

**DIMENZIONISANJE MIKROKOGENERACIJSKOG SISTEMA
JEDNOG STAMBENOG OBJEKTA**

**DIMENSIONING OF THE MICRO COGENERATION SYSTEM OF
ONE RESIDENTIAL BUILDING**

Stručni članak

Pred. VŠ Semir Oglečevac*

Sažetak

U uvodu ovoga članka se govori o problemu po pitanju energetske efikasnosti i zagađenju okoline, zatim o pojmu kogeneracije, njenim prednostima i nedostacima, kao i o njenom doprinosu na smanjenje emisije štetnih gasova. Također se govori i o razlici između kogeneracije i mikrokogeneracije, kao i o analizi trenutnog stanja i perspektive u BiH po pitanju kogeneracije. U uvodu je još opisan i stambeni objekat u gradu Sarajevu za koji će se dimenzionisati mikrokogeneracijski sistem u svrhu proizvodnje električne i toplotne energije.

U drugom poglavlju izvršene su analize temperatura vanjskog okolnog zraka za grad Sarajevo i razmatrani su svi mogući sistemi iz kojih se može generisati toplotna energija za različite objekte na području Kantona Sarajevo. Zatim je dat i proračun toplotnih gubitaka za odabrani stambeni objekat, kao i faktori koji najviše utiču na potrebe toplotne energije.

U trećem poglavlju su dobijeni rezultati odnosno dijagram dnevne potrošnje toplotne energije za odabrani stambeni objekat. Na osnovu tog dijagrama i krive trajanja toplotnog opterećenja (LDC-krive) odredila se nazivna snaga mikrokogeneratora. Ovdje je još opisan rad mikrokogeneracijskog sistema i data je njegova funkcionalna šema. Na kraju se još odredio režim rada tog sistema, odnosno kojom će toplotnom snagom sistem raditi u datom momentu i ekonomska analiza kojom se dokazuje isplativost mikrokogeneracijskog sistema.

Ključne riječi: mikrokogeneracija, motor sa unutrašnjim sagorijevanjem, električna energija, toplotna energija, emisija CO₂.

Abstract

The introduction to this article discusses the problem of energy efficiency and environmental pollution, the concept of cogeneration, its advantages and disadvantages, as well as its contribution to reducing

* Visoka škola "CEPS - Centar za poslovne studije". E-mail: semir.oglecevac@ceps.edu.ba

emissions. The difference between cogeneration and micro cogeneration is also discussed, as well as the analysis of the current situation and perspective in B&H regarding cogeneration. The introduction also describes a residential building in the city of Sarajevo for which a micro cogeneration system will be dimensioned for the purpose of producing electricity and heat.

In the second chapter, analyzes of outdoor ambient air temperatures for the city of Sarajevo are performed and all possible systems from which thermal energy can be generated for various facilities in the Sarajevo Canton are considered. Then, the calculation of heat losses for the selected residential building is given, as well as the factors that most influence the needs of thermal energy.

In the third chapter, the results are obtained, i.e. a diagram of the daily consumption of thermal energy for the selected residential building. Based on this diagram and the heat load duration curve (LDC curves), the rated power of the micro cogenerator was determined. The operation of the micro cogeneration system is described here and its functional scheme is given. In the end, the mode of operation of that system was determined, i.e. the thermal power of the system will work at a given moment and the economic analysis which proves the profitability of the micro cogeneration system.

Keywords: micro cogeneration, internal combustion engine, electricity, heat, emission.

1. UVOD

U današnjem brzorastućem društvu gdje pri stalnom povećanju broja stanovništva se proporcionalno povećavaju i potrebe za električnom i toplotnom energijom. Iz tog porasta proizilazi i povećana proizvodnja ta dva korisna oblika energije, kao i povećanje emisije CO₂ i ostalih štetnih gasova u okolinu. Emisija štetnih gasova i globalno zagrijavanje koje nastaje kao posljedica te emisije su jedni od velikih problema kako u svijetu, tako i u BiH. Kao jedno od mogućih rješenja za smanjenje emisije štetnih gasova i za povećanje energetske efikasnosti nameće se proces kogeneracije i sve veća primjena kogeneracijskih postrojenja.

Kogeneracija je istovremena proizvodnja električne i toplotne energije u jedinstvenom procesu. Toplotna energija koja ostaje neiskorištena u konvencionalnim elektranama, pri kogeneracije se koristi za različite tehnološke procese kao što su proizvodnja pare, zagrijavanje zraka i zagrijavanje vode, a sve u svrhu grijanja stambenih objekata, industrija ili čak cijelih naselja [1].

Razlika između kogeneracije i mikrokogeneracije je u radnim karakteristikama. Kod kogeneracije primarni cilj je proizvodnja električne energije, a toplota nastaje kao posljedica te proizvodnje, dok kod mikrokogeneracije je primarni cilj proizvodnja toplotne energije. Prednosti kogeneracijskih sistema za razliku od konvencionalnih tehnologija su: veći stepen efikasnosti, redukcija štetnih gasova, sigurnost opskrbe i manji troškovi i gubici transporta energije, prvenstveno zbog toga što se takvi tipovi sistema obično grade u blizini potrošača. Jedni od osnovnih nedostataka za ovakve sisteme su visoki investicijski troškovi i neregulisana energetska politika države.

Evropska unija je već davno definisala tri glavna cilja svoje energetske politike, a to su:

- sigurnost opskrbe,
- industrijska konkurentnost,
- zaštita okoliša.

Kogeneracija je jedna od rijetkih tehnologija koja ispunjava ova sva tri cilja i iz toga razloga sve više raste njena primjena u evropskim državama. Danska, Luksemburg i Holandija su države sa najvećim udjelom zastupljenosti kogeneracijskih sistema, a razlog tome je političke i zakonodavne prirode tih zemalja [2]. U BiH se i dalje najveći dio energije dobija iz termoelektrana, koje su službeno najveći zagađivači okoline. Procjenjuje se da je potencijal za izgradnju kogeneracijskih sistema u BiH velik i neiskorišten. Domaćinstva odnosno porodične kuće i stambene zgrade su značajni potrošači toplotne i električne energije (oko 58% od ukupne energije) [3], tako da oni predstavljaju izuzetno velik potencijal za izgradnju kogeneracijskih odnosno mikrokogeneracijskih sistema. Uzima se za primjer stambeni objekat u gradu Sarajevu koji ima 20 stanova jednake površine od 85 m², za koji će se dimenzionisati mikrokogeneracijski sistem, pa se na osnovu toga vrši potrebna analiza i proračun potrebnih veličina.

2. ANALIZA I METODE PRORAČUNA

Toplotna energija za grijanje objekata na području Kantona Sarajevo realizira se iz sljedećih sistema [4]:

1. Sistem daljinskog grijanja putem javnih i privatnih kompanija koje se bave generisanjem i distribucijom toplotne energije (KJKP Toplane, BAGS, itd.)
2. Sopstvene kotlovnice koje nisu u vlasništvu nekog od distributera toplotne energije, a koje toplotnu energiju generišu iz prirodnog gasa, tečnog i čvrstog goriva, itd.

3. Individualna ložišta koja se većinom koriste u zgradama kolektivnog stanovanja sa etažnim sistemima grijanja te u objektima individualnog stanovanja.
4. Kao četvrta mogućnost za generisanje toplotne energije, prvenstveno u svrhu grijanja, otvara se za male kogeneracijske sisteme, koji bi se razlikovali u odnosu na ova 3 sistema po tome što bi istovremeno proizvodili i električnu energiju.

Da bi se dimenzionisao mikrokogeneracijski sistem za jedan stambeni objekat mora se izvršiti detaljna analiza toplotnih gubitaka za taj objekat, kao i kretanje srednjih dnevnih temperatura okolnog zraka tokom čitave godine. Toplotni gubici se dijele na transmisijске i ventilacijske gubitke. Transmisijски gubici su gubici koji nastaju preko površina objekta (zidova, podova, prozora i slično), dok ventilacijski gubici nastaju posljedicom strujanja zraka kroz omotač zgrade i između pojedinih prostorija. Proračun tih gubitaka se računa po sljedećim izrazima [5]:

$$\Phi_T = k \cdot A \cdot (\theta_1 - \theta_2) \text{ [W] transmisijски gubici} \quad (2.1)$$

$$\Phi_V = V_p \cdot \rho_z \cdot c_z \cdot (\theta_1 - \theta_2) \text{ [W] ventilacijski gubici} \quad (2.2)$$

Gdje su:

k - koeficijent prolaza toplote [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$],

A - površina građevinskih elemenata [m^2],

θ_1 - temperatura u objektu [$^{\circ}\text{C}$],

θ_2 - vanjska temperatura okoline [$^{\circ}\text{C}$],

V_p - volumni protok zraka [$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$],

ρ_z - gustoća zraka [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$],

c_z - specifični toplotni kapacitet zraka [$\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$].

Ukupni toplotni gubici se računaju kao zbir transmisijских i ventilacijskih gubitaka, to jest:

$$\Phi_{uk.} = \Phi_T + \Phi_V \text{ [W] ukupni toplotni gubici} \quad (2.3)$$

Za odabrani stambeni objekat ukupni toplotni gubici iznose 112 kW [6]. Najuticajni faktori za potrošnju toplotne energije u stambenim objektima su sljedeći:

- vanjska temperatura okolnog zraka područja na kojem se nalazi stambeni objekat,
- veličina stambenog objekta i
- kvalitet toplotne izolacije zidova i kvalitet vrata i prozora.

U tabeli 1 su prikazane srednje mjesečne vrijednosti vanjske temperature okolnog zraka u sezonama grijanja za period od 2007. do 2017. godine [7].

Tabela 1: Srednje mjesečne temperature vanjskog zraka u grijnim sezonama za Sarajevo

Mjeseci/godine	Srednja temperatura vanjskog zraka [°C]										
	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
oktobar	8,9	11,9	9,1	8,7	9,2	12,1	12,9	12,0	11,1	9,8	10,4
novembar	2,4	7,3	8,1	9,5	3,7	9,2	7,3	8,9	6,0	6,1	5,4
decembar	-1,4	3,2	3,2	1,5	2,3	0,3	0,7	2,7	-0,5	-0,9	2,2
januar	4,7	1,9	-0,5	0,4	0,2	-1,2	2,0	5,0	0,9	1,2	-4,8
februar	5,7	3,8	1,0	1,8	0,6	-4,7	2,3	7,8	1,7	7,4	5,2
mart	7,3	6,0	4,7	5,2	5,2	6,9	5,3	8,1	5,3	6,1	8,5
april	11,9	10,4	12,1	10,4	11,0	10,3	12,4	10,2	9,2	12,9	9,2
Prosječna temperatura:	5,64	6,36	5,39	5,36	4,60	4,70	6,13	7,81	4,81	6,09	5,16

Legenda:

Plavo	Minimalna srednja temperatura u sezoni grijanja
Crveno	Maksimalna srednja temperatura u sezoni grijanja
Narandžasto	Prosječna srednja temperatura u sezoni grijanja

Podaci iz tabele su uzeti iz Federalnog meteorološkog zavoda BiH, na osnovu kojih se zaključuje da su decembar i januar najhladniji mjeseci u godini i da je tada potrošnja toplotne energije najveća.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

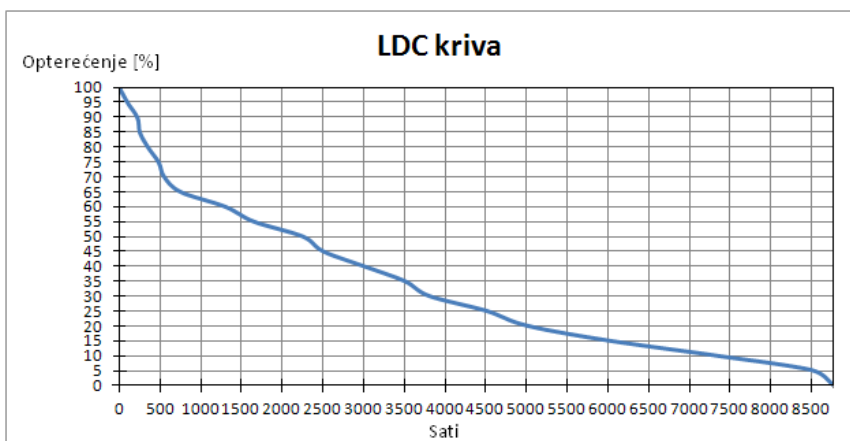
U svrhu pravilnog odabira nominalne snage mikrokogeneracijskog sistema potrebno je odrediti krivu toplotnog opterećenja u toku cijele godine. Toplotno opterećenje zavisi od toplotnih potreba, a toplotne potrebe stambenog objekta se dijele na: toplotne potrebe za grijanje i toplotne potrebe za toplu sanitarnu vodu (TSV).

Na osnovu srednjih dnevnih temperatura dobijenih iz Federalnog hidrometeorološkog zavoda BiH i ukupne veličine stambenog objekta određena je kriva toplotnog opterećenja u toku čitave godine, koja je prikazana na slici 1:



Slika 1. Prosječne dnevne vrijednosti ukupne toplotne potrošnje stambenog objekta u toku jedne godine

Sa dijagrama se vidi da je toplotna potrošnja poprilično ujednačena u ljetnim mjesecima (krajnja lijeva strana dijagrama). Činjenica je da se toplota u tim mjesecima koristi samo za potrebe tople vode. U zimskim mjesecima potreba za toplotom znatno raste, jer potreba toplote za grijanjem višestruko nadmašuje potrebu za zagrijavanje vode. U tim mjesecima je toplotno opterećenje i najveće, te bi tako kogeneracijski sistem u većini zimskih sati trebao raditi punim intenzitetom. Najviša dnevna toplotna potrošnja u ovom primjeru je 1920 kWh i pojavljuje se u januaru koji je zapravo i najhladniji mjesec u posljednjih 10 godina u Sarajevu. Međutim, nije dovoljno samo na osnovu toplotnih gubitaka i krive toplotnog opterećenja odrediti nazivnu snagu mikrokogeneracijskog sistema, već je potrebno formirati i LDC krivu (krivu trajanja opterećenja). LDC kriva za odabrani stambeni objekat u gradu Sarajevu je prikazana na sljedećoj slici 2:



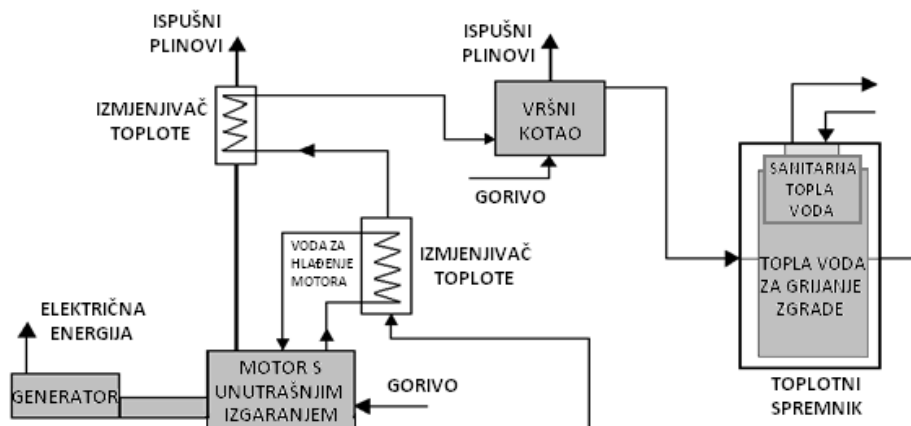
Slika 2. Kriva trajanja opterećenja – LDC kriva [8]

LDC kriva daje informaciju o baznim toplotnim opterećenjima kao i o trajanju vršnih opterećenja. Sa slike se vidi da je opterećenje od 50% maksimalnog prisutno u nešto više od 2200 sati. To znači da se više od 50% toplotnog opterećenja pojavljuje u samo oko 25% sati u toku godine. Sa stanovišta dimenzionisanja kogeneracijskog postrojenja to znači da će njegova maksimalna snaga biti bitno manja od maksimalnog opterećenja. Naime, da bi se zadovoljili tehnički i ekonomski kriteriji upotrebe kogeneracijskog postrojenja potrebno je da ono radi maksimalnom snagom više od 2000 sati godišnje [2]. Kao najoptimalnije rješenje je odabrano da mikrokogeneracijski sistem radi 2500 sati godišnje i to je 45% opterećenje od maksimalnog. Pošto je maksimalno satno toplotno opterećenje za odabrani stambeni objekat 80 kW (zaključeno sa dijagrama prosječne dnevne toplotne potrošnje), određuje se nazivna toplotna snaga mikrokogeneracijskog sistema da je $0,45 \cdot 80 \text{ kW} \approx 35 \text{ kW}$. I sada iz odnosa između toplotne i električne snage kogeneratora za koji se pretpostavlja da iznosi $N=0,7$, dobija se da je električna snaga mikrokogeneracijskog sistema $P_e = P_t \cdot N = 24,5 \text{ kW}$.

Funkcionalna šema mikrokogeneracijskog sistema:
Mikrokogeneracijski sistem se sastoji od četiri glavna elementa, a to su:

- glavni agregat ili pokretački sistem (za naš primjer odabran motor sa unutrašnjim sagorijevanjem sa varijabilnim brojem okretaja),
- električni generator,
- sistem za regeneraciju toplote i
- upravljački i mjerni sistem [9].

Pošto je odabrana nazivna snaga kogeneracijskog postrojenja od 35 kWt puno manja od maksimalnog satnog toplotnog opterećenja koje iznosi 80 kWt i koje se pojavilo kroz posmatrani period, potrebno je ugraditi vršni kotao koji će pokrivati vršna toplotna opterećenja. Pa je sada ukupni učin postrojenja jednak zbiru nazivne snage kogeneracijskog postrojenja i nazivne snage vršnog kotla. Također, zbog moguće pojave viška toplotne energije u ljetnim mjesecima u sistem je potrebno ugraditi i toplotni spremnik koji će pohranjivati taj određeni višak. Funkcionalna šema dimenzionisanog mikrokogeneracijskog sistema je prikazana na slici 3:



Slika 3. Funkcionalna šema mikrokogeneracijskog sistema

Motor sa unutrašnjim sagorijevanjem pogoni generator koji ima funkciju da mehaničko kretanje motora pretvori u električnu energiju. Izduvni gasovi koji nastaju prilikom rada motora se odvede do izmjenjivača toplote u kojem se zagrijava voda. Zagrijana voda se dalje šalje u toplotni spremnik preko vršnog kotla koji se uključuje samo u slučaju kada toplotno opterećenje nadmaši snagu mikrokogeneratora. Iz toplotnog spremnika se ta zagrijana voda koristi za svrhe grijanja objekta i za toplu sanitarnu vodu. Voda se u sistemu cirkuliše preko pumpi, koje nisu prikazane na šemi zbog njene jednostavnosti.

Režim rada mikrokogeneracijskog sistema: Definisanjem režima rada sistema se jednostavno određuje kojom bi toplotnom snagom sistem trebao raditi u određenom vremenu. Da bi se što preciznije definisao režim rada mikrokogeneracijskog sistema polazi se od nekoliko pretpostavki:

- ❖ motor sa unutrašnjim sagorijevanjem iz tehničkih razloga može raditi sa 50% i više nazivne snage;
- ❖ omjer električne i toplotne snage kogeneratora za sve razine snage je isti i iznosi 0,7;
- ❖ koeficijent iskoristivosti iznosi 0,9.

Uzimanjem u obzir ovih pretpostavki, definiše se sljedeći režim rada:

Tabela 2. Režim rada mikrokogeneracijskog sistema za period od godinu dana

Snaga postrojenja [kWt]	Vrijeme rada postrojenja pod određenom snagom [h]
35	4320
20	1440
18	3000

Iz tabele se zaključuje da će mikrokogeneracijski sistem raditi najviše vremena maksimalnom snagom i to u zimskim mjesecima kada su potrebe za toplotnom energijom izuzetno velike, a da će u ljetnim mjesecima sistem raditi pod djelimičnim opterećenjem.

Ekonomska analiza: Da bi se izvršila ekonomska analiza ušteda zbog sopstvene proizvodnje električne energije koju proizvode mikrokogeneracijski sistem, potrebno je prvo proračunati ukupnu godišnju proizvedenu električnu energiju sistema i ukupnu godišnju potrošnju električne energije za odabrani stambeni objekat. Da bi se odredila ukupna godišnja proizvedene električna energija potrebno je prvo odrediti godišnju toplotnu energiju koju sistem proizvede. Iz definisanog režima rada mikrokogeneracijskog sistema (tabela 2) se jednostavno može odrediti vrijednost godišnje ukupne proizvedene toplotne energije:

$$Q_{t.uk.proiz.} = \sum_i^n P_i \cdot t_i = 234000 \text{ kWh} \quad (3.1)$$

Veličine iz formule (3.1) su:

P – snaga postrojenja,

t – vrijeme rada postrojenja pod određenom snagom.

Analogno iz odnosa električne i toplotne snage $P_e = P_t \cdot \eta = P_t \cdot 0,7$, vrijedi i odnos energija:

$$Q_{e.uk.proiz.} = Q_{t.uk.proiz.} \cdot 0,7 = 163800 \text{ kWh} \quad (3.2)$$

Nakon što je određena vrijednost proizvedene električne energije na godišnjem nivou, potrebno je odrediti i njenu godišnju potrošnju. Pošto je prosječna godišnja potrošnja električne energije u BiH po domaćinstvu $\bar{Q}_{e.god.} = 4500 \text{ kWh}$ [3], a odabrani stambeni objekat ima 20 stanova ($n = 20$), iz vrlo jednostavne formule se dobija ukupna godišnja potrošnja električne energije:

$$Q_{e.uk.potr.} = \bar{Q}_{e.god.} \cdot n = 90000 \text{ kWh} \quad (3.3)$$

Pošto je vrijednost $Q_{e.uk.proiz.} > Q_{e.uk.potr.}$, ostvaren je višak električne energije koji se može isporučivati u električnu mrežu uz određenu novčanu naknadu. Taj ostvareni višak iznosi:

$$Q_{e.uk.vi\text{š}ak} = Q_{e.uk.proiz.} - Q_{e.uk.potr.} = 73800 \text{ kWh} \quad (3.4)$$

Cijena prodaje električne energije u mrežu za kategoriju mikro-postrojenja (od 2 kWe do 25 kWe) iznosi 85% od prosječne kupovne cijene [10].

$$Prihod_{el.en.} = 0,85 \cdot [Q_{e.uk.višak} \cdot (0,458 \cdot c_{el.en.LT} + 0,542 \cdot c_{el.en.HT})] \quad (3.5)$$

Cijene električne energije po manjoj i većoj tarifi, koje su određene od strane Elektroprivrede BiH zajedno sa vladom BiH, prikazane su u tabeli 3:

Tariff:	Price [KM/kWh] without PDV:
Lower tariff (LT)	0,084
Higher tariff (HT)	0,168

Tabela 3: Cijena električne energije [10]

I uvrštavanjem svih poznatih vrijednosti u formulu (3.5), dobija se da iznos prihoda zbog sopstvene proizvodnje električne energije iznosi:

$$Prihod_{el.en.} = 9506,65 \text{ KM}$$

Treba napomenuti da je pri proračunu ove vrijednosti prihoda uzet u obzir i PDV.

U slučaju da posmatrani stambeni objekat nema sopstvenu proizvodnju električne energije javio bi se trošak, koji bi iznosio:

$$Trošak_{el.en} = Q_{e.uk.potr.} \cdot (0,458 \cdot c_{el.en.MT} + 0,542 \cdot c_{el.en.VT}) \quad (3.6)$$

$$Trošak_{el.en} = 11657,5 + PDV = 11657,5 + 0,17 \cdot 11657,5 = 13639,3 \text{ KM}$$

što je izuzetno velik trošak.

Sada sabirajući ove dvije posljednje vrijednosti, vidi se da je zbog sopstvene proizvodnje električne energije ostvarena izuzetno velika ušteda na godišnjem nivou u iznosu od 23145,95 KM. Međutim, troškovi potrošnje goriva (konkretno u ovom slučaju plina) su mnogo veći pri radu mikrokogeneracijskog sistema u odnosu na rad centralnog grijanja, što je pokazano u nastavku: Trošak potrošnje plina za mikrokogeneracijski sistem se računa po sljedećoj formuli:

$$Trošak_{potr.pl.CHP} = c_{pl} \cdot V_{uk.pl.} \quad (3.7)$$

Gdje su:

c_{pl} – faktorna cijena plina sa PDV-om (za Sarajevo i za kategoriju domaćinstva ona iznosi $0,84 \frac{\text{KM}}{\text{m}^3}$) [11],

$V_{uk.pl.}$ – ukupna potrošnja plina za mikrokogeneracijski sistem.

Izraz za proračun ukupne potrošnje plina za mikrokogeneracijski sistem je:

$$V_{uk.pl.} = V_{pl.} + V_{pl.vršno} \quad (3.8)$$

gdje su:

$V_{pl.}$ - potrošnja plina mikrokogeneratora,

$V_{pl.vršno}$ - potrošnja plina vršnog kotla.

Ove potrošnje plina se izračunavaju preko sljedećih formula:

$$= \frac{Q_{e.uk.proiz.} + Q_{t.uk.proiz.}}{H_{d.pl.} \cdot \eta_{koga}} \cdot 3600 \quad (3.9)$$

$$= \frac{Q_{th.vršno}}{H_{d.pl.} \cdot \eta_{kotla}} \cdot 3600 \quad (3.10)$$

gdje su:

$H_{d.pl.}$ - donja toplotna moć gasa ($H_{d.pl.} = 38,23 \text{ MJ/m}^3$ – zemni gas iz Rusije),

η_{koga} - efikasnost kogeneracijskog postrojenja ($\eta_{koga} = 0,9$),

$Q_{th.vršno}$ - godišnja proizvedena toplota koju daje vršni kotao (za odabrani slučaj $Q_{th.vršno} = 83280 \text{ kWh}$),

η_{kotla} - efikasnost vršnog kotla ($\eta_{kotla} = 0,8$).

Pošto su poznate sve veličine u formulama (3.9) i (3.10) dobijene su sljedeće vrijednosti:

$$V_{pl.} = 41621,8 \text{ m}^3/\text{god}$$

$$V_{pl.vršno} = 9802,8 \text{ m}^3/\text{god}$$

Sada uvrštavanjem ove dvije vrijednosti u izraz (3.8), dobija se:

$$V_{uk.pl.} = 51424,6 \text{ m}^3/\text{god}$$

Konačno, po formuli (3.7) trošak potrošnje plina za mikrokogeneracijski sistem iznosi:

$$Trošak_{potr.pl.CHP} = 43196,65 \text{ KM}$$

U slučaju odvojene proizvodnje električne i toplotne energije, za grijanje objekta koristio bi se klasični kotao za centralno grijanje, a električna energija bi se kupovala iz mreže. Tada se potrošnja goriva svodi samo na potrošnju za kotao. Pa godišnja potrošnja goriva u tom slučaju biva:

$$= \frac{Q_{th.potr.}}{H_{d.pl.} \cdot \eta_{kot}} \cdot 3600 \quad (3.11)$$

gdje je:

$Q_{th.potr.}$ - ukupna godišnja potrebna toplota (za odabrani slučaj

$Q_{th.potr.} = 297690 \text{ kWh}$),

pa se dobija:

$$V_{pl.kot.} = 35072,45 \text{ m}^3$$

Sada se može izračunati i trošak potrošnje plina za slučaj centralnog grijanja:

$$Trošak_{potr.pl.CH} = c_{pl} \cdot V_{pl.kot.} = 29460,85 \text{ KM} \quad (3.12)$$

Vidi se da je $Trošak_{potr.pl.CH} > Trošak_{potr.pl.CH}$, međutim kada se trošku goriva za centralno grijanje doda trošak potrošnje električne energije, onda taj ukupni trošak iznosi:

$$Trošak_{uk.CH} = Trošak_{potr.pl.CH} + Trošak_{el.en} = 43100,15 \text{ KM} \quad (3.13)$$

što je veće od troška u slučaju zajedničke proizvodnje toplotne i električne energije:

$$Trošak_{uk.CH} = Trošak_{potr.pl.CH} - Ušteta_{el.en} = 20050,7 \text{ KM} \quad (3.14)$$

I ovim je djelimično dokazana ekonomska isplativost u mikrokogeneracijski sistem, jer od tekućih troškova postoje još i troškovi za održavanje sistema, koji su nešto veći kod mikrokogeneracijskog sistema u odnosu na sistem centralnog grijanja, ali u nezatnoj mjeri da bi uticali na već dokazanu ekonomsku isplativost.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu detaljnog proračuna proizvedene i potrošene električne i toplotne energije, potrošnje goriva, kao i cjelokupne ekonomske analize za dva slučaja (slučaj mikrokogeneracijskog sistema i slučaj odvojene proizvodnje toplotne i električne energije) može se zaključiti da su potrošnja goriva, troškovi održavanja i investicijski troškovi za mikrokogeneracijsko postrojenje veći od troškova za slučaj odvojene proizvodnje toplotne i električne energije. Međutim bitne prednosti mikrokogeneracijskog postrojenja su vlastita proizvodnja električne energije na kojoj se ostvaruje velika ušteta koja kompenzuje sve navedene troškove i znatno smanjenje emisije štetnih gasova u okolinu, što bi našoj državi trebalo dati veliki podstrek da se u budućnosti sve više primjenjuju ovakve vrste postrojenja.

LITERATURA

- [1] Wikipedija (2017); Kogeneracija; [internet] dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kogeneracija>
- [2] Lipošćak M. (2002); *Mikrokogeneracijsko postrojenje u stambenom sektoru*; Diplomski rad; Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu; dostupno na: http://powerlab.fsb.hr/lifecrochp/pdf/R6_1.pdf
- [3] Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine (2015): *Anketa o potrošnji energije u kućanstvima u BiH*; Sarajevo, oktobar 2015.; dostupno na: <http://www.bhas.ba/tematskibilteni/PotrosnjaEnergijeFinalHR.pdf>
- [4] Mašinski fakultet Sarajevo, Bosna-S d.o.o Sarajevo i Enova d.o.o Sarajevo: *Studija opravdanosti snabdijevanja toplinskom energijom iz TE Kakanj područja do Istočnog Sarajeva*, Sarajevo, maj 2017.
- [5] Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu: *Proračun gubitaka topline*; [internet] dostupno na: <https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/IZ-Proracun%20gubitaka%20topline-v02.pdf>
- [6] Mašinski fakultet Sarajevo: *Projekat centralnog grijanja*; Sarajevo, Mašinski fakultet Sarajevo, januar 2019.
- [7] Federalni hidrometeorološki zavod BiH: *Klimatološka analiza godina, 2019*; dostupno na: <https://www.fhmzbih.gov.ba/>
- [8] ResearchGate (2018); *Load duration curve*; [internet] dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Load-duration-curve-LDC-and-heat-production-units-supplying-the-DH-network-The-LDC_fig1_318203805
- [9] Milovanović Z., 2012. *Parne turbine za kogeneracijsku proizvodnju energije*, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka,
- [10] EPBiH; *Kalkulator*; [internet] dostupno na: <https://www.epbih.ba/stranica/racuni-i-placanje#kalkulator>
- [11] Sarajevo gas; *Cijene gasa*; [internet] dostupno na: http://www.sarajevogas.tech.ba/wordpress/?page_id=86&fbclid=IwAR3TqV_THFwCbW6EiQsKsD7-PynjdldGPcW_W8ldx3L--5hKFpMo0Df5Kdk