to i stvarna opterećenja u odnosu na nazivnu snagu kotlova, može se odgovoriti kada se budu merile realne toplotne snage kotlova.

### **3.2.5 Kotao K5b**

Kotao broj 5 na lokaciji kotlarnice KBC, predstavlja vrelovodni kotao na mazut dosta specifične, kutijaste konstrukcije. Na ovom kotlu ispitivan je samo režim pri polovičnom opterećenju kotla. Za pomenuti režim kotla komentar je veoma sličan komentaru za kotao broj 4 na istoj lokaciji: optimalan višak vazduha ali veliki gubici (10,5%) i visoka temperatura

izlaznih dimnih gasova. Na neizmerenom opterećenju od 100%, mogla bi se očekivati još nepovoljnija situacija. Dakle, radi se o veličini kotla koja ne odgovara opterećenju ili o degradiranim grejnim površinama istog. Pomenuti gubici su računati po Siegert-ovoj formuli za mazut, [4]:  $g_{ps}=f(t_{ps}-t_o)/CO_2+\alpha CO/(CO+CO_2)$ , gde su  $f$  (za mazut 0,61) i  $\alpha$  (za mazut 48) koeficijenti,  $t_{ps}$  (°C) temperatura dimnih gasova,  $t_o$  (°C) temperatura okoline, a CO i CO<sub>2</sub> (%) zapreminski sadržaji ugljenmonoksida i ugljendioksida u dimnim gasovima, respektivno. Takođe za sve naredne režime kotlova na mazut, gubici  $g_{ps}$  su računati na isti način (u samom mernom uređaju). Emisija CO je beznačajna ali je zato emisija SO<sub>2</sub> (3564 mg/m<sup>3</sup>) iznad zakonom dozvoljene, što govori o korišćenom gorivu sa veoma visokim procentom sumpora. Treba imati na umu da je poreklo korišćenog mazuta poslednjih godina iz donacija, a kako je odsumporavanje skup postupak, gorivo sa viškom sumpora koje ne može da se

koristi u zemljama EU (pravilnici za emisiju su strogi kao i naši ali se poštuju) završava u donacijama.

## 4 RADNI REŽIMI KOTLOVA NA LOKACIJI ERDOGLIJA

### 4.1 Karakteristike instaliranih kotlova

Na ovoj lokaciji su smeštena dva vrelovodna kotla na mazut, kapaciteta ukupno 15 MW (7 i 8 MW). Toplana je povezana sa toplovodom sa matične lokacije tako da su njeni kotlovi u stvari protočni.

### 4.2 Rezultati merenja

U tabeli 4.1 su dati rezultati merenja emisije dimnih gasova u kotlarnici KBC, na svih pet kotlova.

Tabela 4.1 Radni režimi kotlova u kotlarnici Erdoglija

Oznaka kotla i gorivo	Toplotna snaga (MW)	Opterećenje (%)	T <sub>ps</sub> (°C)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	λ(-)	g <sub>ps</sub> (%)
K1c (mazut)	7	60	191	6,6	10,9	0	2637	1,46	9,2
		80	200	5,9	11,4	0	2791	1,39	9,3
		100	207	6,9	10,6	0	2614	1,50	10,4
K2c (mazut)	8	60	256	4,7	12,3	9	3152	1,29	11,5
		80							
		100	250	3,5	13,3	851	3538	1,20	10,6

#### 4.2.1 Kotao K1c

Kotao broj jedan je sniman u tri svoja karakteristična režima. Za sva tri režima se može reći da su koeficijenti viška vazduha previsoki (veći od optimalnih 1,15) i da odatle slede uvećani gubici  $g_{ps}$ . Takođe se može reći da aktivna površina razmene toplote kotla odgovara primenjenim režimima, nema registrovanih defekata. Najveći gubici su registrovani za puno opterećenje kotla i iznose 10,4%, što predstavlja nekih 200 kW suvišnih gubitaka. Kako je koeficijent viška

vazduha visok, nema CO u dimnim gasovima ali zato ima SO<sub>2</sub> i to u količinama koje bi bile iznad zakonski dozvoljene emisije od 3200 mg/m<sup>3</sup> da se radilo o viškovima vazduha od 1,15. Sve je to posledica goriva sa visokim sadržajem sumpora. Dilema je dakle, kršiti propise o emisiji i štedeti energiju ili ispunjavati zakonske norme i rasipati energiju. Kod kotlova na mazut, pri optimizaciji režima sagorevanja, osim protoka svežeg vazduha, treba obratiti pažnju i na kvalitetnu pripremu goriva



(temperatura i pritisak mazuta, raspršivanje).

#### **4.2.2 Kotao K2c**

Radi se o kotlu sličnog kapaciteta kao K1c. Režim rada kotla je sniman za dva opterećenja, 60 i 100%. Koeficijenti viška vazduha su bili nešto malo veći od optimalnih ali su izmereni gubici veliki, zbog visokih temperatura izlaznih dimnih gasova. Znači, neodgovarajuće dimenzije kotla ili narušen, skraćen put dimnih gasova kroz kotao. Naročito kod kotlova na mazut, jedan od razloga za loš rad, može biti i nepodešen gorionik. Nepotrebni gubici u ovom kotlu iznose preko 300 kW. Da kotao broj 2 ima problema sa gorionikom govori i visok sadržaj CO u dimnim gasovima (više nego tri puta iznad dozvoljenog), a što je pri višku vazduha od 1,20, jedino posledica neodgovarajuće pripreme smeše goriva i vazduha u gorioniku (niska temperatura mazuta, na primer). Kako je već rečeno i pretpostavljeno, korišćenjem mazuta sa povišenim sadržajem sumpora, za propisane koeficijente viška vazduha (čak nešto više) dobijaju se emisije SO<sub>2</sub> iznad zakonski dozvoljenih.

### **5 ZAKLJUČAK**

Uopšteno se može reći da kotlovi priključeni na sistem centralnog grejanja grada Kragujevca, ne rade u energetski optimalnim režimima. Osnovni problem je preveliki koeficijent viška vazduha (naročito u kotlovima na matičnoj lokaciji), zatim starost kotlova i nepodešenost gorionika, nemanje mogućnosti za fino podešavanje režima sagorevanja, nedostatak merne opreme. Procenjeni suvišni gubici na energiju dimnih gasova iznose više od 20 MW toplotne snage. Koliki je to novac nije teško izračunati. Međutim, sa druge strane višestruki problemi sprečavaju optimalan rad kotlova.

To su nekvalitetno gorivo, promenljivih karakteristika. Iskreno govoreći kvalitetnog uglja više i nema na tržištu Srbije, bar ne u potrebnim količinama. Obično sa višom toplotnom moći ide i viši sadržaj sumpora, na šta treba računati. Generalno, sagorevanje uglja, naročito u opisanim količinama, u gradskoj zoni u svetlu savremenih energetskih i ekoloških saznanja, nema nikakvog opravdanja.

Dalje, to je nemogućnost kontinualne regulacije protoka svežeg vazduha u kotlovima, drugim rečima, nedostatak frekventnih regulatora na elektromotorima ventilatora, odnosno nedostatak finansijskih sredstava. S obzirom da se uvek nađu značajna sredstva za hitne intervencije i nezaobilazni remont kotlova, šta znači tvrdnja, nedostatak finansijskih sredstava.

To je i starost kotlovskih postrojenja i vezano tim, nekvalitetna priprema goriva, nekontrolisano curenje vazduha, promenjen, skraćen tok dimnih gasova, neispravnost ili nedostatak mernih uređaja, neispravnost gorionika.

U svakom slučaju i sa postojećom opremom moguće je postići značajne uštede optimizacijom procesa sagorevanja.

Sa gledišta emisije dimnih gasova i zakonskih normi, nekvalitetna priprema goriva najviše utiče na prekomernu emisiju CO, a samo nekvalitetno gorivo na prekomernu emisiju SO<sub>2</sub>. Donacije mazuta izgleda podrazumevaju i donacije sumpora. Ugalj sa visokim sadržajem sumpora je takođe problematično gorivo.

Teško je objasniti da pojedini kotlovi svakodnevno mogu da rade u incidentnim režimima, kao što je to bio slučaj sa kotlom broj 3 u kotlarnici KBC. Da li potrošnju energije shvatamo kao potrošnju novca ili je za to potrebno znatno više proteklog vremena.

## 6 LITERATURA

- [1] Lukić, N., (2003), Projekat NPEE403-109A: Analiza ustaljenih režima rada kotlova Zastava-Energetike, Neobjavljeni izveštaj, *Mašinski fakultet u Kragujevcu*.
- [2] Lukić, N., (2002), Projekat NPEE403-109A: Studija postojećeg stanja sistema centralnog grejanja Kragujevca, Neobjavljeni izveštaj, *Mašinski fakultet u Kragujevcu*.
- [3] (1991), User Manual IMR 2800P, Version P2N3, *IMR*, Heilbronn, Nemačka.
- [4] Bogner, M., (1987), *Termotehničar*, Naučna knjiga, Beograd.