

**PRIMENA I ISPLATIVOST KOGENERACIJE U TOPLANAMA SA SISTEMOM
PRIPREME TOPLE POTROŠNE VODE****APPLICATION AND COST-EFFECTIVENESS OF COGENERATION IN HEATING
PLANTS WITH A HOT WATER PREPARATION SYSTEM**Bojan Gagić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratik sadržaj – U radu je predstavljeno kogeneraciono postrojenje na toplani „Jug“ u Novom Sadu, koja je deo JKP „Novosadska toplana“. Toplana „Jug“ poseduje sistem pripreme tople potrošne vode (TPV), gde je kogeneracija pronašla svoju dobru primenu zbog celogodišnje potebe za toplotnom energijom. U radu je opisan princip rada, povezivanje i ključna oprema kogeneracionog postrojenja. Takođe je predstavljen i bilans energije postrojenja u radu, kao i isplativost investicije.

Ključne reči: Kogeneracija, toplana, topla potrošna voda.

Abstract – The paper presents the cogeneration plant at the "Jug" heating plant in Novi Sad, which is part of the "Novosadska toplana". The "Jug" heating plant has a hot water preparation system, where cogeneration has found its good application due to the year-round need for thermal energy. The paper describes the principle of operation, connection and key equipment of the cogeneration plant. Also presented is the energy balance of the plant in operation, as well as the profitability of the investment.

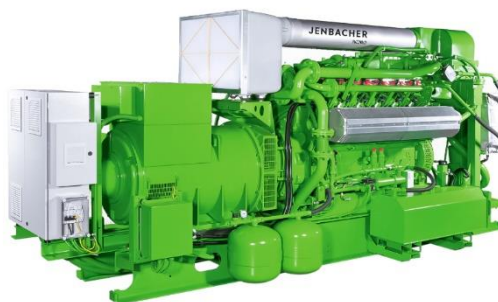
Keywords: Cogeneration, heating plant, hot water preparation system.

1. UVOD

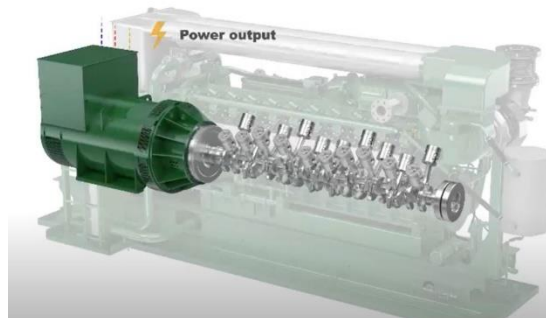
Visokoeffikasna proizvodnja energije je sve popularnija i zastupljenija u svetu. Kogeneracija ili CHP (*engl. Combined heat and power*) je odličan primer visokoeffikasne proizvodnje energije, gde se za jednu jedinicu goriva dobijaju dva proizvoda. Ako govorimo o gasnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, slika 1, kao kogeneracionoj tehnologiji za transformaciju energije, prvi proizvod koji dobijamo je električna energija nastala u generatoru, slika 2, sa kojim se motor spreže. Drugi proizvod je toplotna energija dobijene hlađenjem motora. Ova toplota je zapravo otpadna toplota sa čijim je iskorištavanjem podignut stepen efikasnosti postrojenja.

Gledajući sa ekološkog aspekta, kogeneracija je neuporedivo prihvatljivija u poređenju sa konvencionalnom odvojenom proizvodnjom električne i

toplotne energije, gde se električna energija proizvodi u termoelektranama, a toplotna energija u kotlarnicama. Kod konvencionalne proizvodnje, električna energija se proizvodi odvojeno od toplotne, samim tim, za svaki proces proizvodnje zasebno se troši gorivo, što kod kogeneracij nije slučaj. Manja potrošnja goriva, znači i manje zagađenje životne sredine.



Slika 1. Gasni motor [1]



Slika 2. Sprezanje motora i generatora [2]

Električna energija nastala u CHP postrojenju se može koristiti za sopstevne potrebe ili se može prodavati distribuciji električne energije.

Da bi postrojenje bilo efikasno, mora da postoji stalni konzum toplotne energije, zbog toga se mora voditi računa pri projektovanju da se odabere postrojenje odgovarajuće snage.

Određene toplane u Srbiji, pored sistema grejanje, imaju i sistem pripreme tople potrošne vode (TPV), gde je potražnja za toplotnom energijom prisutna tokom cele godine. Ovo je odličan potencijal za kogeneraciju, gde bi dobar deo konzuma TPV-a obezbeđivalo CHP postrojenje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Anđelković, vanred. prof.

2. TOPLANA „JUG“ U NOVOM SADU

Toplana „Jug“ predstavlja jednu od pet gradskih toplana grada Novog Sada u sklopu JKP „Novosadska toplana“. Toplana je izgrađena 1961. godine i nalazi se na adresi Vladimira Nikolića br. 1. Delovi Novog Sada koje toplana „Jug“ pokriva su Limani, Grbavica, Adamovićevo naselje, Bulevar i Stari grad.

Toplana pokriva i veće objekte u gradu kao što su Merkator, SPENS, zgrada NIS-a.

Instalisana snaga toplane Jug je 139,56 MW za grejanje, 35,32 MW za TPV i 4,008 MW el. kapacitet. Osnovno gorivo toplane je prirodni gas, ali postoji mogućnost i rada na lako lož ulje.

3. CHP POSTROJENJE NA TO „JUG“

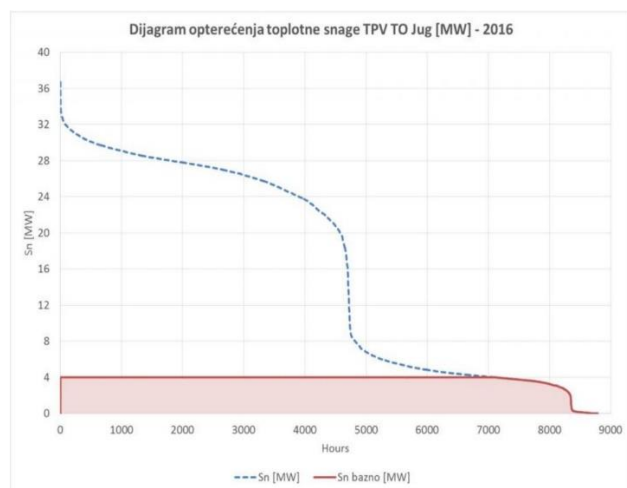
Trenutni toplotni kapacitet toplane u režimu 90/70°C i na pritisku od 6 bar-a koji se plasira u TPV sistem iznosi:

- Kotao K1, kapaciteta 23,26 MW
- Kotao K8, kapaciteta 8 MW
- CHP postrojenje, kapaciteta 4,06 MW

Ukupno 35,32 MW

Za odabir potrebne snage CHP postrojenja na toplani „Jug“ korišćani su podaci za isporučenu količinu toplotne energije u sistem pripreme tople potrošne vode za 2016. godinu.

Godišnji svedeni dijagram opterećenja toplotne snage TPV-a na toplotnom izvoru „Jug“, slika 3, iz analize podataka za 2016. godinu, pokazuje da godišnji broj časova sa baznim opterećenjem (toplotnom snagom) većom ili jednakom od 4,0 MW iznosi oko 6700 časova.



SLIKA 3. DIJAGRAM OPTEREĆENJA TOPLOTNE SNAGE TPV-A ZA 2016. [3]

3.1 Ključna oprema CHP postrojenja

Odabrana su 2 **gasna motora** proizvođača GE Jenbacher, tip JMS 612 GS-N.LC. Kapacitet proizvodnje toplotne energija motora iznosi: 2 x 2030 kWh = 4060 kWh – temperature 90/71,3°C. Kapacitet proizvodnje električne energije (10 kV i 50 Hz) iznosi: 2 x 2004 kWh = 4008 kWh.

Za smanjenje buke tokom strujanja dimnih gasova ugrađeni su **prigušivači buke**, koji se postavljaju u dimnom kanalu.

Smanjenje koncentracije NO_x na propisanu vrednost od 100 mg/Nm³ (3% O₂) se ostvaruje preko **katalizatora**, dovodom reagensa uree u struju dimnih gasova na visokoj temperaturi i raspršivanjem u pravoj deonici dimnog trakta ispred katalizatora.

Predaja toplote iz dimnih gasova ostvaraju se pomoću **utilizatora toplote**.

Rashladna kula se ugrađuje za slučaj kada nema predaje toplote toplifikacionom sistemu. Toplota se usmerava ka njoj, gde je ona emituje u okolinu štiteći motore od pregrevanja.

Toplotna energija gasnog motora se predaje indirektno preko **pločastih izmenjivača toplote**. Na CHP postrojenju toplane „Jug“ predaja toplote se vrši direktno toplifikacionom sistemu (visoka temperatura) i sistemu zagrevanja omekšane vode (niska temperatura). Izmenjivači koju su ugrađeni su proizvođača Ipros, tipovi: NT 100X CDL-16 (za visoku temperature) i NT 50M CDS-16 (za nisku temperaturu).

Ciruklacija vode kroz četiri hidraulička kruga ostvaraju se pomoću **centrifugalnih pumpi**.

3.2 Hidraulički krugovi

U tabeli 1 predstavljani su hidraulički krugovi kogeneracionog postrojenja na toplani „Jug“.

Tabela 1. *Hidraulički krugovi*

Visoka temperatura			
Br.	Temperaturski režim	Fluid	Krug
1	85/65°C	voda	Grad povrat – Izmenjivač NT 100X CDL-16 – Grad potis TPV
2	90/71,3°C	glikol - voda	Izmenjivač NT 100X CDL-16 – Gasni motor – Izmenjivač NT 100X CDL-16
Niska temperatura			
	Temperaturski režim	Fluid	Krug
3	44/15°C	voda	HPV – Izmenjivač NT 50M CDS-16 – HPV
4	49,1/45°C	glikol - voda	Izmenjivač NT 50M CDS-16 – Gasni motor – Izmenjivač NT 50M CDS-16

4. BILAS ENERGIJE

CHP postrojenje je krenulo sa radom u decembru 2019. godine i radi sve do sada. Postrojenje nije imalo većih zastoja, osim u martu i aprilu 2020. kada je bilo uvedeno vanredno stanje usled korona virusa, i uredba Vlade koja je definisala otkup stuje je bila suspendovana.

Ukupna cena investicije je bila 3.911.673 €, i investicija bi trebala biti otplaćena u septembru 2023. godine. Period otplate će biti oko 3 godine i 9 meseci. Nakon toga, JKP „Novosadska toplana“ će imati čistu dobit od ovog postrojenja do kraja podsticajnog period od 12 godina.

Proizvodnja toplotne i električne energije, kao i stepen efikasnosti postrojenja u radu, dato je u tabeli 2.

Tabela 2. *Proizvodnja energije CHP postrojenja na TO "Jug" [4]*

God	Proizvedena el.E [MWh]	Porizv. toplotna E [MWh]	Energija gasa [MWh]	Stepen efikasnosti [%]
2019	1,545	1,442	3,357	89.0%
2020	19,610	18,080	43,848	86.0%
2021	29,751	29,411	68,642	86.2%
2022	30,839	30,698	70,456	87.3%
Total*	95,620	93,075	217,674	86.7%

*od decembra 2019. – maja 2023.

Ukupni godišnji stepen korisnosti elektrane za kombinovanu proizvodnju (η) predstavlja odnos između ukupno proizvedene energije (električne i toplotne) i energetske vrednosti potrošenog goriva, koji se računa prema formuli (1):

$$\eta = \frac{E+Q}{E_{pg}} \quad (1)$$

gde je:

E - ukupna godišnja proizvodnja električne energije u kombinovanoj proizvodnji, MWh,

Q - ukupna godišnja korisna potrošnja toplotne energije iz kombinovane proizvodnje koja obuhvata toplotnu energiju potrošenu za sopstvene potrebe i prodatu toplotnu energiju, MWh,

E_{pg} - energetska vrednost potrošenog goriva tokom godine za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije, MWh.

Ukupna dosadašnja proizvodnja (do maja 2023.) toplotne energije iz CHP postrojenja je iznosila 93.075 MWh. Što predstavlja 24% od ukupne toplote plasirane u sistem pripreme tople potrošne vode.

Pokrivenost TPV od toplotne energije iz CHP postrojenja u lenjim mesecima penje se i na 92-97%.

Udeo pokrivenosti CHP postrojenja za 2022. prikazan je na slici 4.



Slika 4. *Pokrivenost CHP-a u proizvodnji tpv za 2022.*

Finansijski bilans CHP postrojenja na toplani "Jug" po godinama predstavljen je u tabeli 3.

Podaci su zaključno sa majom 2023. godine.

Tabela 3. *Finansijski bilans postrojenja [4]*

God	Vrednost el.E [€]	Vrednost toplotne E [€]	Vrednost gasa [€]	Servis [€]	Dobit [€]
2019	64,128	58,264	111,579	23,181	-12,368
2020	1,253,474	730,369	1,164,744	294,153	524,946
2021	2,208,873	1,188,229	1,912,553	434,069	1,050,481
2022	2,879,330	1,241,811	2,393,637	533,825	1,193,679
Total*	7,860,984	3,822,655	6,803,525	1,525,393	3,354,720

*od decembra 2019. – maja 2023.

Povlašćena otkupna cena struje je ključ isplativosti kogeneracionog postrojenja u toplanama sa TPV sistemom. Okupna cena struje 04.07.2023. za CHP postrojenje na TO "Jug" je bila 113,85 €/MWh, dok je cena struje koju kupuje toplana za podmirivanje svojih potreba 110,81 €/MWh.

Cena otkupa električne energije iz CHP postrojenja se fomira iz fomule (2) iz člana 17 Uredbe o ugovoru o otkupu električne energije [5].

$$C_3 = C_2 * 0,33 + C_0 * 0,67 * G / 312,58 \quad (2)$$

gde je:

C_3 - korigovana podsticajna otkupna cena za elektrane sa visokoeffikasnom kombinovano proizvodnjom električne i toplotne energije, c€/kWh,

C_2 - korigovana podsticajna otkupna cena zbog inflacije, korekcija cene se vrši svake godine u februaru, c€/kWh,

C_0 - podsticajna otkupna cena, određena na dan stupanja na snagu uredbe kojom se uređuju podsticajne mere, c€/kWh,

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

Kada je postrojenje krenulo sa radom, okupna cena struje je bila 85,83 €/MWh (decembar 2019.), dok je danas 113,85 €/MWh (jul 2023.).

Primetan je konstantan rast otkupne cene struje iz visokoeffikasne kombinovane proizvodnje. Sa višom otkupnom cenom, kraći je period otplate investicije i veća zarada do kraja podsticajnog perioda. Sve nam to govori da je investiranje u kogeneraciona postrojenja veoma isplativo u narednom periodu, naravno, samo uz povlašćenu otkupnu cenu struje.

5. PRORAČUN

Parametri na osnovu kojih se vrši odabir odgovarajućih pumpi za cirkulaciju u hidrauličkim krugovima su napor i protok pumpe. Ovi parametri se dobijaju iz formula (3) i (4):

$$H = 1,25 * \Delta p \quad (3)$$

$$G = 1,1 * V \quad (4)$$

gde je:

H – napor pumpe, Pa,

Δp – ukupni pad pritiska u sistemu, Pa,

G – protok pumpe, m³/h,

V – zapreminski protok, m³/h.

Pri promeni temperature radnog fluida dolazi do promene gustine, što za posledicu ima i promenu zapremine fluida u sistemu. Širenje fluida usled zagrevanja prihvata zatvorena membranska ekspanzionna posuda. Ekspanzija mešavine glikol-voda u sistemu izračunava se preko formule (5):

$$\Delta V = \frac{V}{2} \left(\frac{\rho_a}{\rho_{raz.}} - 1 \right) + \frac{V}{2} \left(\frac{\rho_a}{\rho_{pov.}} - 1 \right) \quad (5)$$

gde je:

ΔV – promen zapremine u sistemu, m³,

V – zapremina mešavine glikol-voda u sistemu, m³,

ρ_a – gustina mešavine u hladnom stanju, kg/m³,

$\rho_{raz.}$ – gustina mešavine na temperaturi razvoda, kg/m³,

$\rho_{pov.}$ – gustina mešavine na temperaturi povrata, kg/m³.

Izbor zapremine ekspanzionog suda se vrši na osnovu ekstremnog slučaja kada se startuje iz hladnog stanja na osnovu formule (6):

$$V = \Delta V \times \left(\frac{P_S + 1}{P_S - P_O} \right) \quad (6)$$

gde je:

V – minimalna potrebna zapremina ekspanzione posude, m³,

ΔV – promen zapremine u sistemu, m³,

P_S – pritisak otvaranja ventila sigurnosti, bar,

P_O – predpritisak u ekspanzionoj posudi, bar.

Potrebna količina vazduha za hlađene gasnih motora tokom rada se izračunava preko formule (7):

$$L = \frac{Q}{\rho \times c_p \times (t_u - t_s)} \quad (7)$$

gde je:

L – potrebna količina vazduha, m³/h,

Q – disipacija toplote gasnih motora, kW,

ρ – gustina vazduha, kg/m³,

c_p – specifična toplota vazduha, kJ/kgK,

t_u – dozvoljena unutrašnja temperatura vazduha, °C,

t_s – projektna letnja spoljna temperatura vazduha, °C.

Broj izmena vazduha u prostoriji gde su smešteni gasni motori izračunava se prema formuli (8):

$$i = \frac{L_u}{V} \quad (8)$$

gde je:

i – broj izmena vazduha tokom 1h, iz/h,

L_u – protok vazduha, m³/h,

V – zapremina prostorije u kojoj su smešteni motori, m³.

6. ZAKLJUČAK

Toplotna energija nastala hlađenjem gasnih motora skoro da skroz pokriva konzum toplotne energije TPV-a u letnjim mesecima na toplani "Jug". Na taj način se između ostalog, produžava životni vek kotlova za TPV jer se minimalno pale tokom toplog perioda godine.

Na godišnjem nivou, kogeneracija na toplani "Jug" pokriva oko ¼ konzuma. Iako je potrošnja gasa u ovim toplinama sa ugradnjom CHP postrojenja veća, to ipak u konačnici za zemlju znači manja emisija štetnih gasova nego pri odvojenim proizvodnjama električne i toplotne energije.

Sa povlašćenom cenom električne energije, postrojenja obima kao na toplani "Jug" se isplate za oko 3-4 godine. A ostatak perioda trajanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, toplane bi imale čistu profit. Uz tendenciju stalnog rasta oktupne cene električne energije, profit iz godinu u godinu bi bio sve veći.

Iako su svi izgledi da će kogeneracija sa upotrebom gasnih motora u budućnosti doživeti svoj procvat u industrijskom sektoru, postoji ipak mala sumnja da li će sagorevanje fosilnih goriva, kao glavnih izvora gasova sa efektom staklene bašte, ostati osnovni izvor energije u Evropi narednih decenija.

7. LITERATURA

- [1] www.orient-power.com/jenbacher-type-3 (5.7.2023.)
- [2] Jenbacher Gas Engine | Mechanical To Electrical Energy (<https://www.youtube.com/watch?v=jtmBIGPkXYs&list=LL&index=1> 14.07.2023.)
- [3] Konkursna dokumentacija za javnu nabavku radova; Projektovanje, izgradnja i potpuno održavanje kogeneracionog postrojenja na TO "JUG", u otvorenom postupku J.N. br. 1-1/18, JKP „Novosadska toplana“, Novi Sad, avgust 2018.
- [4] Izvor: JKP "Novosadska toplana"
- [5] Uredba o ugovoru o otkupu električne energije („Službeni glasnik RS“, br. 56/2016, 61/2017 i 106/2020)

Kratka biografija:



Bojan Gagić rođen je u Beogradu 1996. god. Završio je gimnaziju »Laza Kostić« u Novom Sadu, nakon čega 2015. god. upisuje Fakultet tehničkih nauka u oblasti Mašinstvo – Energetika i procesna tehnika. Bachelor rad odbranio je 2021.god. Dok je Master rad odbranio 2023. god.
kontakt: gagic2018@gmail.com