

ENERGETSKI I EKONOMSKI UTICAJI UGRADNJE DODATNOG EKONOMAJZERA NA BLOKU B1 TENT B

Vladimir Stevanović¹⁾, Miloš Milić²⁾, Zoran Stojanović²⁾, Milorad Jovanović²⁾

¹⁾**Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 11120 Beograd, vstevanovic@mas.bg.ac.rs**

²⁾**PD Termoelektrane “Nikola Tesla”, 11500 Obrenovac, milosmilic@tent.rs,
zoran.stojanovic@tent.rs, milorad.jovanovic@tent.rs**

Apstrakt.

Termoelektrana „Nikola Tesla B“ (TENT B) se sastoji od dva istovetna bloka B1 i B2 projektne nominalne snage električnog generatora bruto od 618,4 MW po bloku. Gorivo je lignit garantovane donje toplotne moći 6700 kJ/kg. Blokovi rade u kondenzacionom režimu, a za hlađenje kondenzatora turbopostrojenja se koristi voda iz reke Save. Radni vek blokova B1 i B2 TENT B je približno 200.000 sati. U cilju održavanja uspešnih proizvodnih rezultata, koji su u većem periodu dosadašnjeg rada bili iznad planiranih i iznad prosečnih za termoelektrane na ugaj sličnih karakteristika u svetu, na TENT B se sprovode projekti povećanja snage, stepena korisnosti i revitalizacije i modernizacije pojedinih sistema. Značajan potencijal za povećanje energetske efikasnosti bloka je u iskorišćenju otpadne toplote dimnih gasova, s obzirom da je temperatura izlaznih dimnih gasova na kotlovima oba bloka B1 i B2 TENT B, posle prolaska kroz regenerativni zagrejač vazduha, u intervalu od 180 °C do 190 °C. U slučaju zaprljanja kotlovskih površina ili poremećaja temperature napojne vode ova temperatura može biti i preko 200 °C. Temperatura dimnih gasova je za 30 °C do 50 °C viša od projektne temperature za čist kotao od 151 °C. Takođe, ograničenje povećanju snage blokova je veliki pad pritiska kroz cevni sistem jednaprotičnog parnog kotla. Ovaj pad pritiska je za preko 50% veći u odnosu na projektnu vrednost pri nominalnom opterećenju. U cilju iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova na bloku B1 TENT B ugrađen je dodatni zagrejač vode (ekonomajzer EKO1A). Postavljen je neposredno iznad postojećeg ekonomajzera koji se sastoji od dve zagrejačke površine EKO1 i EKO2, u slobodnom prostoru na vrhu konvektivnog dimnog kanala, tako da se po toku dimnog gasa sledstveno redno zagrevaju EKO 2, EKO 1 i EKO 1A. Po toku napojne vode EKO1A je paralelno povezan sa EKO 1. Napojna voda iz dodatnog EKO1A i postojećeg EKO 1 se meša pre ulaska u EKO2. Dodatni EKO 1A se napaja vodom posebnom dodatnom linijom napojne vode sa potisa turbonapojne pumpe. Kroz dodatni EKO1A protiče od 20% do 30% od ukupnog protoka napojne vode kroz isparivač. Radovi su izvedeni u periodu od šest meseci 2012. godine. Nakon rekonstrukcije, u nominalnom projektnom radu, ostvareno je smanjenje temperature dimnog gasa iza regenerativnog zagrejača vazduha do 20 °C. Paralelna veza dodatnog zagrejača vode EKO1A sa postojećim zagrejačem EKO1 dovodi i do smanjenja pada pritiska od linije napojne vode do ulaza u isparivačke površine kotla za približno 5 bar. Dodatno smanjenje pada pritiska je ostvareno i zamenom dela vertikalnih isparivačkih cevi i čišćenjem cevi kotla, tako da je ukupni pad pritiska od ulaza do izlaza iz kotla smanjen za 20 bar. Izvedena I faza rekonstrukcije omogućava povećanje bruto električne snage bloka do 650 MW. Po osnovu iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova ostvaruje se do 10 MW „zelene“ električne snage, a stepen korisnosti bloka bruto se povećava za oko 0,6 procentnih poena. Vreme otplate investicija je približno 2 godine prema sadašnjim cenama električne energije u Srbiji. Izvedeno rešenje je originalno u odnosu na do sada poznata rešenja za iskorišćenje otpadne toplote, kao što su ona primenjena u termoelektranama Schwarze Pumpe, Boxberg i Lippendorf ili u savremenom bloku K termoelektrane Niederaussem. U radu su prikazani izvedeno tehničko unapređenje rada bloka B1 TENT B, kao i energetske i ekonomske efekte rekonstrukcije.

ENERGY AND ECONOMIC INFLUENCE OF THE ADDITIONAL ECONOMIZER INSTALMENT AT THE UNIT B1 OF TPP “NIKOLA TESLA B”

Vladimir Stevanovic¹⁾, Miloš Milić²⁾, Zoran Stojanovic²⁾, Milorad Jovanović²⁾

¹⁾Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, 11120 Belgrade, Serbia,
vstevanovic@mas.bg.ac.rs

²⁾Thermal Power Plants “Nikola Tesla”, 11500 Obrenovac, Serbia, milosmilic@tent.rs,
zoran.stojanovic@tent.rs, milorad.jovanovic@tent.rs

Abstract.

The Thermal Power Plant (TPP) „Nikola Tesla B“ consists of two identical Units B1 and B2 with installed capacity of 618.4 MW per unit. The fuel is lignite with the guaranteed lower heating value 6700 kJ/kg. The units operate in the condensing regime and the turbine condenser is cooled with the water from the Sava river. The Units B1 and B2 have been in operation approximately 200,000 hours. Up to now the TPP “Nikola Tesla B” has had successful production results, which have been greater than planned during most of the previous operational period and above the average ones of the coal-fired TPPs of the similar characteristics in the world. In order to continue with such achievements, reconstruction projects are being conducted at the TPP “Nikola Tesla B” with the aim to increase the capacity and efficiency and to revitalize and modernize some plant systems. Substantial potential for the increase of the energy efficiency of the plant exists in the utilization of the flue gas waste heat, since the flue gas temperature is in the range from 180 °C to 190 °C at the exit of the regenerative air heaters at the steam boilers of both units. In cases of fouling of heat transfer surfaces in the steam boiler or feedwater temperature disturbances this temperature can even increase 200 °C. This temperature is for 30 °C to 50 °C higher than the design temperature for the clean boiler of 151 °C. In addition, the obstacle to the increase of the Unit capacity is the high pressure drop in the tube system of the once-through steam boiler. This pressure drop is for 50% higher than the design value at the nominal load. Therefore, the additional water heater (economizer EKO1A) is installed at the Unit B1 of the TPP “Nikola Tesla B” with the aim of utilization of the flue gases waste heat. It is placed directly above the existing economizer, which consist of two heating surfaces EKO1 and EKO2. It is located at the top of the convective flue gas channel and the flue gases heats in series the economizers EKO2, EKO1 and EKO1A. On the feedwater side the economizer EKO1A is in parallel connection with EKO1. Feedwater from the additional EKO1A and the existing EKO1 is mixed at the inlet of EKO2. The additional EKO1A is fed by the feedwater with the separate additional line from the discharge of the feedwater pump. The feedwater flow rate through the additional EKO1A is in the range from 20% to 30% of the total feedwater flow rate through the evaporator. The reconstruction work at the plant was finished for six months in 2012. After the reconstruction the reduction of the flue gas temperature for 20 °C is achieved at the outlet of the regenerative air heater. The parallel junction of the additional economizer EKO1A with the existing heater EKO1 leads to the decrease of the pressure drop from the feedwater line to the evaporator section inlet for approximately 5 bar. Additional pressure drop reduction is achieved by the replacement of the part of the vertical evaporating tubes section and by the boiler tubes chemical cleaning. Hence, the total pressure drop through the steam boiler is reduced for 20 bar. The performed first phase of the reconstruction enables the increase of the Unit capacity up to 650 MW. The capacity of 10 MW of the “green” electricity is achieved based on the waste heat utilization, while the thermal efficiency of the TPP Unit B1 is increased for approximately 0.6 percentage points. The simple pay back period of the investment is approximately 2 years according to the present electricity price in Serbia. The applied solution is original compared to other known methods for the waste heat utilization, such as those applied in the TPPs Schwarze Pumpe, Boxberg and Lippendorf or in the modern unit K of the TPP Niederaussem. The paper presents the applied technical improvement of the Unit B1 of the TPP „Nikola Tesla B“ and energy and economic effects of the performed reconstruction.

1. UVOD

Termoelektrana „Nikola Tesla B“ (TENT B) je ogranak Privrednog društva Termoelektrane „Nikola Tesla“ d.o.o., koje posluje u okviru Javnog preduzeća Elektroprivreda Srbije. TENT B se sastoji od dva bloka B1 i B2, koji su u vreme puštanja u pogon 1983., odnosno 1985. godine, sa projektnom snagom 618,4 MW bili u rangu najefikasnijih i najvećih parnih blokova na lignit u svetu. U dosadašnjem periodu TENT B je ostvario nadprosečne rezultate. U ukupnoj proizvodnji svih termoelektrana Elektroprivrede Srbije TENT B je učestvovao sa 24,5 %. Blok B1 je sa ukupnom raspoloživošću 0,84 i sa preko 210.000 sati na mreži proizveo 113,3 TWh električne energije, a blok B2 je sa istom raspoloživošću i tokom 196.000 sati rada, proizveo preko 104,2 TWh električne energije [1].

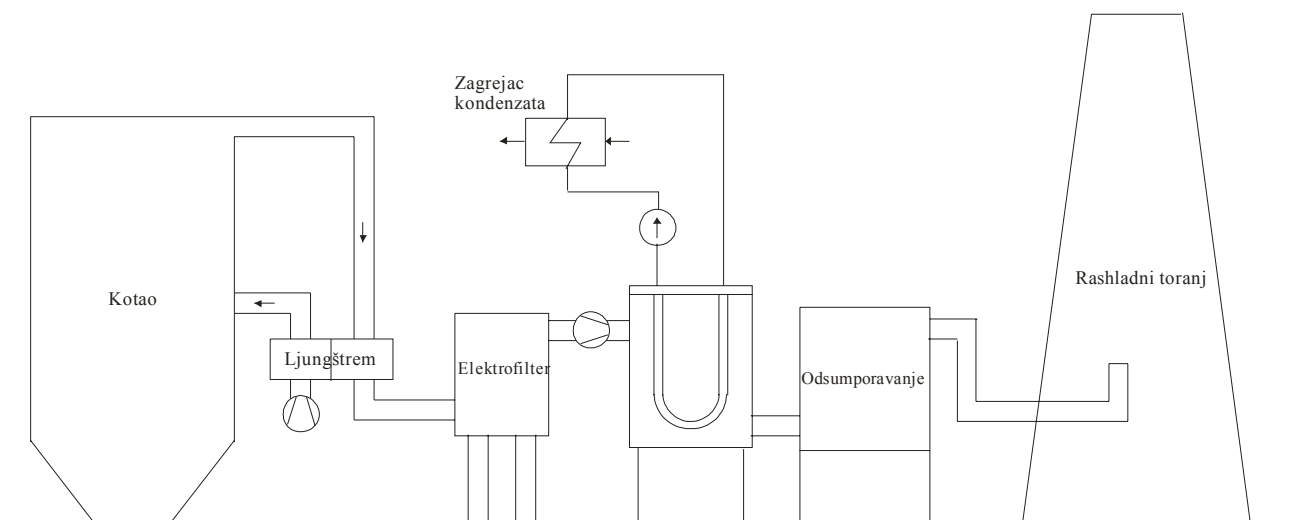
S obzirom na savremene zahteve za povećanjem ekonomske i energetske efikasnosti, smanjenjem uticaja na životnu sredinu i potrebe za zadovoljenjem rastuće potrošnje, Elektroprivreda Srbije sprovodi projekte revitalizacije, modernizacije i povećanja snage svojih termoblokova. Revitalizacija blokova je neophodna zbog isteklog radnog veka i sledstvene smanjene pouzdanosti vitalnih komponenti postrojenja. Modernizacija i povećanje snage su veoma isplativi projekti, koji omogućavaju vraćanje uloženi sredstava u kratkom roku. Na bloku B1 TENT B je u periodu od 6 meseci 2012. godine sprovedena I faza revitalizacije i modernizacije. Značajan potencijal za povećanje energetske efikasnosti blokova TENT B je sagledan u iskorišćenju otpadne toplote dimnih gasova. Temperatura izlaznih dimnih gasova iza regenerativnog zagrejača vazduha je na bloku B1 pre rekonstrukcije iznosila od 180 °C do 190 °C, koliko i danas iznosi na kotlu bloka B2 koji nije rekonstruisan. U slučaju zaprljanja kotlovskih površina ili poremećaja temperature napojne vode ova temperatura može biti i preko 200 °C. U poređenju sa projektnom temperaturom za čist kotao od 151 °C, temperatura dimnih gasova je viša za 30 °C do 50 °C. Takođe, ograničenje povećanju snage blokova B1 i B2 je sagledano i u velikom padu pritiska kroz cevne sisteme ovih jednoprotočnih parnih kotlova. Ovaj pad pritiska je za preko 50% veći u odnosu na projektnu vrednost pri nominalnom opterećenju. U cilju iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova na bloku B1 TENT B ugrađen je dodatni zagrejač vode (ekonomajzer EKO1A). Nakon ovih radova, koristeći i efekte rekonstrukcija iz prethodnih godina, omogućeno je povećanje bruto električne snage bloka do 650 MW. Po osnovu iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova ostvaruje se do 10 MW „zelene“ električne snage. Vreme otplate investicija u dodatni ekonomajzer samo po osnovu ove snage je oko 2 godine prema trenutnim cenama električne energije, a vreme otplate ukupnih troškova remonta, koji su omogućili ukupno povećanje snage za 30 MW je jedna i po godina.

Izvedeno rešenje je originalno u odnosu na do sada poznata rešenja za iskorišćenje otpadne toplote, kao što su ona primenjena u termoelektranama Schwarze Pumpe, Boxberg i Lippendorf [2] ili u savremenom bloku K termoelektrane Niederaussem [3]. U radu su prikazani izvedeno tehničko unapređenje rada bloka B1 TENT B, kao i energetski i ekonomski efekti rekonstrukcije.

2. SAVREMENA PRAKSA U ISKORIŠĆENJU OTPADNE TOPLOTE DIMNIH GASOVA

Dosadašnja praksa u svetu na termoelektranama koje kao gorivo koriste ugalj je pokazala da postoji potreba za ugradnjom dodatnih toplotno-razmenjivačkih površina za sniženje temperature dimnih gasova na izlazu iz kotla [4]. Takođe, temperaturu dimnih gasova na izlazu iz kotla treba sniziti do vrednosti od približno 130°C ukoliko se dimni gas uvodi u postrojenje za izdvajanje sumpornih oksida [5]. Kao primer se navode termoelektrane Schwarze Pumpe, Boxberg i Lippendorf u vlasništvu kompanije Vattenfall Europe iz Nemačke [2], koje kao gorivo koriste lignit. Na najvećim blokovima ovih elektrana, električne snage od 800 MW do preko 900 MW, temperatura dimnih gasova na izlazu iz kotla, iza regenerativnog zagrejača vazduha, iznosi oko 180°C, pri čemu u slučaju zaprljanja kotlovskih razmenjivačkih površina može biti i veća (do 190°C). Za potrebe odsumporavanja, dimni gasovi se hlade do približno 130°C u razmenjivačima

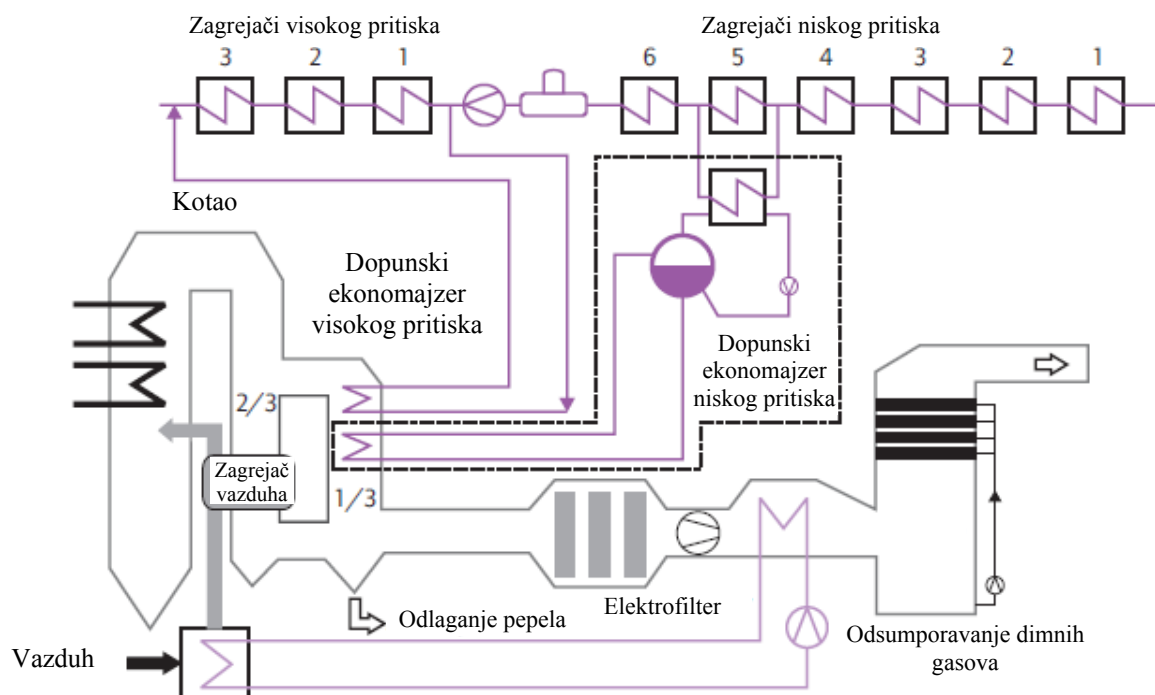
toplote postavljenim po toku dimnog gasa iza regenerativnog zagrejača vazduha tipa Ljungštrema, iza elektrofiltera (slika 1), a ispred postrojenja za odsumporavanje. Toplota dimnih gasova u razmenjivaču toplote predaje se vodi koja je sekundarni nosilac toplote. Toplota zagrejene vode se zatim u drugom, dodatnom razmenjivaču toplote voda - voda, predaje kondenzatu. Na taj način se, preko sekundarnog nosioca toplote, toplota dimnih gasova koristi za zagrevanje kondenzata. Prema ovom rešenju potrebno je ugraditi dva nova razmenjivača toplote, na liniji dimnih gasova i na liniji kondenzata, kao i cevovod za sekundarni nosilac toplote - vodu između dva nova razmenjivača toplote. U cilju zaštite od sumporne korozije u razmenjivačima toplote dimni gas-voda preduzete su posebne mere, kao što su korišćenje posebnih materijala otpornih na koroziju u razmenjivačima toplote, presvlačenje cevi razmenjivača toplote teflonskim folijama, kao i korišćenje uređaja za spiranje sumporne kiseline sa površina u razmenjivačima toplote. Pored ovog tehnološkog problema zaštite od sumporne korozije, nedostatak prikazanog rešenja je i manji energetska, a samim tim i ekonomski efekat, zbog iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova na manjem temperaturnom nivou, na samom izlazu iz kotla iza regenerativnog zagrejača vazduha, odnosno uvođenje te toplote na niskom temperaturnom nivou radnog fluida u turbopostrojenju u liniji kondenzata.



Slika 1 Zagrevanje kondenzata toplotom dimnih gasova [2]

Energetski i ekonomski povoljnije rešenje za iskorišćenje otpadne toplote dimnih gasova je ostvareno na poslednjem izgrađenom savremenom bloku u termoelektrani Niederaussem u Nemačkoj, blok K (sa oznakom BoA od „Braunkohlekraftwerk mit optimierter Anlagentechnik”). Termoelektrana Niederaussem je u sastavu kompanije Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE) [3]. Navedeni blok K tipa BoA je u pogonu od 2003. godine, ima bruto električnu snagu od 1012 MW. Na njemu je primenjen visoko optimizirani parni ciklus koji obezbeđuje i izuzetno visok neto stepen korisnosti od 43%. Deo savremenog rešenja je i tok dimnih gasova nakon glavnog ekonomajzera na vrhu kotla. Naime, tok dimnog gasa se deli na dve paralelne struje, kao što je prikazano na slici 2. Dve trećine (2/3) toplih dimnih gasova struji kroz dva rotaciona Ljungštrema regenerativna zagrejača vazduha, koji su zbog toga manji nego što je uobičajeno, dok ostatak (1/3) dimnih gasova prolazi kroz dodatni ekonomajzer visokog pritiska za zagrevanje kotlovske napojne vode i dodatni ekonomajzer niskog pritiska za zagrevanje kondenzata. U kolo ekonomajzera niskog pritiska uključen je i parni doboš (slika 2). Dodatni ekonomajzer visokog pritiska se napaja posebnim cevovodom sa potisa napojne pumpe, a zagrejana napojna vode se iz dodatnog ekonomajzera vraća u cevovod napojne vode iza zagrejača visokog pritiska broj 3. Ekonomajzer niskog pritiska se napaja vodom prirodnom cirkulacijom iz doboša (slika 2), u njemu voda ključa i dvofazna mešavina se vraća u doboš. Para iz doboša se vodi ka razmenjivaču toplote para-voda, koji je na vodenoj strani u paralelnoj vezi sa zagrejačem kondenzata broj 5. Kondenzacijom pare u

razmenjivaču zagreva se kondenzat koji se dovodi sa ulaza u zagrejač kondenzata broj 5 i vraća se u liniju kondenzata iza zagrejača kondenzata broj 5.



Slika 2 Iskorišćenje toplote dimnih gasova na bloku K termoelektrane Nideraussem pomoću ekonomajzera visokog i niskog pritiska [3]

3. TERMOELEKTRANA „NIKOLA TESLA B“

Termoelektrana „Nikola Tesla B“ (TENT B) se nalazi na desnoj obali Save, 57 km uzvodno od Beograda, na teritoriji opštine Obrenovac (slika 3). Sastoji se od dva bloka B1 i B2, bruto instalisane snage 618,4 MW po bloku, koji su pušteni u pogon 1983. i 1985. godine. Termoelektrana kao gorivo koristi lignit iz ugljenog basena Kolubara.

Blokovi TENT B su u pogonu prosečno 6400 sati godišnje na nominalnoj snazi, sa godišnjom proizvodnjom od preko 7,5 milijardi kWh. U Tabeli 1 su prikazani osnovni podaci blokova TENT B1 i TENT B2.

Tabela 1 Osnovni podaci blokova TENT B1 i TENT B2 [1]

Nazivne veličine i parametri	Jedinica	Blok B1	Blok B2
Nominalna snaga	MW	618,4	618,4
Snaga na pragu	MW	580	580
Datum ulaska u pogon	–	03.11.1983.	28.11.1985.
Projektna specifična potrošnja bruto	kJ/kWh	9200	9200
Proizvođač kotla	–	Rafako-Poljska	
Proizvođač turbine	–	Alstom, Francuska	
Proizvođač generatora	–	BBC, Švajcarska	

Blokovi B1 i B2 TENT B su identični. U svakom bloku su spregnuti po jedan generator pare, jedna parna turbina i jedan generator električne energije. Osnovni tehnološki proces proizvodnje električne energije se zasniva na termodinamičkom ciklusu vodene pare do kritičnih toplotnih karakteristika, sa ponovnim dogrevanjem pare. Pregrejana para se proizvodi u kotlu i odvodi sistemom parovoda u turbinsko postrojenje. Nakon ekspanzije u delu turbine visokog pritiska, para

se ponovo vodi u kotao na dogrevanje. Dogrejana para dalje ekspandira u srednjem i niskopritisnom delu turbine do pritiska kondenzacije. U okviru termodinamičkog ciklusa se ostvaruje regenerativno zagrevanje kondenzata i napojne vode u sistemu površinskih zagrejača i rezervoaru napojne vode sa deaeratorom. Osnovni parametri tehnološkog procesa u projektnom nominalnom režimu rada bloka su sledeći:

– Nominalna snaga	618,4 MW,
– Protok sveže pare	522,22 kg/s (1880 t/h),
– Pritisak sveže pare na izlazu iz kotla	186,5 bar,
– Pritisak sveže pare na ulazu u turbinu	177,5 bar,
– Temperatura sveže i međupregrejane pare na izlazu iz kotla	540 °C,
– Temperatura sveže i međupregrejane pare na ulazu u turbinu	535 °C,
– Protok međupregrejane pare	473,11 kg/s (1703,20t/h),
– Pritisak međupregrejane pare na izlazu iz kotla	42 bar,
– Pritisak međupregrejane pare na ulazu u turbinu	39,2 bar,
– Temperatura napojne vode	257,7 °C,
– Pritisak kondenzacije pri projektnoj temperaturi rashladne vode od 12,6 °C	0,042 bar.



Slika 3 Termoelektrana „Nikola Tesla B“

Na blokovima B1 i B2 TENT B su ugrađeni protočni parni kotlovi sa prinudnom cirkulacijom, jednim naknadnim pregrevanjem i jednim prolazom dimnih gasova, istovetne toranjske konstrukcije i istih projektnih radnih parametara. Napojna voda se u kotao dovodi iz napojnog rezervoara, protiče kroz turbonapojnu pumpu koja se pogoni pomoćnom parnom turbinom, i preko dve paralelne linije zagrejača visokog pritiska utiče u ekonomajzer kotla. Iz kotla ističe sveža para koja se odvodi u turbinu visokog pritiska.

4. UGRADNJA DODATNOG EKONOMAJZERA NA BLOKU B1 TENT B

Blokovi B1 i B2 TENT B navršavaju 30 godina rada sa preko 210.000 sati u pogonu bloka B1 i preko 196.000 sati bloka B2. U cilju održavanja dosadašnjih uspešnih proizvodnih rezultata, koji su u većem periodu rada bili iznad planiranih i iznad prosečnih za termoelektrane na uglj sličnih karakteristika u svetu, na TENT B se sprovode projekti povećanja snage, stepena korisnosti i revitalizacije i modernizacije pojedinih sistema. Jedan od bitnih projekata koji je sproveden na bloku B1 u 2012. godini je povećanje stepena korisnosti i snage bloka putem ugradnje dodatnog ekonomajzera za iskorišćenje otpadne toplote dimnih gasova na kotlu.

Projekat ugradnje dodatnog ekonomajera je proistekao iz činjenice da temperatura izlaznih dimnih gasova na kotlovima oba bloka B1 i B2 TENT B, posle prolaska kroz dva regenerativna zagrejača vazduha (LUVVO) tipa Ljungström, iznosi od 180 °C do 190 °C (prema projektu temperatura dimnih gasova na izlazu iz kotla u zaprljanom stanju iznosi 180 °C [6]). U slučaju poremećaja temperature napojne vode i zaprljanja kotlovskih površina ova temperatura može biti i preko 200°C. Temperatura dimnih gasova je za 30÷50°C viša od projektne temperature za čist kotao od 151°C. S obzirom na ovaj potencijal za smanjenje temperature dimnih gasova na izlazu iz kotla, sagledane su tehničke mogućnosti značajnog povećanja energetske efikasnosti rada blokova TENT B i shodno tome povećanja ekonomske dobiti [7]. Sniženje temperature dimnih gasova je potrebno i zbog projekta odsumporavanja dimnih gasova, čija se realizacija planira u neposrednoj budućnosti.

Prva faza revitalizacije i modernizacije bloka B1 izvršena je za 6 meseci od maja do oktobra 2012. godine. Obuhvatila je radove na kotlovskom postrojenju: ugradnju dodatnog ekonomajzera i novog cevovoda za njegovo napajanje sa potisa napojne pumpe, zamenu dela isparivača, zamenu cevnih elemenata na ulazu i izlazu svih grejnih tela, zamenu pregrejača pare broj jedan i međupregrejača pare 2 i 3 sa pripadajućim ovesnim cevima i antiabrazivnim zaštitama, zamenu zaobilaznog voda visokog pritiska sa ventilom sigurnosti, kapitalni remont rešetke za dogorevanje i ugradnju parnih duvača gara. Takođe, zamenjeno je saće regenerativnog zagrejača vazduha i obavljeni su remont kanala dimnog gasa sa pripadajućim klapnama, ventilatora dimnih gasova, mlinova uglja, dozatora i dodavača uglja, odšljakivača, kao i remont opreme za transport pepela i šljake.

Dodatni ekonomajzer, označen sa EKO 1A na slici 4, ugrađen je prema originalnom rešenju u cilju iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova na izlazu iz kotla. EKO 1A se napaja pomoću novog dodatnog cevovoda sa potisa napojne pumpe. Paralelno je povezan sa postojećim ekonomajzerom EKO 1. Od 20 % do 30 % protoka vode kroz isparivač kotla se zagreva u EKO 1A. Napojna voda se iz dodatnog ekonomajzera EKO 1A uvodi u mešač, u kome se meša sa vodom iz postojećeg ekonomajzera EKO 1. Nakon toga pun protok napojne vode prolazi kroz postojeći drugi ekonomajzer EKO 2. Zagrejačke površine EKO 2, EKO 1 i EKO 1A su redno postavljene po toku dimnog gasa, pri čemu je EKO 1A postavljen iznad EKO1 u kanalu dimnog gasa.

Karakteristike dodatnog ekonomajzera su sledeće [9]: površina za razmenu toplote iznosi 18500 m², spoljašnji prečnik i debljina zida cevi su $\phi 33,7 \times 4,5$ mm, broj panela sa cevima je 199, broj cevi u okviru jednog panela je 2, a dužina jedne cevi u okviru panel je 440 m. Dodatni cevovod napojne vode prema EKO 1A je dimenzionisan tako da je ukupni pad pritiska od potisa napojne pumpe do izlaza iz EKO 1A manji od pada pritiska kroz osnovnu liniju napojne vode i EKO 1. Na taj način se postiže da u normalnom pogonu napojna voda kroz osnovnu liniju struji bez prigušenja u regulacionom ventilu (u „napojnoj glavi“). Po potrebi se jedino reguliše protok ka EKO 1A. Maksimalna razlika temperatura napojne vode na izlazu iz dodatnog ekonomajzera EKO 1A i na izlazu iz EKO 1 (tokovi napojne vode koji se direktno mešaju) ne prelazi 80 °C, tako da je isključena mogućnost termomehaničkog naprezanja zidova mešača.

Pri projektovanju ugradnje dodatnog ekonomajzera uzeto je u obzir da ograničenje povećanju snage na blokovima B1 i B2 TENT B, putem povećanja protoka radnog fluida, jeste značajno veći pad pritiska kroz cevni sistem kotla od projektom predviđenih vrednosti. Pogonski uslovi kotla na bloku B1 pre rekonstrukcije, na nominalnom opterećenju od 1880 t/h, pokazivali su pad pritiska od

ulaza u ekonomajzer (ispred blende) do separatora (nakon izlaza iz isparivača) od 39 bar, dok prema projektu ovaj pad pritiska iznosi približno 20 bar, što daje povećanje pada pritiska od 19 bar. Pri istim uslovima pad pritiska od separatora do izlaza iz pregrejača pare broj četiri iznosi 35 bar, dok prema projektu ovaj pad pritiska iznosi približno 25 bar, što daje povećanje pada pritiska od 10 bar. Dakle, ukupni pad pritiska u radu kotla na bloku B1 od ulaza u ekonomajzer do izlaza iz pregrejača pare broj četiri pri nominalnom opterećenju od 1880 t/h pre rekonstrukcije je iznosio 74 bar, dok projektna vrednost iznosi 45 bar, što daje povećanje pada pritiska od 29 bar, odnosno povećanje od 64% [8]. Između ostalog i ove činjenice su uticale na izbor paralelne veze dodatnog ekonomajzera sa postojećim prvim stepenom ekonomajzera, tako da ugradnja dodatnog ekonomajzera ne povećava pad pritiska u kotlu, već naprotiv, dovodi do njegovog smanjenja.

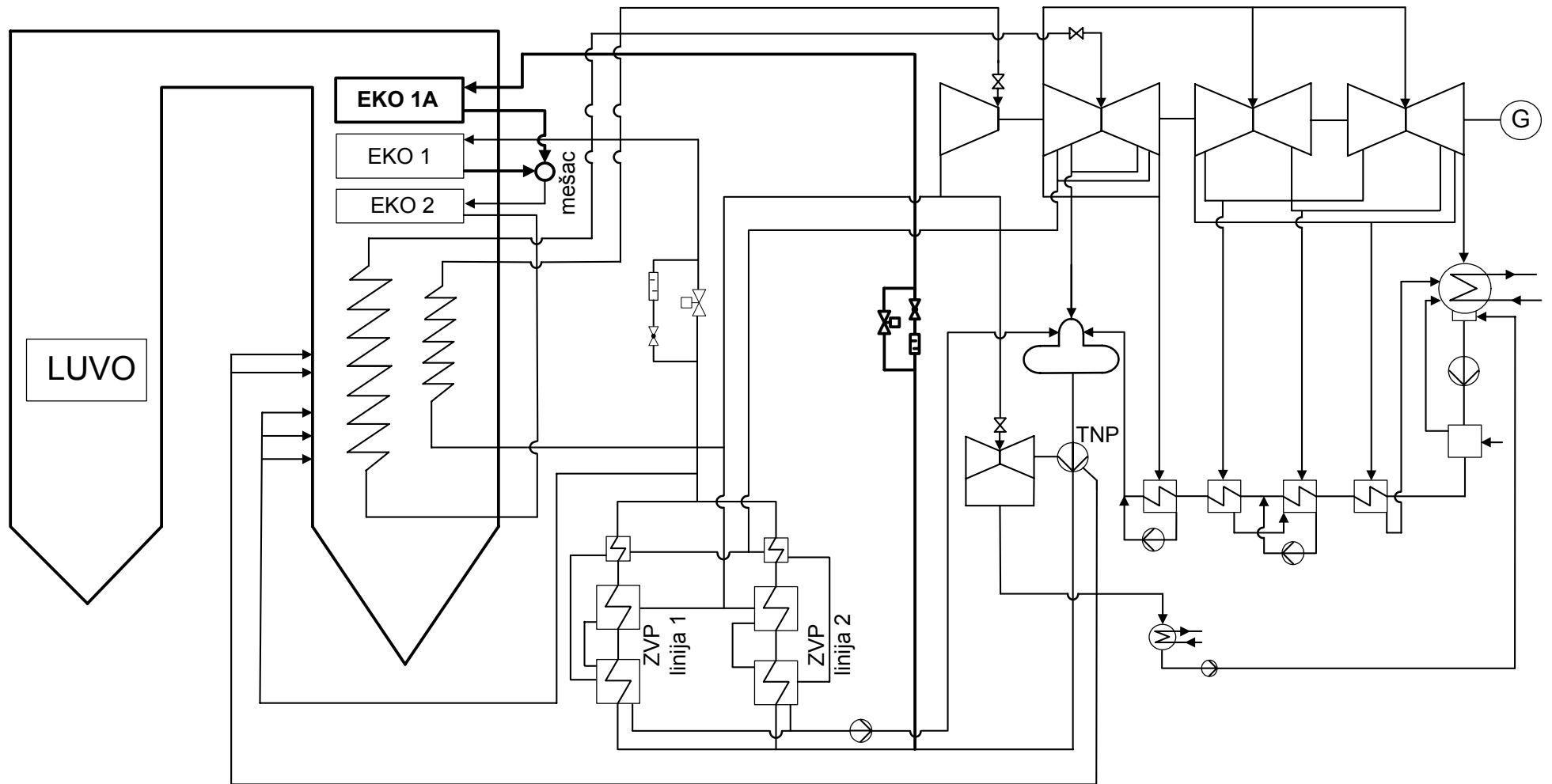
Paralelna veza dodatnog ekonomajzera EKO1A sa postojećim zagrejačem EKO1 dovodi do smanjenja pada pritiska od linije napojne vode do ulaza u isparivačke površine kotla za približno 5 bar. Dodatno smanjenje pada pritiska je ostvareno i zamenom vertikalnih isparivačkih cevi i čišćenjem cevi kotla, tako da je ukupni pad pritiska od ulaza do izlaza iz kotla smanjen za 20 bar. Izvedena I faza rekonstrukcije omogućava povećanje bruto električne snage bloka do 650 MW.

Ugradnja dodatnog ekonomajzera EKO 1A snižava temperaturu dimnog gasa iza regenerativnog zagrejača vazduha do 20 °C na snazi od 650 MW. Po osnovu iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova, koja se predaje turbopostrojenju bez utroška uglja, ostvaruje se do 10 MW „zelene“ električne snage, a stepen korisnosti bloka neto se povećava za oko 0,6 procentnih poena. Vreme otplate investicija je približno 2 godine prema sadašnjim cenama električne energije u Srbiji.

5. ZAKLJUČAK

Na Termoelektrani „Nikola Tesla B“ (TENT B) u Obrenovcu (2x618,4 MW), u toku 2012. godine izvršena je I faza revitalizacije i modernizacije bloka B1, u okviru koje je povećana snaga bloka na 650 MW. U okviru modernizacije bloka primenjeno je originalno rešenje ugradnje dodatnog ekonomajzera za iskorišćenje otpadne toplote dimnih gasova na izlazu iz kotla. Dodatni ekonomajzer je paralelno povezan sa postojećim prvim stepenom ekonomajzera i napaja se vodom direktno sa potisa napojne pumpe pomoću novougrađenog cevovoda. Protok napojne vode ka dodatnom ekonomajzeru je u rasponu od 20 % do 30 % od ukupnog protoka napojne vode kroz isparivač kotla. Ugradnjom dodatnog ekonomajzera povećan je stepen korisnosti bloka, što omogućava proizvodnju do 10 MW „zelene“ električne energije na račun iskorišćenja otpadne toplote dimnih gasova. Vreme povratka investicija u ugradnju dodatnog ekonomajzera je oko 2 godine prema sadašnjim cenama električne energije u Srbiji. Paralelna veza dodatnog ekonomajzera sa postojećim prvim stepenom ekonomajzera i deljenje ukupnog protoka napojne vode na dva cevovoda, smanjuje ukupni pad pritiska kroz cevni sistem kotla i omogućava ostvarivanje povećanog protoka radnog fluida koji je potreban za rad bloka na povećanoj snazi. Nakon ove rekonstrukcije blok B1 je dana 29.01.2013. godine ostvario rekordnu dnevnu proizvodnju od 15.140.000 kWh električne energije i time premašio rekord postavljen davne 1985. godine.

Dalje aktivnosti na TENT-u B treba da obuhvate sprovođenje navedene I faze revitalizacije i modernizacije i na bloku B2, kao i realizaciju II faze rekonstrukcije i revitalizacije blokova B1 i B2, koja između ostalog obuhvata i zamenu spiralnih isparivačkih cevi kotla, čiji je radni vek istekao, novim cevima većeg unutrašnjeg prečnika, što će obezbediti znatno povećanje pouzdanosti pogona i povećanje električne snage bloka do 670 MW. Pored toga, na blokovima B1 i B2 mogu se sprovesti i druge rekonstrukcije u cilju iskorišćenja otpadne toplote koja se sa produktima sagorevanja ili ispuštanjem radnog fluida u nominalnom pogonu ili pri startovanju postrojenja predaje okolini, a što može da doprinese daljem povećanju energetske efikasnosti i ekonomičnosti rada parnih blokova.



Slika 4 Šema bloka B1 TENT B sa ugrađenim dodatnim ekonomajzerom EKO 1A

Reference

1. Termoelektrana „Nikola Tesla“ B, Publikacija PD „Termoelektrane Nikola Tesla“ d.o.o., Obrenovac, 2013. <http://www.tent.rs/sr/vesti/369-publikacija-o-tent-b>
2. Altmann, H.: Warmeverschubsysteme im Rauchgassystem von Kraftwerksblöcken, VGB PowerTech, 9/2003.
3. Fossil fuel-fired power generation, Case Studies of Recently Constructed Coal- and Gas-Fired Power Plants, International Energy Agency, Paris, 2007.
4. Wang, C., He, B., Sun, S., Wu, Y., Yan, N., Yan, L., Pei, X., Application of a low pressure economizer for waste heat recovery from the exhaust flue gas in a 600 MW power plant, Energy 48 (2012) 196-202.
5. Radić, D., Stanojević, M., Stevanović, V., Jovović, A., Karan, M., Prica, S., Maslovarić, B., Obradović, M., Iskorišćenje otpadne toplote dimnih gasova u cilju povećanja stepena korisnosti kotla i uvođenja postupka odsumporavanja na TENT B, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd, Izveštaj IP501-707-2008, 2008.
6. Kratak pregled rezultata termotehničkog proračuna za 2 protočna parna kotla – Termoelektrana „Nikola Tesla B“, RAFAKO-SULZER sa EVZ Inženjeringom, Izveštaj 8492/0198, TENT B, Obrenovac.
7. Stevanović, V., Savić, B., Prica, S., Maslovarić, B., Analiza energetske i ekonomske uticaja ugradnje dodatnog ekonomajzera na bloku B1 TENT B, Elaborat OGPNR-02/2011, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu d.o.o., Beograd, 2011.
8. Stevanović, V., Prica, S., Maslovarić, B., Izrada dokumentacije termohidraulike strujanja u cevnim sistemima kotlova na blokovima B1 i B2 TENT B, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu d.o.o., Beograd, 2010.
9. Glavni projekat adaptacije parnog kotla BB-1880-prva faza „TE-Nikola Tesla B1“, RAFAKO Engineering Solution d.o.o., Beograd, 2012.