

TOPLOTNI BILANS PARNOG KOTLA TIP A SES TLMAČE U TE-TO ZRENJANIN

THERMAL ANALYSIS OF STEAM BOILER TYPE SES TLMAČE AT THE THERMAL PLANT IN ZRENJANIN

Duško Salemović¹, Aleksandar Dedić², Branko Raškov³

¹*Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu;*

²*Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu;*

³*Termoelektrana-Toplana "Zrenjanin"*

E-mail: aleksandar.dedic@sfb.bg.ac.rs

Apstrakt: U ovom radu izvršen je kontrolni termički proračun parnog kotla tip SES (Slovenské energetické strojárne) Tlmače ugrađenog u Termoelektrana-Toplana (TE-TO) „Zrenjanin“ i izvršena kontrola kvaliteta sagorevanja i emisije štetnih materija u toku rada kotlovskih jedinica. Kontrolni proračun se vrši kada je za postojeći kotao, čije su konstruktivne i geometrijske karakteristike poznate, potrebno utvrditi toplotne režime pri sniženim opterećenjima, promenljivom kvalitetu ili vrsti goriva, ili promenljivom kapacitetu i parametrima pare.

Termički proračun parnog kotla predstavlja osnovu za projektovanje novog ili za utvrđivanje karakteristika postojećeg kotla. Na njemu se zasnivaju svi kasniji proračuni kao što su aerodinamički i hidrodinamički proračun, i proračun čvrstoće. Zbog toga od njegove tačnosti u velikoj meri zavise ekonomičnost i sigurnost razmatranog kotla [1].

Ključne reči: kotao, proračun, sagorevanje, emisija.

Abstract: The aim of the paper is the control thermal analysis of boiler type SES Tlmače built-in heat and power plant "Zrenjanin" and quality control check of combustion and emission during operation of boiler units. Control calculation is done when the existing boiler, whose structural and geometric characteristics known, necessary to determine the thermal regime at reduced loads, variable quality or fuel type, or variable capacity and steam parameters.

Thermal analysis of a steam boiler is the basis for the design of new or determination of the existing boiler. On it are based all subsequent calculations such as aerodynamic and hydrodynamic calculation, and calculation of strength. Therefore, since its accuracy is largely dependent economy and safety of the boiler under consideration [1].

Keywords: boiler, calculation, combustion, emissions.

1. UVOD

Termoelektrana-Toplana „Zrenjanin“ je izgrađena sa ciljem da snabdeva industrijsku zonu grada tehnološkom parom, da proizvodi toplu vodu za grejanje grada i električnu energiju za potrebe elektroenergetskog sistema. Posluje u sastavu u preduzeća "Elektroprivreda Srbije – Javno preduzeće. Panonske elektrane" čije su delatnosti:

- proizvodnja termoelektrične energije,
- proizvodnja i distribucija toplote.

Glavni proizvodni ciklus rada "TE-TO" obezbeđuju:

- dva parna kotla,
- parne turbine sa dva regulisana i pet neregulisanih oduzimanja pare,
- izmenjivači toplote za potrebe grejanja,
- cevovodi i redukcione stanice,
- termička priprema vode,
- pumpno postrojenje za napajanje kotlova.

Parni kotlovi su viseći, ekranski, sa četiri pregrejača pare čije su karakteristike na izlazu [2]:

- kapacitet 330 t/h,
- pritisak 11,77 Mpa,
- temperatura pare 540 °C,
- temperatura vode za napajanje 210 °C.

Kao osnovno gorivo koristi se zemni gas, a kao alternativno teški mazut.

2. TEHNIČKI OPIS KOTLA TIPSA SES TLMAČE

Ovaj parni kotao ima dva promajna kanala sa sagorevanjem na nadpritisku. U njemu sagoreva zemni gas (glavno gorivo) i teško lož ulje (mazut). Kotao je sa prirodnom cirkulacijom vode.

U komori za sagorevanje dimenzija $6975 \times 6975 \times 16000$ mm smešteni su u bočnim zidovima, u dva reda (4+4 komada) uljno-gasni gorionici koji obezbeđuju nominalni kapacitet kotla [2]. Dopremanje vazduha za sagorevanje do gorionika obezbeđuju dva vazдушna radijalna ventilatora smeštena na koti $\pm 0,0$ m iza kotla. Ventilatori savlađuju otpor i na strani produkata sagorevanja, te kotao zato nije opremljen ventilatorima za potis produkata sagorevanja. Vazduh, prethodno dogrejan u parnim zagrejačima vazduha se zagreva na radnu temperaturu u dva regenerativna zagrejača vazduha tipa Ljuneström.

Od dva regenerativna zagrejača vazduh se simetrično razvodi preko dva nezavisna cevovoda po svakoj strani kotla do pojedinih redova gorionika.

Gorivo sagoreva u komori za sagorevanje pod nadpritiskom od oko 3250 Pa. Količina goriva do gorionika se reguliše u gasnom, odnosno uljnom cevovodu pomoću zajedničke armature za sve gorionike. Količina vazduha je regulisana posredstvom regulacionog mehanizma vazдушnih ventilatora, u zavisnosti od količine proizvedene pare i snabdevanja goriva.

Produkti sagorevanja struje kroz drugu promaju kotla u kome su smešteni pojedini stepeni pregrejača i zagrejač vode, do regenerativnih zagrejača vazduha smeštenih na površini + 7,2 m iza kotla i dalje kanalima do dimnjaka.

Napojna voda ulazi u kotao kroz čelični zagrejač vode koji je smešten u najnižem delu promaje kotla, a dalje prestrujnim cevima u doboš kotla.

Cevni registar kotla, među zid i zidovi promaje čine membranski zidovi čije su cevi montirane u ulazne i izlazne komore. Donje komore su preplavljene vodom iz prelivnih cevi. Cirkulacija vode u isparivaču je prirodna, a iz izlaznih komora se odvodi smeša para-voda prestrujnim cevima u telo kotla. U telu kotla je uzidan ciklon koji obezbeđuje razdvajanje vode od pare. Zasićena para izlazi iz ciklona u parni prostor bubnja, odakle se cevima odvodi do prvog stepena pregrejača.

Regulacija temperature pare se ostvaruje ubrizgavanjem napojne vode iza pregrejača.

Čišćenje zagrevnih površina kotla se vrši mehaničkim parnim duvačima gara.

Kotao je opremljen zakonom određenom armaturom koja je potrebna za tekući pogon kao što su: ventili za zatvaranje, zasuni, vodokazi, manometri, ventili za odvodnjavanje i odmuljivanje. Kotlovski sistem pod pritiskom je opremljen impulsnim ventilima sigurnosti.

3. TERMIČKI PRORAČUN PARNOG KOTLA

U ovom poglavlju biće prezentovan kompletan termički proračun parnog kotla tipa SES Tlmače. Strujno-termička šema parnog kotla prikazana je na slici 1. Za sprovođenje ovakvog termičkog proračuna treba imati podatke o: geometrijskim karakteristikama grejnih površina, kvalitetu goriva, parametrima sveže i naknadno pregrejane pare, kao i o načinu regulisanja temperature pregrejane pare [3,4,5].

Potrebni podaci za proračun dati su u nastavku teksta i oni glase [2]:

$\dot{V}_g = 7,06 \text{ (m}^3/\text{s)}$ - zapreminski protok goriva

$\Theta_g = 0 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura goriva na početku procesa sagorevanja pri zimskim uslovima (najnepovoljniji slučaj)

$\rho_g = 0,7803 \text{ (kg/m}^3)$ – gustina goriva

$H_d^* = 32.600.000 \text{ (J/m}^3)$ – donja toplotna moć

$\Theta_v = 250 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura vazduha na početku procesa sagorevanja

$\rho_v = 0,674 \text{ (kg/m}^3)$ – gustina vazduha

$\dot{m}_w = 91,66 \text{ (kg/s)}$ – maseni protok vode

$\dot{m}_{wp} = 91,66 \text{ (kg/s)}$ – maseni protok vodene pare

$\Theta_{w1} = 210 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura vode na ulazu u ekonomajzer

$\Theta_{w2} = 335 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura vode na izlazu iz ekonomajzera

$\Theta_i = 335 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura isparavanja vode

$\Theta_{wp1} = 335 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura vodene pare na ulazu u pregrejač pare

$\Theta_{wp2} = 540 \text{ (}^\circ\text{C)}$ - temperatura vodene pare na izlasku iz pregrejača pare

$\Theta_{v0} = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}$ – temperatura okolnog vazduha

$C_{pw} = 4.640 \text{ (J/kgK)}$ – specifični toplotni kapacitet vode pri $p = \text{const.}$

$C_{pwp} = 2.940 \text{ (J/kgK)}$ - specifični toplotni kapacitet pregrejane vodene pare

$C_{pv}^* = 1.314,1 \text{ (J/m}^3\text{K)}$ - specifični toplotni kapacitet vazduha pri $p = \text{const.}$

Zapreminski sastav goriva (zemnog gasa) iznosi:

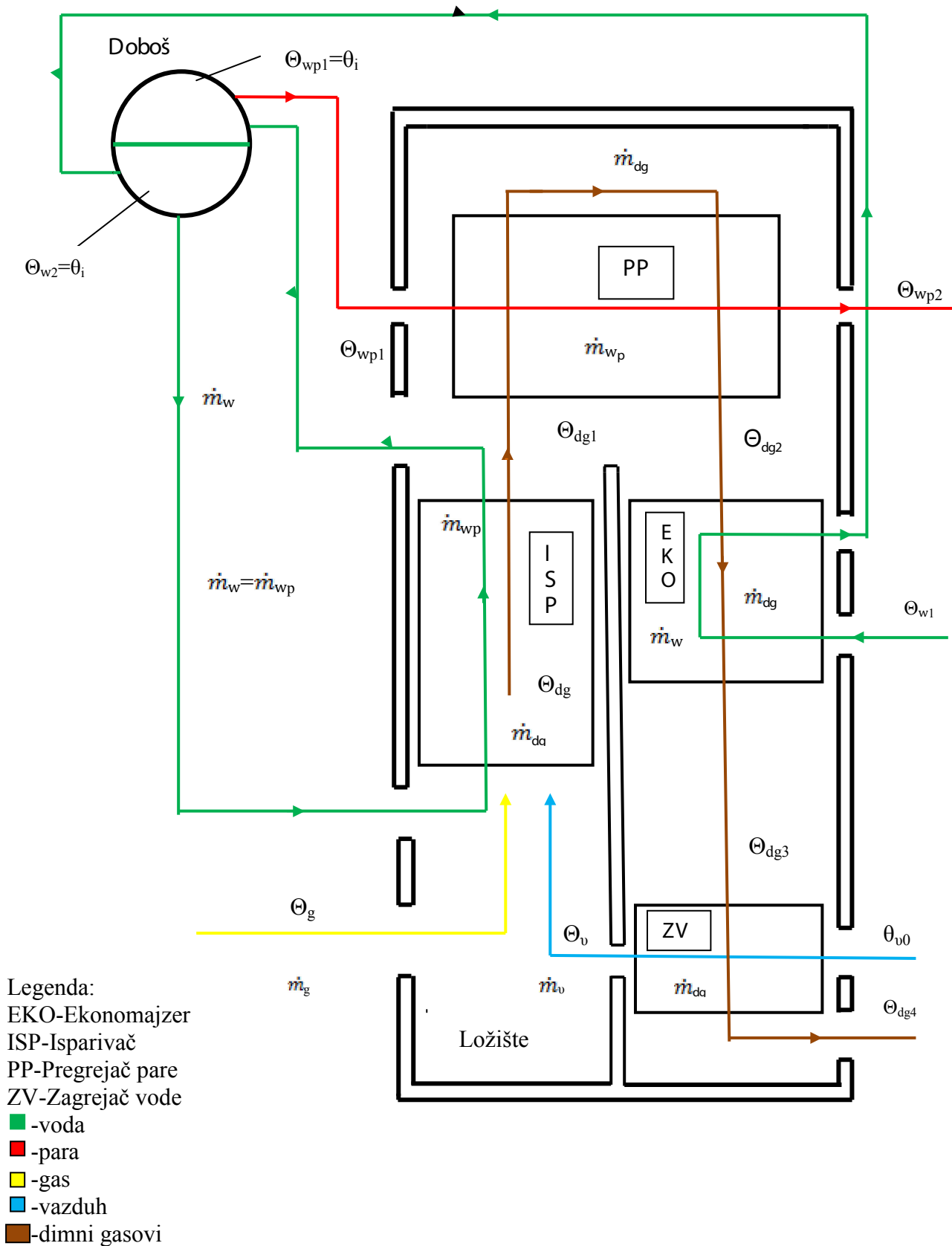
Metan (CH_4) – 89,3 (%) ($m=1$; $n=4$)

Etan (C_2H_6) – 2,8 (%) ($m=2$; $n=6$)

Propan (C_3H_8) – 0,5 (%) ($m=3$; $n=8$)

Azot (N_2) – 1,7 (%)

Ugljendioksid (CO_2) – 5,7 (%);



Slika 1: . Strujno-termička šema parnog kotla tipa SES Tlmače

3.1. Analiza procesa sagorevanja gasa

Teorijska zapremina vazduha potrebna za sagorevanje 1m^3 goriva iznosi:

$$\begin{aligned} V_{\text{vmin}}^* &= \frac{1}{21} [0,5(\text{H}_2 + \text{CO}) + 1,5\text{H}_2\text{S} + \Sigma(m + \frac{n}{4})\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2] = \\ &= \frac{1}{21} [0,5(0+0) + 1,5*0 + (1 + \frac{4}{4}) * 89,3 + (2 + \frac{6}{4})*2,8 + (3 + \frac{8}{4})*0,5 - 0] = \\ &= 9,09 (\text{ m}^3/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (1)$$

Zapreminski protok vazduha iznosi:

$$\dot{V}_v = \dot{V}_g^* V_{\text{vmin}}^* = 7,06 * 9,09 = 64,175 (\text{ m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

Maseni protok goriva iznosi:

$$\dot{m}_g = \rho_g * \dot{V}_g = 0,7803 * 7,06 = 5,509 (\text{ kg/s}) \quad (3)$$

Maseni protok vazduha iznosi:

$$\dot{m}_v = \rho_v * \dot{V}_v = 0,674 * 64,175 = 43,254 (\text{ kg/s}) \quad (4)$$

Maseni protok produkata sagorevanja (dimnih gasova) iznosi:

$$\dot{m}_{\text{dg}} = \dot{m}_g + \dot{m}_v = 5,509 + 43,254 = 48,763 (\text{ kg/s}) \quad (5)$$

Zapremine pojedinih gasova u produktima sagorevanja (dimnih gasova) iznose:

$$\begin{aligned} V_{\text{CO}_2}^* &= \frac{1}{100} [\text{CO} + \text{CO}_2 + \Sigma m\text{C}_m\text{H}_n] = \frac{1}{100} [0 + 5,7 + 1 * 89,3 + 2 * 2,8 + 3 * 0,5] = \\ &= \frac{1}{100} [5,7 + 89,3 + 5,6 + 1,5] = 1,021 (\text{ m}^3/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (6)$$

$$V_{\text{SO}_2}^* = \frac{1}{100} * \text{H}_2\text{S} = \frac{1}{100} * 0 = 0 (\text{ m}^3/\text{m}^3) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}}^* &= \frac{1}{100} [\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} + \Sigma \frac{n}{2} \text{C}_m\text{H}_n + \text{W}] = \frac{1}{100} [0 + 0 + \frac{4}{2} * 89,3 + \frac{6}{2} * 2,8 + \frac{8}{2} * 0,5 + 0] = \\ &= \frac{1}{100} [178,6 + 8,4 + 2] = 1,89 (\text{ m}^3/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{N}_2}^* &= \frac{1}{100} \text{N}_2 + 0,79 V_{\text{vmin}}^* = \frac{1}{100} * 1,7 + 0,79 * 9,09 = 0,017 + 7,1811 = \\ &= 7,1981 (\text{ m}^3/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (9)$$

Teorijska zapremina produkata sagorevanja (dimnih gasova) iznosi:

$$\begin{aligned} V_{dg}^* &= V_{CO_2}^* + V_{SO_2}^* + V_{H_2O}^* + V_{N_2}^* = \\ &= 1,021 + 0 + 1,89 + 7,1981 = 10,1091 \text{ (m}^3/\text{m}^3 \text{)} \end{aligned} \quad (10)$$

Gustina produkata sagorevanja (dimnih gasova) može se izračunati na sledeći način:

$$\rho_{dg} = \dot{m}_{dg} / (\dot{V}_g \cdot V_{dg}^*) = \frac{48,763}{7,06 \cdot 10,1091} = 0,68324 \text{ (kg/m}^3 \text{)} \quad (11)$$

Specifični toplotni kapaciteti pojedinih gasova pri konstantnom pritisku iznose:

$$C_{pCO_2}^* = 2.453,6 \text{ (J/m}^3\text{K)}, \text{ za } p= 1,013(\text{bar}) \text{ i } \theta= 2.100 \text{ (}^0\text{C)}$$

$$C_{pSO_2}^* = \%$$

$$C_{pH_2O}^* = 1.979,5 \text{ (J/m}^3\text{K)}, \text{ za } p= 1,013(\text{bar}) \text{ i } \theta= 2.100 \text{ (}^0\text{C)}$$

$$C_{pN_2}^* = 1.490,6 \text{ (J/m}^3\text{K)}, \text{ za } p= 1,013(\text{bar}) \text{ i } \theta= 2.100 \text{ (}^0\text{C)}$$

Specifični toplotni kapacitet produkata sagorevanja (dimnih gasova) pri konstantnom pritisku iznosi:

$$\begin{aligned} C_{pdg}^* &= (V_{CO_2}^* / V_{dg}^*) \cdot C_{pCO_2}^* + (V_{SO_2}^* / V_{dg}^*) \cdot C_{pSO_2}^* + (V_{H_2O}^* / V_{dg}^*) \cdot C_{pH_2O}^* + \\ &+ (V_{N_2}^* / V_{dg}^*) \cdot C_{pN_2}^* = \\ &= \frac{1,021}{10,1091} \cdot 2.453,6 + 0 + \frac{1,89}{10,1091} \cdot 1.979,5 + \frac{7,1981}{10,1091} \cdot 1.490,6 = \\ &= 247,81 + 0 370,08 + 1.061,37 = 1.697,3 \text{ (J/m}^3\text{K)} \end{aligned} \quad (12)$$

Jednačina toplotnog bilansa procesa sagorevanja glasi:

$$H_d^* + C_{pg}^* \cdot \theta_g + V_{vmin}^* \cdot C_{pv}^* \cdot \theta_v = V_{dg}^* \cdot C_{pdg}^* \cdot \theta_{ps} \quad (13)$$

Pošto je temperatura goriva približno jednaka nuli, $\theta_g = 0$, prethodna jednačina će poprimiti sledeći oblik:

$$H_d^* + V_{vmin}^* \cdot C_{pv}^* \cdot \theta_v = V_{dg}^* \cdot C_{pdg}^* \cdot \theta_{dg} \quad (14)$$

Iz prethodne jednačine sledi izraz za temperaturu dimnih gasova koja glasi:

$$\begin{aligned} \Theta_{dg} &= (H_d^* + V_{vmin}^* \cdot C_{pv}^* \cdot \theta_v) / V_{dg}^* \cdot C_{pdg}^* = \\ &= \frac{32.600.000 + 9,09 \cdot 1.314,1 \cdot 250}{10,1091 \cdot 1.679,3} = \frac{32.600.000 + 2.986.292,2}{16.976,211} = 2.096,24 \text{ (}^0\text{C)} \end{aligned} \quad (15)$$

3.2. Analiza isparavanja vode

U ložištu kotla nalaze se ekranske cevi unutar kojih struji voda koja krećući se odozdo naviše putem prirodne cirkulacije lagano isparava.

Temperatura na kojoj voda isparava iznosi:

$$\Theta_i = 335 \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

Ovoj temperaturi isparavanja odgovara pritisak isparavanja koji iznosi:

$$p_i = 137,14 \text{ (bar)} = 137,14 \cdot 10^5 \text{ (Pa)}$$

Pod ovim uslovima latentna toplota isparavanja vode iznosi:

$$r = 1.085.700 \text{ (J / kg)}$$

Potrebna količina toplote u jedinici vremena za isparavanje vode u ložištu kotla iznosi:

$$\dot{Q} = \dot{m}_w * r = 91,66 * 1.085.700 = 99.515.262 \text{ (W)} \quad (16)$$

Ovu količinu toplote moraju obezbediti dimni gasovi u ložištu kotla, koji je uglavnom putem zračenja i manjim delom konvektivnim putem predaju vodi koja isparava, tako što će slediti:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{dg} * C_{pdg} * (\theta_{dg} - \theta_{dg1})$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{dg} * (C_{pdg}^* / \rho_{dg}) * (\theta_{dg} - \theta_{dg1}) \quad (17)$$

Temperatura dimnih gasova na izlazu iz ložišta iznosi:

$$\begin{aligned} \theta_{dg1} &= \theta_{dg} - (\dot{Q} * \rho_{dg}) / (\dot{m}_{dg} * C_{pdg}^*) = \\ &= 2.096,24 - \frac{99.515.262 * 0,68324}{48,763 * 1.679,3} = 1.265,92 \text{ (} ^\circ\text{C)} \end{aligned} \quad (18)$$

3.3. Analiza procesa pregrevanja pare

Potrebna količina toplote u jedinici vremena za pregrevanje pare iznosi:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{wp} * C_{pwp} * (\theta_{wp2} - \theta_{wp1}) = 91,66 * 2.940 * (540 - 335) = 55.243.482 \text{ (W)} \quad (19)$$

Ovu količinu toplote moraju obezbediti dimni gasovi na svom putu od ložišta ka ekonomajzeru odnosno:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{dg} * C_{pdg} * (\theta_{dg1} - \theta_{dg2})$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{dg} * (C_{pdg}^* / \rho_{dg}) * (\theta_{dg1} - \theta_{dg2}) \quad (20)$$

Temperatura dimnih gasova na izlazu iz pregrejača pare iznosi:

$$\begin{aligned}\theta_{dg2} &= \theta_{dg1} - (\dot{Q}^* \rho_{dg}) / (\dot{m}_{dg} * C_{pdg}^*) = \\ &= 1.265,92 - \frac{55.243.482 * 0,68324}{48,763 * 1.679,3} = 805 \text{ (} ^\circ\text{C)}\end{aligned}\quad (21)$$

3.4 Analiza procesa zagrevanja vode

Potrebna količina toplote u jedinici vremena za zagrevanje vode iznosi:

$$\dot{Q} = \dot{m}_w * C_{pw} * (\theta_{w2} - \theta_{w1}) = 91,66 * 4.640 * (335 - 210) = 53.162.800 \text{ (W)} \quad (22)$$

Ovu količinu toplote moraju obezbediti dimni gasovi na svom putu od pregrejača pare ka zagrejaču vazduha [2], odnosno:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_{dg} * C_{pdg} * (\theta_{dg2} - \theta_{dg3}) \\ \dot{Q} &= \dot{m}_{dg} * (C_{pdg}^* / \rho_{dg}) * (\theta_{dg2} - \theta_{dg3})\end{aligned}\quad (23)$$

Temperatura dimnih gasova na izlazu iz ekonomajzera iznosi:

$$\begin{aligned}\theta_{dg3} &= \theta_{dg2} - (\dot{Q}^* \rho_{dg}) / (\dot{m}_{dg} * C_{pdg}^*) = \\ &= 805 - \frac{53.162.800 * 0,68324}{48,763 * 1.679,3} = 361,43 \text{ (} ^\circ\text{C)}\end{aligned}\quad (24)$$

3.5. Analiza procesa zagrevanja vazduha

Potrebna količina toplote u jedinici vremena za zagrevanje vazduha iznosi:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_v * C_{pv} * (\theta_v - \theta_{v0}) \\ \dot{Q} &= \dot{m}_v * (C_{pv}^* / \rho_v) * (\theta_v - \theta_{v0}) = 43,254 * \frac{1.314,1}{0,674} * (250 - 20) = 19.396.466 \text{ (W)}\end{aligned}\quad (25)$$

Ovu količinu toplote moraju obezbediti dimni gasovi na svom putu od ekonomajzera do izlaza iz kotla, odnosno:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_{dg} * C_{pdg} * (\theta_{dg3} - \theta_{dg4}) \\ \dot{Q} &= \dot{m}_{dg} * (C_{pdg}^* / \rho_{dg}) * (\theta_{dg3} - \theta_{dg4})\end{aligned}\quad (26)$$

Temperatura dimnih gasova na izlazu iz kotla iznosi:

$$\theta_{dg4} = \theta_{dg3} - (\dot{Q}^* \rho_{dg}) / (\dot{m}_{dg} * C_{pdg}^*) = 361,43 - \frac{19.396.466 * 0,68324}{48,763 * 1.679,3} = 199,6 \text{ (} ^\circ\text{C)} \quad (27)$$

Na kraju treba istaći da je strujanje dimnih gasova u celom kotlu obezbeđeno uz pomoć dva snažna ventilatora vazduha koji obezbeđuju potreban nadpritisk u ložištu.

4. KONTROLA KVALITETA SAGOREVANJA

U cilju kontrole kvaliteta sagorevanja i emisije štetnih materija u toku rada kotlovskih jedinica, neophodno je sprovoditi sledeće:

1. Stalno pratiti i satno evidentirati u pogonski izveštaj za kotao, sadržaj kiseonika u dimnim gasovima na izlazu iz ložišta (O_2) u % . Sadržaj (O_2) bi trebao da se kreće od 2÷3% u zavisnosti od kvaliteta mešanja vazduha i goriva u ložištu, dužine plamena, rasporeda rada gorionika, kvaliteta raspršivanja tečnog goriva i drugih faktora. Ako se merenje sadržaja (O_2) vrši ne na izlazu iz ložišta već na nekom drugom mestu duž druge promaje kotla, moguće je kod kotlova sa podpritisom u ložištu da zbog presisavanja „falš“ vazduha sadržaj (O_2) bude veći od navedenog. To daje lažnu sliku o količini vazduha za sagorevanje jer „falš“ vazduh koji je kasnije usisan u gasni trakt nije bio u ložištu, pa samim tim nije ni učestvovao u procesu sagorevanja. Zbog toga je pored merenja (O_2) neophodno meriti i sadržaj ugljen-monoksida (CO) u dimnim gasovima. Sadržaj (O_2) treba smanjivati dok u dimnim gasovima ne počne da se javlja ugljen-monoksid (CO u ppm) kao pokazatelj nepotpunog sagorevanja. Sadržaj (CO) ne sme biti veći od granične vrednosti emisije (GVE) prikazanih u tabeli 1.
2. Ako nema kontinualnog merenja ugljen – monoksida, neophodno je najmanje dva puta u toku nedelje vršiti analizu dimnih gasova prenosivim analizatorom TESTO. Ovaj aparat istovremeno daje rezultate merenja dimnih gasova (O_2), (CO), (SO_2) i (NO_x). Za potpunu analizu rada kotlovskog postrojenja potrebno je pored navedenih merenja imati u vidu broj gorionika u radu, vrstu goriva (gas ili mazut), potrošnju goriva, donju toplotnu moć goriva i produkciju kotla.
3. Pored navedenih parametara i drugi parametri kao što su niska temperatura dimnih gasova na izlazu iz ložišta, nemogućnost postizanja projektne temperature pregrejane pare i pored smanjenog ili zatvorenog hlađenja, pad produkcije kotla i vizuelni efekti kao što je boja plamena i crn dim na izlazu iz dimnjaka ukazuju na loš kvalitet sagorevanja. Nepotpuno sagorevanje ima za posledicu prljanje zagrevnih površina, višu temperaturu dimnih gasova na izlazu iz kotla, manji stepen korisnosti kotla, povećano zagađivanje životne sredine i drugo.
4. Kod kombinovanog loženja na gas i mazut sadržaj (SO_2) u produktima sagorevanja ne sme preći granične vrednosti emisije (GVE). Ako izmerene vrednosti (SO_2) ipak prevazilaze (GVE) potrebno je smanjiti potrošnju mazuta a povećati potrošnju prirodnog gasa sve dok se vrednost (SO_2) ne smanji ispod GVE. Potrebno je protok goriva po jednom gorioniku držati u propisanim granicama:

$$2800 \text{Stm}^3/\text{h} \leq \text{GAS} \leq 3400 \text{Stm}^3/\text{h}$$

$$2,4 \text{ t/h} \leq \text{MAZUT} \leq 2,8 \text{ t/h}$$

Sadržaj (NO_x) u produktima sagorevanja ne sme biti veći od vrednosti GVE [1], a ako je izmerena vrednost prevazilazi, potrebno je smanjiti višak vazduha na najmanju moguću meru.

Tabela 1. Granične vrednosti emisije

GVE (granična vrednost emisije)	Jedinica mere	GPO (glavni pogonski objekat)	
		gas	mazut
CO	ppm	100	175
NO _x	mg/m ³	350	450
SO ₂	mg/m ³	1700	3200
Praškaste materije	mg/m ³	5	100

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu vršen je kontrolni proračun parnog kotla, koji je u suštini isti kao i projektni proračun, ali sa različitim zadacima i traženim vrednostima. Kod ovog proračuna su za postojeću konstrukciju i poznate dimenzije parnog kotla za zadato opterećenje i vrstu goriva određene temperature vode, pare, vazduha i gasova kao i potrebna količina toplote za njihovo dostizanje.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da dobijene temperature odgovaraju proračunskim, ali se razlikuju zbog realne donje toplotne vrednosti goriva koja je uzeta za ovaj proračun.

Optimizacijom viška vazduha može se znatno uticati na ekonomičan rad kotlovskog postrojenja. Sadržaj (O₂) treba smanjivati dok u dimnim gasovima ne počne da se javlja ugljen-monoksid (CO u ppm) kao pokazatelj nepotpunog sagorevanja, a koji je još u granicama granične vrednosti emisije dimnih gasova. Zbog manje količine svežeg vazduha ložište se manje hladi, potrošnja goriva je manja, temperatura dimnih gasova u ložištu veća, a time i veća predaja toplote isparivačima i pregrejačima pare. Smanjenje količine goriva direktno utiče na povećanje stepena korisnosti kotlovskog postrojenja. Manji protok vazduha kroz gorionike utiče i na smanjenje emisije štetnih materija (NO_x, CO i SO₂), manje zagađenje okoline, i manje izdvajanje novčanih sredstava za plaćanje taksi koje TE-TO ima obavezu da plati kao emiter.

6. LITERATURA

1. Bogner M., *Termotehničar*- tom1, Poslovna politika Beograd, Beograd, 1992.
2. Projektno tehnička dokumentacija TE-TO Zrenjanin.
3. Bogner M., *Termotehničar*- tom2, Poslovna politika“ Beograd, Beograd, 1992.
4. Brkić LJ., Živanović T., *Parni kotlovi*, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2002.
5. Brkić LJ., Živanović T., Tucaković D., *Termički proračun parnih kotlova*, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2002.
6. Đurić V., *Parni kotlovi*, Građevinska knjiga Beograd, Beograd, 1969.