

EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA ZA KOMBINOVANU PROIZVODNJU ELEKTRIČNE I TOPLOTNE ENERGIJE U SISTEMU DALJINSKOG GREJANJA BEOGRADA

Vladimir Tanasić^{*,1}, Nikola Tanasić² i Mirjana Stamenić³

JKP Beogradske elektrane, Beograd, Srbija¹

Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd²

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet³

Abstrakt: Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije (CHP ili kogeneracija) je najefikasniji i najpogodniji pristup za smanjenje troškova za energente kod industrijskih energana i toplana za daljinsko grejanje koje kao gorivo koriste prirodni gas u cilju proizvodnje toplotne energije za različite potrebe. U radu su analizirane eksploatacione karakteristike postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije koje radi od 1. januara 2021. godine na Toplani Voždovac u okviru sistema daljinskog grejanja Beograda. Kombinovano postrojenje se sastoji od tri gasna motora nominalne električne snage 10 MW i toplotne snage 10,1 MW koji kao gorivo koriste prirodni gas, i koristi se za potrebe grejanja i pripremu potrošne tople dok se električna energija predaje u lokalnu elektro mrežu. Akcenat analize u ovom radu je na eksploatacionim karakteristikama postrojenja: broju radnih časova, ukupnoj potrošnji energenta i produkciji energije, stepenu korisnosti kao i na troškovima eksploatacije i održavanja. Posebno je analiziran uticaj drastičnog poremećaja cena prirodnog gasa, električne energije kao i troškova održavanja u poslednjih godinu dana na finansijsku isplativost kombinovanog postrojenja.

Ključne reči: kogeneracija, daljinsko grejanje, troškovi eksploatacije i održavanja

1. UVOD

Sistemi daljinskog grejanja (toplana), industrijska postrojenja i energane koji koriste prirodni gas, a kontinualni su potrošači električne, toplotne i/ili rashladne energije mogu ostvariti primenom kogeneracije značajne finansijske uštede.

Toplotni izvor toplana "Voždovac" snabdeva toplotnom energijom za grejanje i pripremu tople potrošne vode (PTV) konzumno područje u sledećim delovima grada: Banjica, Kumodraž, naselje Stepa Stepanović deo naselja Braće Jerković. Toplotni kapacitet u kotlovima je 232 MW (2 x 58

* Corresponding author e-mail: vladimir.tanasic@bgdel.rs

MW + 116 MW). Izgrađena su i dva parna kotla kapaciteta 2x11 t/h pare, za tehnološke potrebe i pripremu sanitarne potrošne tople vode u letnjem periodu. Ukupan konzum potrošača je 170 MW, a za PTV je predviđeno 24 MW. Osnovno gorivo je prirodni gas, alternativno gorivo je mazut. Toplotni izvor toplana "Voždovac" proizvodi toplotnu energiju za pripremu tople potrošne vode (PTV) koja se na delu konzumnog područja toplane "Voždovac" distribuira i koristi 24 sata dnevno 365 dana godišnje. Temperature primarne vode za pripremu PTV (projektni uslovi) su 70/55°C.

Na lokaciji Toplane "Voždovac" izgrađena su su tri kogeneraciona modula JMS 620 GS-N.LC, gasna motora, proizvođača Jenbacher za proizvodnju električne i toplotne energije sa vođenjem pogona prema prioritetu plasmana toplotne energije.

Osnovne komponente postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije su: četvorotaktni vazduhom hlađeni gasni motor i generator naizmenične struje. Mehanička energija gasnog motora se transformiše preko generatora u električnu energiju, dok se energija hlađenja motora, ulja i izduvnih gasova na postignutom temperaturnom nivou koristi za zagrevanje PTV i hladne vode za dopunu sistema toplotnog izvora toplane "Voždovac" [1].

U ovom radu su analizirane eksploatacione karakteristike kombinovanog postrojenja koje radi od 1. januara 2021. sa posebnim osvrtom na uticaj drastičnog poremećaja cena prirodnog gasa, električne energije kao i troškova održavanja u poslednjih godinu dana na finansijsku isplativost kombinovanog postrojenja.

2. STATUS POVLAŠĆENOG PROIZVOĐAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE

JKP "Beogradske elektrane" kao operater postrojenja pokrenule su postupak sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije 2019. godine prema odredbama: *Uredbi o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, privremenog povlašćenog proizvođača i proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije* „Službeni glasnik RS” broj 56, jun 2016. godine [2].

Prema pomenutoj Uredbi Vlade, za elektrane sa kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije instalisane snage do 10 MW, minimalni ukupni godišnji stepen korisnosti iznosi 75%. Sa projektovanim i dokazanim stepenom korisnosti od 92,14% kogeneraciono postrojenja toplane "Voždovac" ispunjavalo je kriterijume u pogledu energetske efikasnosti za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije [1]. Postrojenje je steklo status privremeno povlašćenog proizvođača električne energije dana 20.01.2020. godine sa rešenjem koje je izdato na rok od 2 godine. Prema pomenutoj Uredbi osnovna podsticajna otkupna cena za električnu energiju za Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas je iznosila 8,89 cEUR/kWh sa garantovanim periodom otkupa od 12 godina [2]. Sa statusom privremeno povlašćenog proizvođača električne energije cena otkupa iznosi svega 50% od navedene podsticajne cene.

Pored direktnog profita iz kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije, radom postrojenja postižu se dugoročni pozitivni efekti za sistem JKP "Beogradske elektrane" i Toplanu "Voždovac" i to:

- Povećanje raspoloživog kapaciteta u proizvodnji toplotne energije za pripremu tople potrošne vode, odnosno u budućnosti energije za hlađenje i klimatizaciju poslovnih objekata na konzumnom području toplane Voždovac;
- Toplana "Voždovac" je povlašćeni proizvođač električne energije, odnosno proizvođač "zelene" energije;
- Jeftinija, efikasnija i pouzdanija proizvodnja toplotne energije;
- Smanjenje emisije CO₂ odnosno sticanje zelenih sertifikata;
- Mogućnost apliciranja kod fondova Evropske unije za dalje investiranje u obnovljive izvore energije i kogeneraciju.

JKP "Beogradske elektrane" su trenutno u postupku produženja statusa privremeno povlašćenog proizvođača električne energije i dobijanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije što je uslovljeno rešavanjem imovinsko pravnog statusa na dve parcele kompleksa toplane.

U međuvremenu je prestala da važi Uredba po kojoj je započeta procedura sticanja statusa privremenog povlašćenog proizvođača električne energije i trenutno je na snazi: *Uredba o tržišnoj premiji i fid -in tarifi* („Službeni glasnik RS”, broj 40/21) iz 2021. godine [3]. Nova Uredba ne prepoznaje visokoefikasnu kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (kako je svrstano CHP postrojenje na Toplani Voždovac po prethodnoj Uredbi) kao postrojenje koje može steći pravo na tržišne premije i fid -in tarife.

3. EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA

U tabeli 1 i tabeli 2 prikazani su podaci o proizvedenoj električnoj i toplotnoj energiji, utrošku prirodnog gasa, sopstvenoj potrošnji električne energije i zbiru radnih sati za tri motora u 2021. i 2022. godini.

Tabela 1. Eksploatacione karakteristike postrojenja u 2021. godini

mesec	Proizvedena električna energija, MWh	Proizvedena toplotna energija, MWh	Potrošnja prirodnog gasa, 1000 m ³	Sopstvena potrošnja električne energije, MWh	Zbir radnih sati svih motora, h/god
januar	4.965,0	5.079,7	1.113,9	200,0	1.496
februar	4.690,7	4.701,6	1.312,4	250,0	1.437
mart	7.171,4	7.188,2	1.178,7	250,0	2.194
april	6.174,6	7.081,1	1.647,3	142,8	1.890
maj	4.958,8	5.640,0	1.530,1	130,0	1.552
jun	3.438,2	3.985,1	1.135,4	133,5	1.148
jul	2.951,7	3.353,6	800,3	119,7	1.053
avgust	2.921,9	3.346,0	693,7	106,2	1.007
septembar	3.619,7	4.001,0	698,2	111,6	1.204
oktobar	5.367,7	5.899,3	851,6	134,3	1.715
novembar	5.956,3	6.462,4	1.259,9	140,3	1.849
decembar	6.450,0	6.985,4	1.372,8	161,6	1.989
Ukupno:	58.666,0	63.723,5	13.943,7	1.880,1	18.534

Tabela 2. Eksploatacione karakteristike postrojenja u 2022. godini

mesec	Proizvedena električna energija, MWh	Proizvedena toplotna energija, MWh	Potrošnja prirodnog gasa, 1000 m ³	Sopstvena potrošnja električne energije, MWh	Zbir radnih sati svih motora, h/god
januar	4.352,9	4.422,3	965,1	133,9	1.350
februar	5.577,7	5.904,7	1.293,6	121,6	1.699
mart	7.004,7	7.208,2	1.579,3	148,8	2.113
april	6.909,4	7.117,7	1.540,9	166,4	2.090
maj	4.591,5	4.914,6	1.040,6	147,1	1.494
jun	3.501,8	3.737,5	784,5	128,6	1.187
jul	2.949,9	3.194,7	667,5	126,9	1.016
avgust	2.842,6	3.057,2	649,6	120,6	938
septembar	3.647,8	3.868,1	825,2	97,4	1.184
oktobar*	5.367,7	5.899,3	1.259,9	134,3	1.715
novembar*	5.956,2	6.462,4	1.372,8	140,3	1.849
decembar*	6.450,0	6.985,4	1.463,3	161,6	1.989
Ukupno:	59.152,4	62.772,2	13.442,4	1.627,6	18.624

*Napomena: Procenjene vrednosti za poslednja tri meseca 2022. godine

Na osnovu prikazanih podataka iz tabele 1 i 2, sledi da je prosečni stepen korisnosti postrojenja na godišnjem nivou u 2021. je iznosio 91,2% dok je u 2022. godine iznosio 93,9%. Sopstvena potrošnja električne energije je na nivou od 2,7 do 3,2% od proizvedene.

Metodologija za izračunavanje cene električne energije za privremeno povlašćene i povlašćene proizvođače električne energije predviđa korekciju cene u odnosu na :

- godišnju inflaciju u Evrozoni,
- promenu cene prirodnog gasa.

$$C_3 = C_2 \cdot 0,33 + \frac{C_0 \cdot 0,67 \cdot G}{312,58} \quad (1)$$

Gde su:

C_3 -korigovana podsticajna otkupna cena za elektrane sa visokoefikasnom kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije cEUR/kWh,

C_2 -korigovana podsticajna otkupna cena zbog inflacije u Evrozoni,

C_0 -podsticajna otkupna cena određena na dan stupanja na snagu Uredbe kojom se uređuju podsticajne mere,

G-koeficijent korekcije promene cene gasa koju objavljuje Ministarstvo nadležno za poslove energetike.

Treba napomenuti da ugovorene metodologije za korekciju cene po kojoj povlašćeni proizvođači prodaju proizvedenu električnu energiju JP EPS-u ne prate u dovoljnoj meri promene na tržištu što stavlja u nepovoljan položaj proizvođača električne energije.

Prosečna cena po kojoj su JKP "Beogradske elektrane" kao privremeno povlašćeni proizvođač prodavali električnu energiju EPS-u za 2021. iznosila je 4,43 RSD/kWh, a u 2022. godini je 5,55 RSD/kWh što je povećanje od 25%. Kao što je ranije napomenuto ova cena predstavlja 50% od cene koja je garantovana pravnim licima koja imaju status povlašćenog proizvođača električne energije.

Sa druge strane u poslednjih godinu dana zabeleženo je poskupljenje cena gasa za oko 20% (sa 33,66 RSD/Sm³ na 40,1 RSD/Sm³) i cene električne energije, koja se plaća za sopstvenu potrošnju, od čak 40% (sa 5,66 RSD/kWh na 7,88 RSD/kWh) dok je cena toplotne energije ostala približno ista (8,92 RSD/kWh).

Ugovorena početna cena održavanja motora po radnom satu se koriguje jednom godišnje u januaru na osnovu statističkih podataka koje objavljuje Republički zavod za statistiku i to:

- Prosečna bruto zarada (plata) za grad Beograd,
- Kapitalna dobra,
- Tečna goriva i mazut.

Uzimajući u obzir date koeficijente, pri čemu najveći udeo ima prosečna bruto zarada, dobija se koeficijent sa kojim se množi početna ugovorena cena za održavanje tj. redovno servisiranje postrojenja. Jedinična cena za održavanje gasnih motora je porasla za 25% (sa 44,75 EUR/h na 55,68 EUR/h) u 2022. u odnosu na 2021. Redovno servisiranje i zamena ulja na motoru sa njegovim zaustavljanjem u vremenu od 24 h se sprovdi po isteku svakih 2.000 h rada pogona.

4. UTICAJ PROMENE CENA ENERGENATA I TROŠKOVA ODRŽAVANJA NA PERIOD POVRATA INVESTICIJE

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju rada u 2022. godini u odnosu na 2021. zabeleženo je značajno povećanje cena za energente i troškova održavanja postrojenja, dok je cena toplotne energije praktično ostala nepromenjena. Naknada za proizvedenu električnu energiju je takođe povećana ali ne u dovoljnoj meri da bi mogla da nadoknadi povećanje operativnih troškova. U tabelama 3 i 4 prikazani su rezultati analize ostvarenih prihoda i rashoda kao i njihov uticaj na period povrata investicije.

Tabela 3. Prihodi i rashodi postrojenja u 2021. godini

R.br.	OPIS	Jedinične cene	1000 RSD
1	2	3	4
	I PRIHODI		
1	Prihodi od prodaje el. energije po ugovoru o otkupu (50% od pune cene dok se ne dobije status povlašćenog proizvođača)	4,43 RSD/kWh	259.890,4
2	Prihodi od prodaje toplotne energije	8,92 RSD/kWh	568.413,6
	UKUPNI PRIHODI		828.304,0
	II RASHODI		
1	Troškovi za prirodni gas	33,66 RSD/Sm ³	469.344,9
2	Tekuće održavanje		98.619,4
3	Zarade		20.527,6
4	Troškovi za električnu energiju	5,66 RSD/kWh	10.641,4
5	Troškovi amortizacije, 10% od investicije		77.085,0
	UKUPNI RASHODI		676.218,3
	DOBIT		152.085,7
	INVESTICIJA		770.846,8
	Povrat investicije u godinama		5,07

Tabela 4. Prihodi i rashodi postrojenja u 2022. godini

R.br.	OPIS	Jedinične cene	1000 RSD
1	2	3	4
	I PRIHODI		
1	Prihodi od prodaje el. energije po ugovoru o otkupu (50% od pune cene dok se ne dobije status povlašćenog proizvođača)	5,55 RSD/kWh	328.295,8
2	Prihodi od prodaje toplotne energije	8,92 RSD/kWh	559.928,0
	UKUPNI PRIHODI		888.223,8
	II RASHODI		
1	Troškovi za prirodni gas	40,10 RSD/Sm ³	539.040,2
2	Tekuće održavanje		126.762,9
3	Zarade		20.527,6
4	Troškovi za električnu energiju	7,88 RSD/kWh	12.825,5
5	Troškovi amortizacije, 10% od investicije		77.085,0
	UKUPNI RASHODI		776.241,2
	DOBIT		111.982,6
	INVESTICIJA		770.846,8
	Povrat investicije u godinama		6,88

Iz rezultata se može zaključiti da je promena cena energenata i troškova održavanja u poslednjih godinu dana dovela do toga da je očekivana dobit od rada postrojenja smanjena za 26% što je dovelo do povećanja perioda povrata investicije sa 5,07 na 6,88 godina.

S obzirom da je najavljeno novo poskupljenje električne energije i prirodnog gasa u predstojećem periodu interesantno je analizirati kako bi dalji porast cene energenata uticao na period povrata investicije. Ukoliko se u 2023. godini cene za prirodni gas i električnu energiju dodatno povećaju za 15% a otkupna cena električne energije za povlašćene proizvođače takođe poveća za 15%, pri ostalim nepromenjenim parametrima, period povrata investicije bi se povećao na 11,3 godine čime bi bila ugrožena rentabilnost postrojenja koja je projektovana na 12 godina.

U skladu sa pomenutim promenama u odredbama Uredbi i trendom porasta cene energenata i troškova održavanja potrebno je razmisliti o korekciji ugovornih obaveza sa kupcem električne energije JP EPS u smislu prelaska na prozjumerski odnos. Prozjumer kupac -proizvođač podrazumeva da svu električnu energiju koja se proizvede na CHP Voždovac može biti iskorišćena na proizvodnim izvorima JKP "Beogradske elektrane".

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su analizirane eksploatacione karakteristike postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije koje radi od 1. januara 2021. na toplani Voždovac sa posebnim osvrtom na uticaj drastičnog poremećaja cena prirodnog gasa, električne energije kao i troškova održavanja u poslednjih godinu dana na finansijsku isplativost kombinovanog postrojenja.

Rezultati su pokazali da je prosečni stepen korisnosti postrojenja na godišnjem nivou u 2021. iznosio 91,2% dok je u 2022. godine iznosio 93,9%. Sopstvena potrošnja električne energije je na nivou od 2,7 do 3,2% od proizvedene.

Povećanje cena energenata (za prirodni gas 20% i za električnu energiju 40%) kao i troškova održavanja (za 25%) u poslednjih godinu dana dovela do toga da je očekivana dobit od rada postrojenja smanjena za 26% što je dovelo do povećanja perioda povrata investicije sa 5,07 na 6,88 godina.

Dalji trend poskupljenja energenata koji se očekuje u 2023. godini, ukoliko bude na nivou od 15% mogao bi ugroziti rentabilnost investicije u ovo postrojenje jer će se period povrata investicije povećati na približno 12 godina. Iz ovog razloga ima smisla razmisliti o korekciji ugovornih obaveza sa kupcem električne energije JP EPS u smislu prelaska na prozjumerski odnos, odnosno mogućnost korišćenja proizvedene električne energije za svoje potrebe na nivou JKP "Beogradske elektrane", što je omogućenom novom Uredbom o tržišnoj premiji i fid -in tarifi.

6. REFERENCE

1. Studija opravdanosti za kogeneraciono postrojenje na prirodni gas toplotni izvor "Voždovac" u Beogradu, "Termoprojekt" Beograd, 2017.
2. *Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, privremenog povlašćenog proizvođača i proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije*, „Službeni glasnik RS” broj 56/16, 2016.
3. *Uredba o tržišnoj premiji i fid -in tarifi*, „Službeni glasnik RS”, broj 40/21, 2021.

OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE CHP PLANT IN THE DISTRICT HEATING SYSTEM OF BELGRADE

Vladimir Tanasić¹, Nikola Tanasić^{*,2} and Mirjana Stamenić³

PUC Beogradske elektrane, Belgrade, Serbia¹

The Academy of Applied Technical Studies Belgrade²

University of Belgrade, Faculty of Mechanical engineering³

Abstract: The combined production of electricity and thermal energy (CHP or cogeneration) is the most efficient and convenient approach to reduce costs for energy at industrial power plants and district heating plants that use natural gas as fuel in order to produce thermal energy for various needs. In this paper the operational characteristics of the CHP plant, which has been operating since January 1, 2021 at the Voždovac Heating Plant as part of the Belgrade district heating system are analyzed. The CHP plant consists of three gas engine units with a total nominal electric power of 10 MW and a thermal power of 10.1 MW, which use natural gas as fuel. The CHP plant is used for district heating purposes and the preparation of domestic hot water (DHW) while electricity is sold to the local electric grid. The emphasis of the analysis in this paper is on the operational characteristics of the plant: the number of working hours, the total energy consumption and energy production, the efficiency as well as the operational and maintenance costs. Also, the impact of the drastic changes in the prices of natural gas, electricity and maintenance costs in the last year on the financial profitability of the CHP plant was analyzed in particular.

Keywords: CHP, district heating, operational and maintenance costs