

# PRIMENA SISTEMA TRIGENERACIJE I ANALIZA PREDNOSTI U ODNOSU NA KONVENCIONALNI SISTEM KLIMATIZACIJE RAČUNSKOG CENTRA

## TRIGENERATION AND ADVANTAGE ANALYSIS IN COMPARE TO CONVENTIONAL AIR-CONDITIONING OF DATA CENTER

ALEKSANDRA SRETENOVIĆ i BRANISLAV ŽIVKOVIĆ,  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd

*Za jedan računski centar u Beogradu izvršeno je poređenje investicionih i eksploatacionih troškova za konvencionalni sistem klimatizacije takvih objekata i postrojenja za trigeneraciju (kombinovana proizvodnja električne energije i toplote za grejanje i hlađenje). Prema trenutnom odnosu cena osnovnih energenata u ovim sistemima (električne energije i prirodnog gasa), sistemi trigeneracije nisu isplativi korisnicima u Srbiji. Međutim, prema cenama energenata u okruženju, trigeneracija je ne samo energetska, nego i ekonomska isplativa i očekuje se njen veći prodor na tržište.*

*For a data centre in Belgrade, a comparison was made regarding initial investment and operation costs between a trigeneration system (combined heat and power production) and a conventional air-conditioning system. According to the current ratio of natural gas prices and electricity prices, trigeneration is not profitable for consumers in Serbia. However, according to the ratio of energy prices in European countries, economic feasibility of trigeneration as well as its high energy efficiency is the reason to expect a major market break of trigeneration systems.*

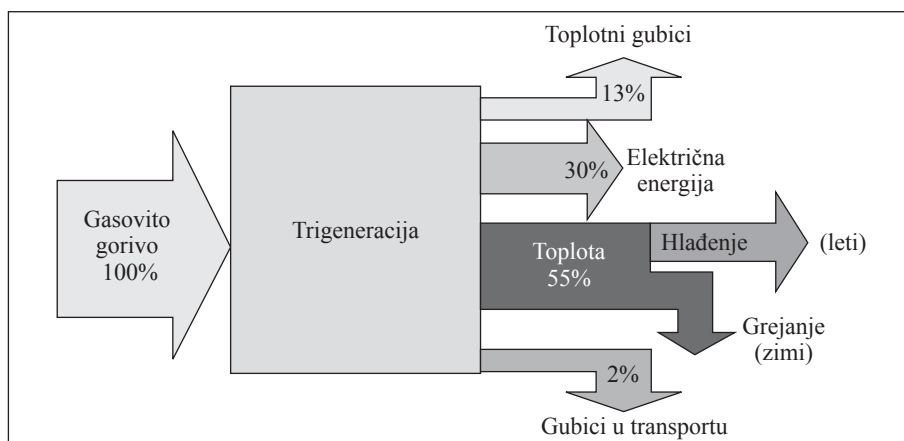
**Ključne reči:** trigeneracija; računski centar; gasni motor; apsorpciona rashladna mašina; ekonomska isplativost

**Key words:** trigeneration; data centre; gas engine; absorption refrigeration system; economic analysis

### Uvod

Stalni porast potreba za električnom energijom, kao i energijom potrebnom za hlađenje i grejanje zgrada i efikasnost sistema, problemi su koji se tiče svih zemalja u svetu. Sve je teže prevazići ekonomske i ekološke probleme vezane za centralizovanu proizvodnju električne energije.

Pod trigeneracijom podrazumeva se kombinovana proizvodnja električne energije i toplote za grejanje i hlađenje. Sistem trigeneracije proizvodi ova tri korisna oblika energije trošeći kao primarni izvor energije gas (slika 1). Električna energija proizvedena gasnim motorom koristi se za potrebe uređaja i osvetljenja zgrade, kao i za pogon opreme potrebne za grejanje i hlađenje. Koristi se i veliki deo otpadne toplote iz rashladne vode motora i izduvnih gasova. Dobijena toplota u zimskom periodu može da se direktno koristi za grejanje, a u letnjem periodu za pogon apsorpcijskih čilera. Iako su investicioni troškovi sistema sa trigeneracijom veći, oni su ekonomičniji u odnosu na sisteme u kojima se električna energija i toplota za grejanje i hlađenje proizvode odvojeno.



Slika 1. Bilans sistema trigeneracije

Prednost sistema sa trigeneracijom je veća efikasnost iskorišćenja primarne energije, što za krajnji rezultat ima smanjenje troškova korisnika zgrade. Još jedna značajna prednost ovakvih sistema je smanjena emisija CO<sub>2</sub> i drugih štetnih gasova saglasno Protokolu iz Kyota kojim se, u cilju smanjenja globalnog zagrevanja, zahteva ušteda energije i povećanje energetske efikasnosti.

Glavni faktori koji utiču na ekonomski aspekt korišćenja ovakvih sistema su investicioni troškovi i cene električne energije i gasa. Trenutno je u našoj zemlji cena električne energije daleko ispod evropskog proseka, tj. njene realne cene. Ugalj je trenutno primarni izvor energije u Srbiji, što dovodi do velikog zagađenja okoline. Od elektrana se sve više zahteva upravo smanjenje emisije štetnih gasova u atmosferu, što će dovesti do povećanja cene električne energije. Ukoliko cena električne energije bude rasla, a cena prirodnog gasa bude pratila ostale energente, sistem sa trigeneracijom će biti sve profitabilniji.

### Računski centar

Računski centar predstavlja zgradu u kojoj su smešteni računarski sistemi i njihova oprema, kao što su telekomunikacioni sistemi i informaciona tehnologija.

Pojedine osobine karakteristične za klimatizaciju računskih centara su:

- klimatizacija ovih centara mora biti obezbeđena 24 časa dnevno, 365 dana u godini;

- hlađenje objekta neophodno je tokom cele godine;
- najveći deo toplotnog opterećenja potiče od servera i ostale elektronske opreme smeštene u tehničkim prostorijama u kojima je boravak ljudi povremen i kratkotrajan.

### Konvencionalni sistem klimatizacije računskog centra

Analizirana zgrada predstavlja uobičajen tip računskih centara, čiji se broj u našoj zemlji, kao i u celom svetu, ubrzano povećava.

Zgrada je armiranobetonske konstrukcije sa fasadnom oblogom od alukobonda. Sastoji se od prizemlja, prvog i drugog sprata, krovnih terasa i mašinske sale na krovu objekta. U delu zgrade u kom je smeštena oprema, sve prostorije su bez prozora i prirodne ventilacije.

Osnovne tehničke karakteristike prvobitno predviđenog sistema klimatizacije analiziranog računskog centra su sledeće.

*Tabela 1. Karakteristike predviđene konvencionalne rashladne opreme*

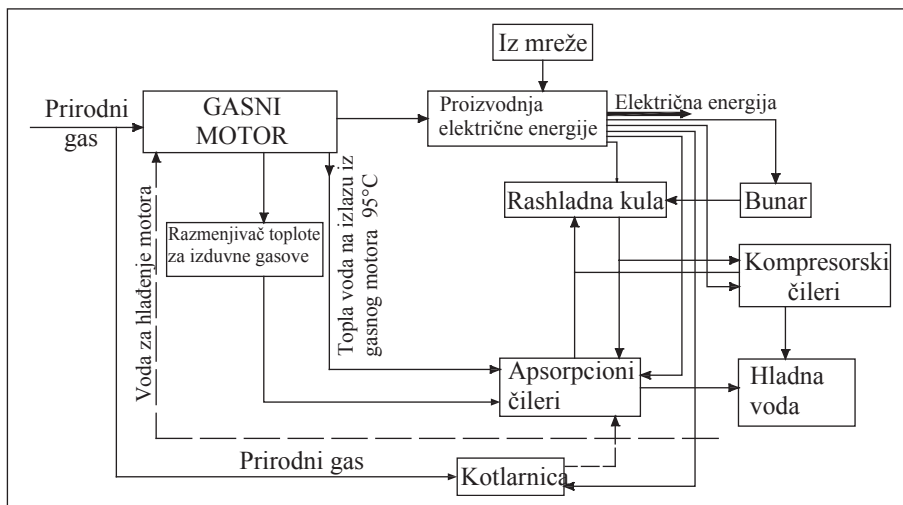
Tip	Rashladni učinak uređaja, kW	Instalisana snaga elektropotrošača po uređaju, kW	Broj uređaja	Ukupni rashladni učinak, kW	Ukupna instalisana snaga elektropotrošača, kW
Vazduhom hlađena kompresorska rashladna mašina za hlađenje tehnoloških prostorija	594,2	295,20	4	2.376,8	1.182,10
Vazduhom hlađena kompresorska rashladna mašina za komfornu klimatizaciju	37,2	36,54	1	37,2	36,54
Klima-komore i lokalni klima-uređaji					234,92
<b>UKUPNO</b>				<b>2.414</b>	<b>1.453,56</b>

### Sistem klimatizacije uz primenu trigeneracije

Elementi sistema:

- gasni motor i generator za proizvodnju električne energije,
- apsorpcioni rashladni agregati,
- vodom hlađeni kompresorski agregati,
- toplovodni kotao na gas,
- rashladne kule.

Gasni motor i generator proizvode električnu energiju koja pokriva potrebe zgrade, uključujući mašine, servere, opremu za klimatizaciju, osvetljenje. Ovim uređajem investitor sebi obezbeđuje nezavisnost od energetske situacije u zemlji (isključenja, restrikcije, padovi napona), kao i veću pouzdanost u radu. Imajući u vidu da se za proizvodnju električne energije u termoelektranama u Srbiji kao primarni izvor energije koristi uglj, stepen iskorišćenja pogonskog goriva (gasa) kod gasnog motora je veći. Emisija CO<sub>2</sub> i ostalih štetnih gasova je primenom ovakvih uređaja znatno manja i u skladu sa ekološkim kriterijumima Protokola iz Kjota. Ukoliko gasni motor



Slika 2. Šema sistema trigeneracije

ne proizvodi dovoljnu količinu električne energije, manjak se nadoknađuje iz mreže. Isto tako, ako se proizvede višak električne energije, on bi mogao da se izveze („vratiti“) u mrežu, mada to u našoj zemlji još uvek nije zakonom regulisano. Otpadnu toplotu dobijamo iz rashladne vode motora i izduvnih gasova. S obzirom da je za ovu zgradu neophodno hlađenje tokom cele godine, otpadna toplota se prevashodno koristi za pogon apsorpcionih čilera.

### Apsorpcioni ciklus

Kod apsorpcione rashladne mašine, kao i kod kompresorske, toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida odvodi se od vode koja se hladi. Prebacivanje toplote sa niže na višu temperaturu zahteva dodatni kompenzacijski proces kojim se promena entropije sistema svodi na nulu (ili veće od nule). Kompenzacijski proces uvek znači dovođenje energije – kod kompresorskih mašina u formi mehaničkog rada kompresora (utrošak električne energije), dok se kod apsorpcionih mašina energija dovodi u vidu toplote (nekoliko puta više toplote nego rada).

Ukupan rashladni učinak dobija se iz apsorpcionih i vodom hlađenih kompresorskih rashladnih agregata (tabela 2). Rashladne kule su potrebne za hlađenje kondenzatora kompresorskih čilera i apsorbera i kondenzatora apsorpcionih čilera.

Kod apsorpcionih čilera, elektropotrošač je pumpa, čija je instalisana snaga znatno manja od snage kompresora.

### Razlike između konvencionalnog sistema klimatizacije i trigeneracije

#### Razlika u investicijama

Prva razlika je svakako u investicionim troškovima. S jedne strane imamo klasičan sistem klimatizacije, u čiju opremu ulaze: gasni kotao (za grejanje), 4 veća rashladna agregata (+1 rezervni) i jedan manji (za komfornu klimatizaciju u kancela-

rijama). Ukupna investicija za konvencionalni sistem je 799.000 €. Sistem sa trigeneracijom, pored gasnog kotla, 2 apsorpciona i 2 vodom hlađena kompresorska čilera, kao elemente sistema sadrži gasni motor, rashladne kule i razmenjivač toplote za izduvne gasove, pa je i skuplji od konvencionalnog za približno 50% (investicija je 1.218.500 €).

Značajna je i razlika u ukupnoj instalisanoj snazi elektropotrošača rashladne opreme. U konvencionalnom sistemu najveći potrošači su kompresori rashladnih agregata (tabela 1), dok je instalisana snaga apsorpcionih i vodom hlađenih čilera daleko manja (tabela 3).

Uzevši u obzir i električnu energiju koju proizvodi gasni motor, primenom sistema trigeneracije ostvaruje se znatna ušteda električne energije. Ušteda u ukupnoj instalisanoj snazi je 2.400 kW (tabela 4).

*Tabela 2. Rashladni agregati uz primenu sistema trigeneracije*

	Potrebna količina toplote po uređaju, kW	Broj uređaja	Ukupna potrebna količina toplote, kW	Rashladni kapacitet po uređaju, kW	Ukupni rashladni kapacitet, kW	Instalisana snaga pumpe, kW	Instalisana snaga elektropotr. po uređaju, kW	Ukupna instalisana snaga elektropotr., kW
Apsorpcioni čiler	938,3	2	1.876,6	633,0	1.266,0	5,5	7,0	25,0
Kompresorski čiler	–	2	–	525,2	1.050,4	–	96,7	193,4
Ukupno					2.316,4			218,4

*Tabela 3. Ukupna instalisana snaga elektropotrošača rashladne opreme uz primenu sistema trigeneracije*

	Instalisana snaga elektropotrošača po uređaju	Kom.	Ukupna instalisana snaga elektropotrošača
	$P_{el}$ [kW]		$P_{el}$ [kW]
Apsorpcioni čiler	12,50	2	25
Vodom hlađeni kompresorski čiler	96,70	2	193,4
Rashladne kule	7,50	3	22,5
Klima-komore i unutrašnje jedinice	234,92		234,92
	<b>UKUPNO</b>		<b>475,82</b>

Tabela 4. Razlike ukupnih instaliranih snaga elektropotrošača konvencionalnog sistema klimatizacije i sistema sa trigeneracijom

	Instalirana snaga elektropotrošača u računskom centru (serveri, računari, osvetljenje,...), kW	Instalirana snaga elektropotrošača rashladne opreme, kW	Koeficijent jednovremenosti opterećenja	Nominalna električna snaga koju proizvodi gasni motor, kW	Ukupna instalirana snaga elektropotrošača po kojoj se plaća utrošena električna energija, kW
Konvencionalni sistem klimatizacije	1.730,00	1.453,56	0,8	0	2.546,8
Sistem sa trigeneracijom	1.730,00	475,82	0,8	1.618,00	146,66
Razlika u ukupnoj instaliranoj snazi elektropotrošača po kojoj se plaća utrošena električna energija					2.400,14

U tabeli 5 prikazane su prosečne vrednosti električne energije po tarifama (aktivna visoka, aktivna niska i reaktivna), kao i prirodnog gasa za industrijske potrošače u Srbiji (izvori: EPS i „Srbijagas“).

Tabela 5. Cene gasa i električne energije po tarifama u Srbiji

Električna energija				Prirodni gas	
AVT	ANT	RT	Angažovana snaga		
€cent/kWh	€cent/kWh	€cent/Varh	€cent/kWh	€cent/Nm <sup>3</sup>	€cent/kWh
5,5	1,84	0,46	757,85	35,4	3,35

U sistemu trigeneracije imamo sopstvenu proizvodnju električne energije, pa je i angažovana snaga, koja značajno utiče na račun za električnu energiju kod industrijskih potrošača, dosta manja nego kod konvencionalnog sistema. Manja angažovana snaga pogoduje kako investitoru (zbog manjih računa za električnu energiju – tabela 6), tako i elektrodistribuciji, kojoj veliki problem predstavlja naglo „povlačenje“ električne energije iz mreže.

Tabela 6. Troškovi za električnu energiju (uključujući i angažovanu snagu) na godišnjem nivou

	AVT [€]	ANT [€]	RT [€]	Angažovana snaga [€]	UKUPNO [€]
Konvencionalni sistem klimatizacije	818.200	136.774	5.129	231.629	1.191.732
Sistem sa trigeneracijom	47.222	7.894	296	13.368	68.781

U sistemu trigeneracije izvor energije je gas, pa on ima presudan uticaj na troškove sistema, dok je kod konvencionalnog sistema to električna energija (tabela 7). Upravo odnos cena ova dva energenta određuje ekonomsku prednost sistema.

Tabela 7. Eksploatacioni troškovi konvencionalnog sistema i sistema trigeneracije

Sistem	Instalisana snaga el. potrošača [kW]	Godišnja potrošnja gasa [Nm <sup>3</sup> /god.]	Godišnji troškovi za gas [€]	Godišnji troškovi za el. en. [€]	Ukupni godišnji troškovi [€]
Konvencionalni sistem klimatizacije	2.547	62.026	21.957	1.191.732	1.213.689
Sistem sa trigeneracijom	147	3.662.386	1.296.484	68.781	1.365.265

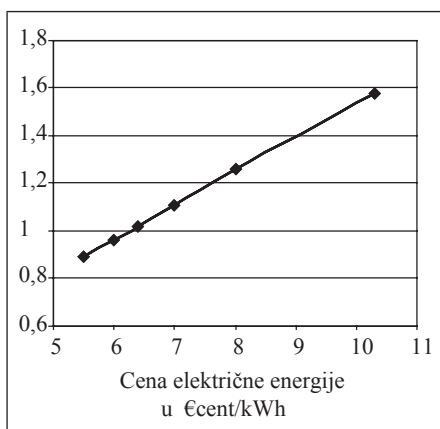
### Isplativost sistema trigeneracije u Srbiji

Očigledno je da sa ovakvim odnosom cena gasa i električne energije, i bez ikakvih podrški i subvencija vlade, sistem sa trigeneracijom trenutno nije isplativ u Srbiji, jer su troškovi sistema sa trigeneracijom veći od troškova konvencionalnog sistema klimatizacije.

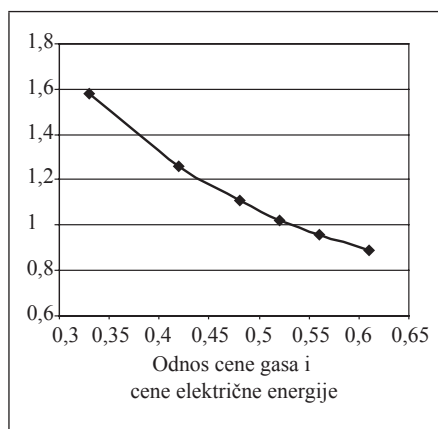
S obzirom da je u Srbiji električna energija socijalna kategorija i da je njena cena nerealno niska, daleko niža od onih u zemljama u regionu, urađena je analiza troškova sistema sa različitim cenama električne energije, a pri istoj ceni gasa. Time se ukazuje na značajan uticaj upravo odnosa cena gasa i električne energije na troškove sistema i rok otplate ulaganja u sistem trigeneracije.

Da bi se uopšte govorilo o roku za koji se isplati početna investicija u sistem sa trigeneracijom, neophodno je da godišnji troškovi tog sistema budu manji od troškova konvencionalnog sistema klimatizacije, tj. da odnos troškova konvencionalnog/trigeneracije bude veći od 1 (slika 3).

Sa trenutnom cenom gasa u Srbiji, na dijagramu se vidi da bi se o isplativosti sistema sa trigeneracijom moglo govoriti tek pri ceni električne energije od 6,4



Slika 3. Odnos troškova konvencionalnog sistema i sistema trigeneracije u zavisnosti od cene električne energije



Slika 4. Odnos troškova konvencionalnog sistema i sistema trigeneracije u zavisnosti od odnosa cene gasa i cene električne energije

€cent/kWh i više, tj. odnosom cena gasa i cene struje nižom od 0,5 (slika 4). Što je cena električne energije veća, time će ušteda koja se ostvaruje primenom sistema sa trigeneracijom biti veća.

*Tabela 8. Investicioni i godišnji troškovi u prvoj godini rada, sa rokom otplate investicije u sistemu trigeneracije*

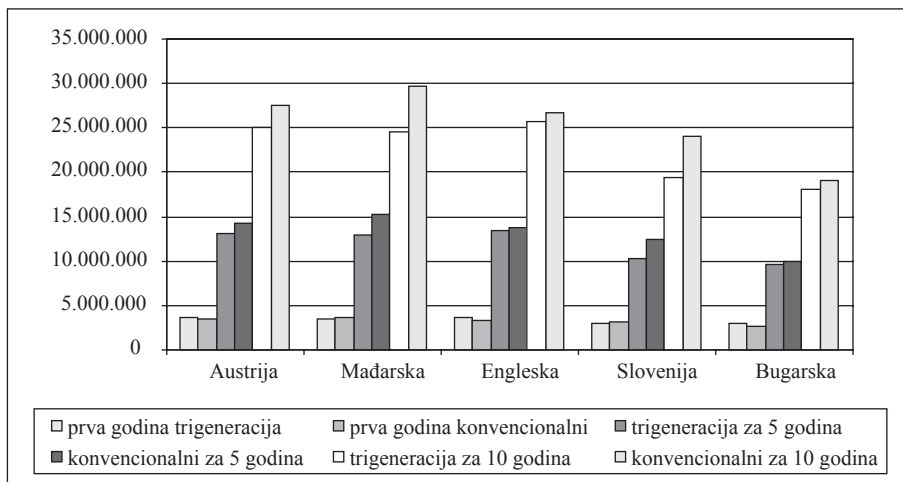
		Austrija	Mađarska	Engleska	Slovenija	Bugarska
Cena struje	€cent/ kWh	14,5	13,16	11,79	10,57	8,34
Cena gasa	€cent/ kWh	5,77	5,60	5,97	4,37	4,10
Odnos cena gasa i struje	–	0,40	0,43	0,51	0,41	0,49
Početna investicija sistema sa trigeneracijom	€	1.218.500	1.218.500	1.218.500	1.218.500	1.218.500
Godišnji troškovi sistema sa trigeneracijom	€	2.382.867	2.329.458	2.454.750	1.821.616	1.689.383
<b>Ukupni troškovi sistema sa trigeneracijom</b>	<b>€</b>	<b>3.601.367</b>	<b>3.547.958</b>	<b>3.673.250</b>	<b>3.040.116</b>	<b>2.907.883</b>
Početna investicija konvencionalnog sistema	€	799.000	799.000	799.000	799.000	799.000
Godišnji troškovi konvencionalnog sistema	€	2.679.616	2.888.982	2.593.825	2.318.451	1.834.039
<b>Ukupni troškovi konvencionalnog sistema</b>	<b>€</b>	<b>3.478.616</b>	<b>3.687.982</b>	<b>3.392.825</b>	<b>3.117.451</b>	<b>2.633.039</b>
<b>Rok otplate</b>	<b>god.</b>	<b>1,41</b>	<b>0,75</b>	<b>3,02</b>	<b>0,84</b>	<b>2,90</b>

Troškovi sistema u zemljama Evrope pokazuju dosta drugačije rezultate. U tabeli 8 prikazane su cene gasa i cene struje kao i troškovi ova 2 sistema sa rokovima otplate, koji su u nekim zemljama, kao što su Mađarska i Slovenija, manji od 1 godine. S obzirom da ušteda primenom sistema trigeneracije najviše zavisi od odnosa cena prirodnog gasa i električne energije, za trenutno važeći odnos cena ovih energenata u više evropskih zemalja, izračunate su uštede koje se mogu postići u periodu od 5 i 10 godina eksploatacijom postrojenja za trigeneraciju u odnosu na konvencionalni sistem klimatizacije jednog računskog centra.

### **Odnos Evropske unije prema sistemu trigeneracije**

Evropska unija, baš kao i mnoge razvijene zemlje u svetu (pre svega Kina i Japan), prepoznale su potencijal u primeni ovakvih sistema, kako u manjim instalaci-





Slika 5. Troškovi sistema u nekim evropskim zemljama

jama, tako i u proizvodnji električne energije i toplote za grejanje i hlađenje za čitave gradove i oblasti. Od posebne važnosti je i stav vlade svake države koja bi u ovakvim sistemima trebalo da prepozna značajnu ulogu u razvoju privrede i energetske stabilnosti države.

Zemlje članice Evropske unije sprovode različite mehanizme podrške prodoru sistema trigeneracije na tržište i njegovoj masovnijoj primeni na državnom nivou (finansijska pomoć u pokrivanju investicionih troškova, poreske olakšice, mogućnost „prodavanja“ – vraćanja u mrežu – viška proizvedene struje).

### Zaključak

Za investitore u Srbiji primena sistema trigeneracije pri trenutnom odnosu cena prirodnog gasa i električne energije nije povoljna, što nije slučaj u mnogim zemljama u Evropi i svetu. Prethodno je potrebno uraditi tehno-ekonomsku analizu, prvenstveno uzevši u obzir potrošnju i cene prirodnog gasa i električne energije kako bi se odredila isplativost investiranja u trigeneraciju. Na ovom primeru pokazalo se koliko je sistem trigeneracije energetski isplativiji od postojećeg sistema, koji je standardan u većini računarskih centara. Svakako je za ovaj sistem povoljnije da je cena struje što viša, a gasa što niža, što i jesu neka predviđanja na osnovu analiza tržišta ovih energenata.

Rezultati poređenja konvencionalnog sistema klimatizacije i sistema uz primenu trigeneracije svakako ukazuju na „neracionalnu“ potrošnju električne energije u našoj zemlji. Sasvim je prirodno da investitori i inženjeri uvek biraju takve elemente instalacije, kao što su kompresorski rashladni agregati, koji za pogon koriste električnu energiju, jer im je upravo taj energent najjeftiniji i najpristupačniji. Činjenica da je električne energija kod nas socijalna kategorija onemogućava razvoj i unapređenje sistema trigeneracije, koji bi svakako bio energetski efikasnije rešenje.

Sa svakodnevnim povećanjem potrošnje električne energije, neophodno je voditi računa o njenom korišćenju, kao i primeni sistema kojima se postiže rastereće-

nje mreže, decentralizacija proizvodnje i povećanje efikasnosti sistema. Upravo u tim aspektima trigeneracija pokazuje odlične rezultate, zbog čega se i očekuje njen prodor na tržište.

### Literatura

- [1] \*\*\* *TIA – 942 Data Center Standards Overview*, Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department U.S.A <http://www.tiaonline.org/standards>.
- [2] **Todorović, B.**, *Klimatizacija*, SMEITS, Beograd, 2005.
- [3] <http://www.energy.eu>
- [4] [http://www.energy.eu/directives/l\\_05220040221en00500060.pdf](http://www.energy.eu/directives/l_05220040221en00500060.pdf)
- [5] **Sretenović, A.**, *Primena sistema trigeneracije i analiza prednosti u odnosu na konvencionalni sistem klimatizacije računarskog centra*, diplomski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.
- [6] **Sun, Z.**, *Experimental investigation of integrated refrigeration system (IRS) with gas engine, compression chiller and absorption chiller*.
- [7] **Sun, Zhi Gao**, *Energy efficiency and economic feasibility of cogeneration system driven by an engine*.
- [8] Direktive Evropske unije: 2004/8/EC „On the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market“; 2002/91/EC „On the energy performance of buildings“; COM(2006) 105 final “Green paper – A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy”.

kgH