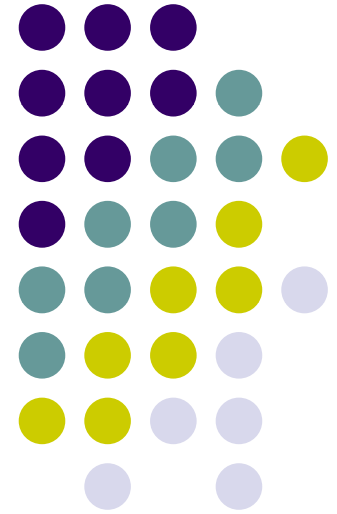
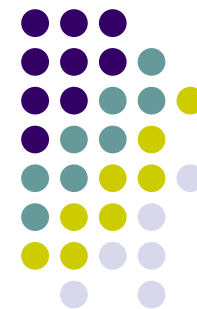


ISPITIVANJE I DOKAZIVANJE GARANTOVANIH PERFORMANSI EKONOMAJZERA NA KOTLOVIMA U JP „BEOGRADSKE ELEKTRANE“

**Goran Živković, Branislav Repić, Dragoljub Dakić,
Aleksandar Erić, Milić Erić, Dejan Đurović, Stevan Nemoda
Laboratorija za termotehniku i energetiku**

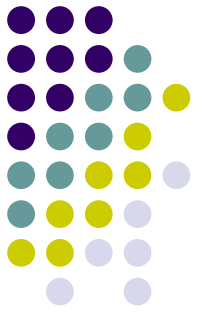


Uvod



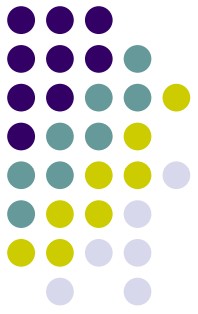
- U periodu 29.12.2009 – 21.01.2010 godine su obavljena strujno-termička merenja na ekonomajzerima na toplanama „Dunav“, „Voždovac“ i „Konjarnik“, koje se nalaze u sastavu JP „Beogradske elektrane“.
- Radi se o merenjima performansi na ukupno četiri ekonomajzera, pri čemu su dva nominalnog toplotnog kapaciteta 3 MJ/s i postavljeni su na izlaznom kanalu dimnih gasova na kotlovima nominalne snage 58 MJ/s (toplane „Voždovac“ i „Dunav“), dok su druga dva nominalnog toplotnog kapaciteta 6 MJ/s i postavljeni su na izlaznim kanalima dimnih gasova na kotlovima nominalne snage 116 MJ/s (toplane „Dunav“ i „Konjarnik“).
- Izradu i ugradnju ekonomajzera izvršila je firma TIPO Remont-Kotlogradnja.

Zadaci merenja



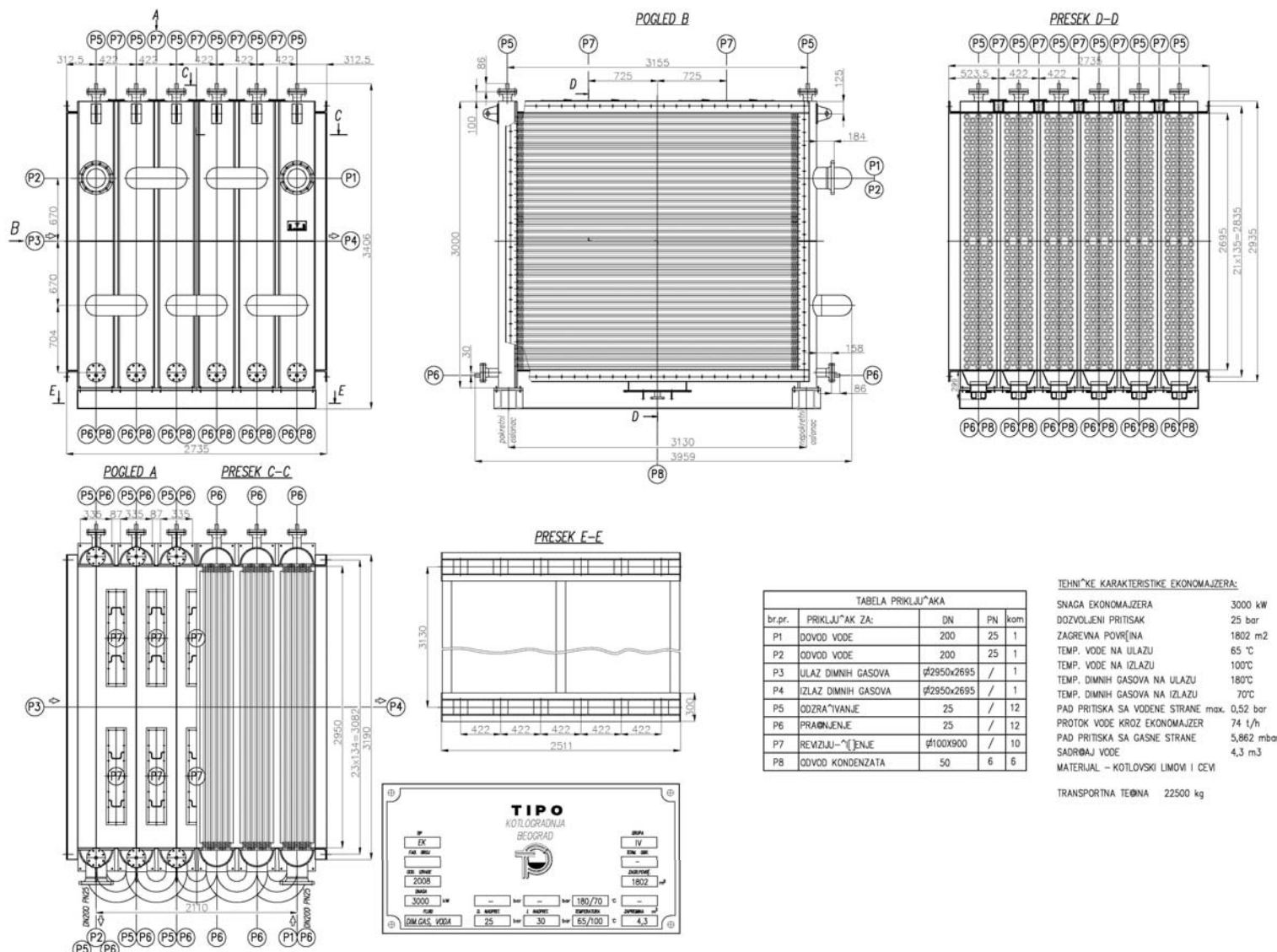
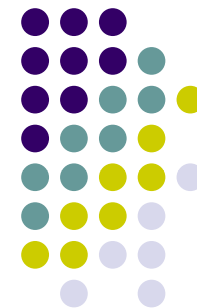
1. Merenje toplotnog kapaciteta ekonomajzera i određivanje njegovog toplotnog kapaciteta u nominalnom režimu rada kotla.
2. Merenje temperature na ulazu i izlazu ekonomajzera sa vodene i gasne strane ekonomajzera.
3. Merenje pada pritiska sa gasne i sa vodene strane ekonomajzera

Za realizaciju navedenih zadataka bilo je neophodno sprovesti sledeće delatnosti:



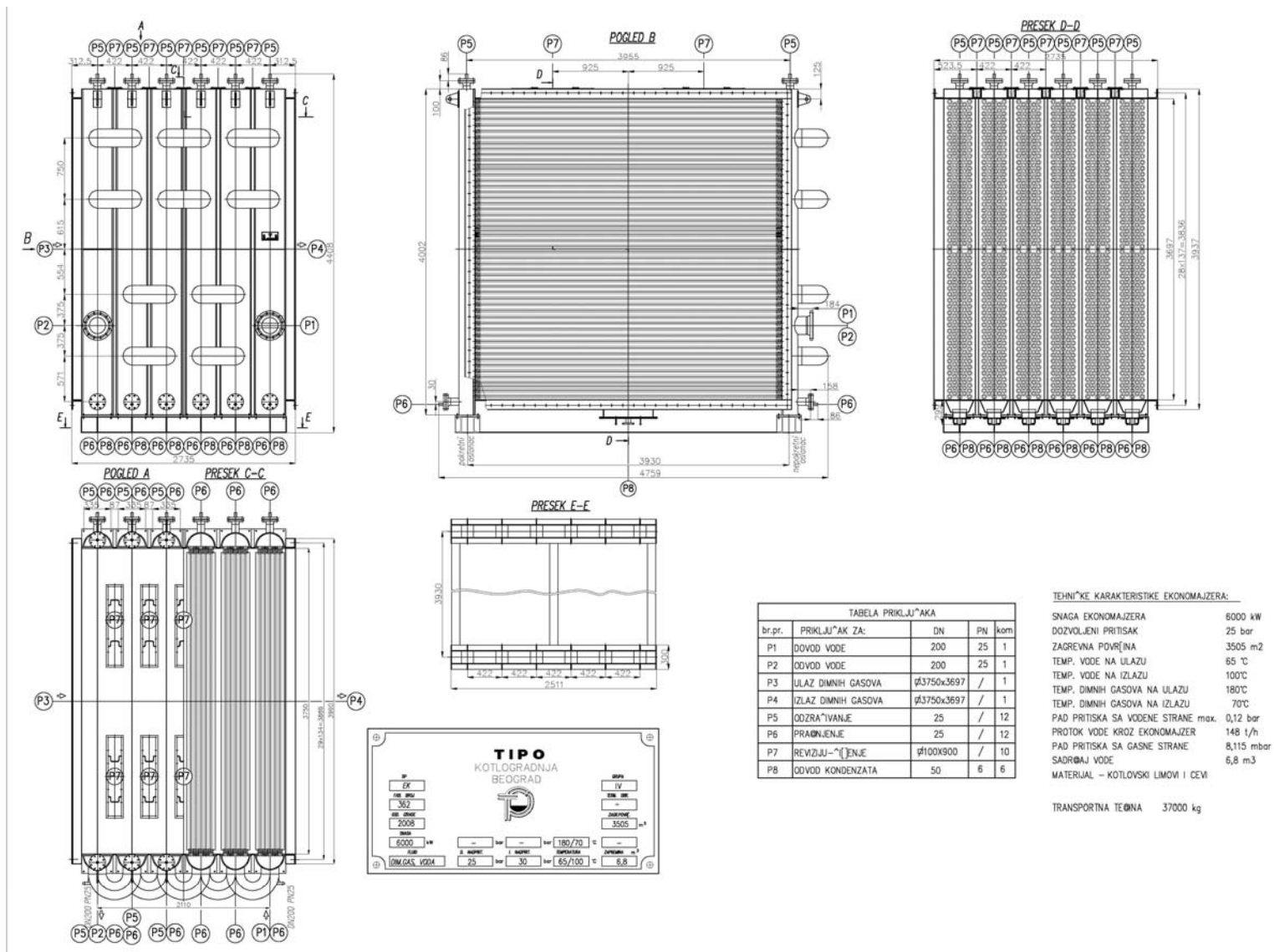
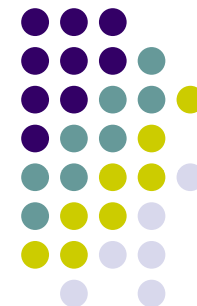
- 1) Merenje temperature produkata sagorevanja na ulazu i na izlazu iz ekonomajzera.
- 2) Merenje temperature vode na ulazu i izlazu iz ekonomajzera.
- 3) Merenje masenog protoka produkata sagorevanja kroz ekonomajzer.
- 4) Merenje masenog protoka vode kroz ekonomajzer.
- 5) Merenje količine O_2 u produktima sagorevanja na ulazu i izlazu iz ekonomajzera i određivanje sastava produkata sagorevanja, njihove gustine i specifične toplote.
- 6) Merenje pada pritiska vode kroz ekonomajzer
- 7) Merenje pada pritiska vazduha kroz ekonomajzer
- 8) Analizu dobijenih rezultata i proračun toplotnog kapaciteta ekonomajzera u nominalnom režimu rada kotla.

Tehnički opis ekonomajzera

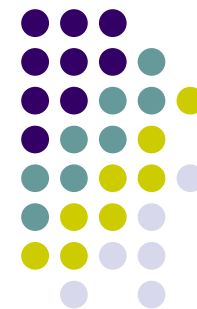


Skica ekonomajzera 3 MJ/s

Tehnički opis ekonomajzera



Skica ekonomajzera 6 MJ/s

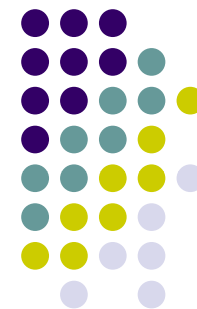


Tehnički opis ekonomajzera

Ekonomajzer je izrađen od spiralno orebrenih cevi Ø38x3,2 kvaliteta materijala P235GH postavljenih u šahovskom rasporedu. Visina rebara iznosi 12,5 mm i kontinualno su zavarene za cevi a njihova debljina iznosi 1 mm.

		3 MJ/s	6 MJ/s
Spoljašnja razmenjivačka površina	[m ²]	1802	3505
Unutrašnja razmenjivačka površina	[m ²]	314	557
Površina rebara	[m ²]	1396	2919
Broj cevi za jedan prolaz vode <i>N</i>	-	88	123
Korak rebara	[mm]	9	8
Broj cevi u jednom redu	-	36	50
Broj redova po toku gasova	-	30	30
Ukupan broj cevi	-	1056	1476
Poprečni korak cevi	[mm]	75	74
Uzdužni korak cevi	[mm]	61	61
Dužina cevi	[mm]	3000	3800

Fotografije ugradnje ekonomajzera u toplani Konjarnik



Metode merenja i merna oprema



Celokupna merna oprema koja je korišćena prilikom ispitivanja pripada klasi tačnosti koju zahtevaju garancijska ispitivanja.

Laboratorija za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ je akreditovana za etaloniranje merila temperature, etaloniranje merenja pritiska, i za fizičko-hemijska ispitivanja emisije gasova, tako da je pre merenja sva merna oprema etalonirana.

Metode merenja i merna oprema

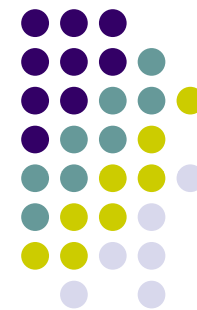


Temperatura dimnog gasa u kanalu merena je pokretnim termometrom sa ugrađenim kalibrisanim termoparom K tipa, čiji je interval merenja 100÷1200 °C. Očitavanje temperature vršeno je na digitalnom instrumentu FLUKE, sa korakom očitavanja 0.1 °C.

Podpritisak u kanalu je meren digitalnim mikromanometrom ALNOR, model AXD 560, sa opsegom merenja 1245÷3735 Pa, tačnosti $\pm 1\%$ očitane vrednosti, i rezolucije 1 Pa. Barometarski pritisak je meren laboratorijskim barometrom.

Merenje temperature vode na ulazu i izlazu vršeno je na cevima za dovod vode u ekonomajzer i za odvod vode iz ekonomajzera. Obzirom da je pritisak vode u cevovodu oko 13 bar nije moguće meriti temperaturu ulazne i izlazne vode direktnim dodirom fluida i termopara, već je to vršeno indirektno, preko unapred pripremljenih mernih mesta za merenje temperature (čaurama). Merenje je vršeno „Pt 100“ temperaturnim sondama.

Metode merenja i merna oprema



Merenje masenog protoka produkata sagorevanja sprovedeno je tako što se pomoću Pitot-Prandtlovom sondom vršilo merenje profila brzina u dimnom kanalu ispred ekonomajzera.

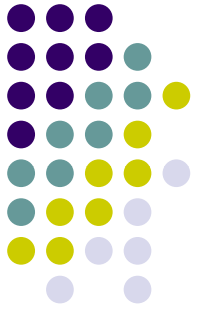
Za merenje protoka vode korišćen ultrazvučni protokomer Panametrics PT878, koji ne zahteva umetanje blendi ili mernih ventila u cevni sistem.

Merenje kiseonika u dimnom gasu izvršeno je sistemom za analizu gasa koji se sastoji od: a) Analizatora gasa: PMA 10, M&C Product Analysentechnik GmbH; b) gasnog kondicionera JCC, JCT Analysentechnik GmbH; c) sonde za uzorkovanje dimnog gasa.

Merenje pada pritiska sa vodene strane je vršeno merenjem razlike statičkih pritisaka vode na ulaznoj i izlaznoj cevi ekonomajzera, na prethodno pripremljenim mernim mestima. Razlika pritisaka je merena pomoću transmitera diferencijalnog pritiska, proizvođača „DCD Promering“.

Merenje pada pritiska sa gasne strane vršeno je merenjem razlike statičkih pritisaka u ulaznom i izlaznom kanalu dimnog gasa na ekonomajzeru.

Određivanje toplotnog kapaciteta ekonomajzera u nominalnom režimu rada kotla



Količina razmenjene toplote u bilo kom razmenjivaču:

$$Q = K \varepsilon_k \Delta t_{\ln}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{A_u \alpha_u} + \frac{1}{\eta A_s \alpha_s}}$$

$$Nu = 0,023 Re_v^{0,8} Pr_v^{0,4}$$

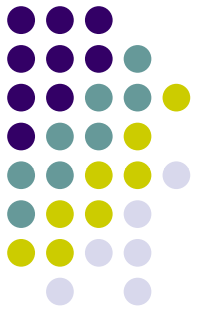
$$Re_v = \frac{v_v d_u}{\nu_v}$$

$$v_v = \frac{4G_v}{\pi \rho_v d_u^2 N}$$

$$\alpha_u = 0,023 Re_v^{0,8} Pr_v^{0,4} \frac{\lambda_v}{d_u}$$

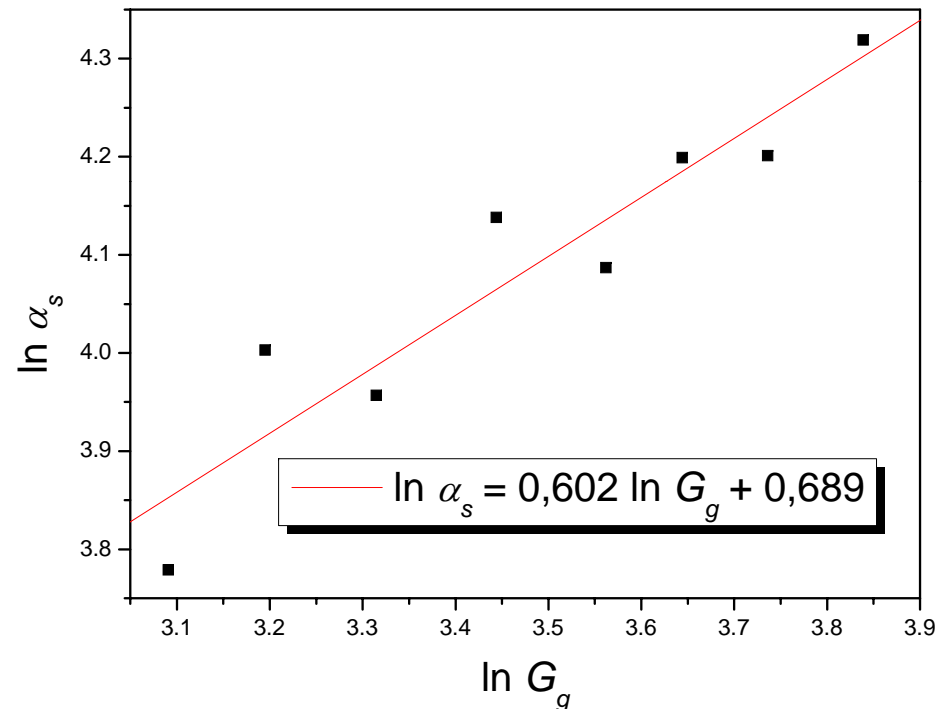
$$\alpha_s = 1/A_s \eta \left(1/K - 1/A_u \alpha_u \right)$$

Određivanje toplotnog kapaciteta ekonomajzera u nominalnom režimu rada kotla

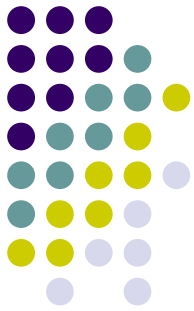


$$\alpha_s = a G_g^b$$

$$\ln(\alpha_s) = \ln(a) + b \ln(G_g)$$

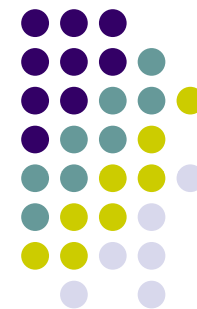


Korelacija spoljašnjeg koeficijenta prelaza toplote i protoka produkata sagorevanja, lokacija „Konjarnik”



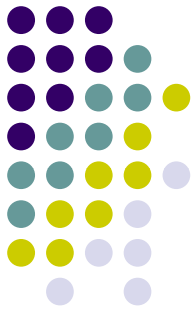
Određivanje razmenjene količine toplote u nominalnom režimu rada kotla	
Parametri nominalnog režima rada kotla	
G_g (kg/s)	61,34
G_v (kg/s)	41,11
t_{gul} (°C)	180
t_{vul} (°C)	65
Proračun razmenjene količine toplote Q_{izr}	
$\alpha_{snom} = a G_g^b$ (W/m ² /K)	87,45
$m = \sqrt{4\alpha_{snom} / \lambda_c d_r}$	81,78
$\eta_f = tgh(mh_r) / mh_r$	0,75
$\eta = 1 - A_r(1 - \eta_f) / A_s$	0,80
$K = 1 / [1 / (A_u \alpha_u) + 1 / (\eta A_s \alpha_{snom})]$ (W/K)	213244
Pretpostavljena vrednost Q_{pr} (J/s)	$6,95 \cdot 10^6$
$t_{giz} = t_{gul} - Q_{pr} / (G_g C_{p_g})$ (°C)	78,5
$t_{viz} = t_{vul} + Q_{pr} / (G_v C_{p_v})$ (°C)	105,3
$\Delta t_1 = t_{gul} - t_{viz}$ (°C)	74,7
$\Delta t_2 = t_{giz} - t_{vul}$ (°C)	13,5
$\Delta t_{ln} = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$ (°C)	35,77
$P = \Delta t_v / (t_{gul} - t_{vul})$	0,35
$R = \Delta t_g / \Delta t_v$	2,51
ε_k (na osnovu P i R)	0,92
$Q_{izr} = K \varepsilon_k \Delta t_{ln}$ (J/s)	$6,95 \cdot 10^6$

Izračunate vrednosti razmenjene količine toplote u nominalnom režimu



Naziv	Izračunata snaga [MJ/s]	Procenjena greška	Dijapazon snage [MJ/s]
Toplana Voždovac	3,00	+ 2,5 % : -2,5 %	3,075 : 2,925
Toplana Dunav – 3MW	3,02	+ 2,5 % : -2,5 %	3,126 : 2,945
Toplana Dunav – 3MW	6,00	+ 2,5 % : -2,5 %	6,150 : 5,850
Toplana Konjarnik	6,95	0 % : -10 %	6,950 : 6,255

Zaključak



- Strujno-termička merenja na sva četiri ekonomajzera radi dokazivanja njihovih garancijskih performansi izvršena su u periodu 29.12.2009 – 21.01.2010 godine, u uslovima izuzetno povoljnim za sprovođenje merenja.
- Snaga je kod svih kotlova bila znatno niža od nominalne. Zbog toga sama merenja nisu bila dovoljna za određivanje garantovanih performansi ekonomajzera, već su ona predstavljala polaznu osnovu na osnovu koje je izračunata razmenjena količina toplote na ekonomajzerima pri nominalnom režimu rada kotla.
- U svim izmerenim slučajevima temperatura produkata sagorevanja je spuštena na oko 70 °C (na lokaciji „Voždovac“ temperatura produkata sagorevanja oborena je u ekonomajzeru od 236 °C na 70 °C).
- Dobijeno je veoma dobro slaganje rezultata merenja mernih uređaja postavljenim u svrhu ispitivanja i mernih uređaja ugrađenim u sistem.