

ISSN br. 3554-8651



List Saveza energetičara
Broj 3-4 / Godina XV Mart 2013
UDC 620.9

energija

■ ekonomija ■ ekologija

ENERGETIKA 2013.

ENERGETIKA 2013.

XXIX međunarodno savetovanje u organizaciji



Saveza energetičara

Pokrovitelj savetovanja

Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine,
Ministarstvo prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja,
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja,
Ministarstvo finansija i privrede,
Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede
PKS, JP EPS, NIS Gazprom neft, JP EMS, JP Srbijagas

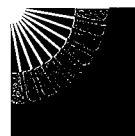
Generalni sponsor

HITACHI
Inspire the Next

HITACHI Power Europe GmbH

Zlatni sponsor

ПРИВРЕДНО ДРУШТВО
ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ И КОГОВИ
КОСТОЛАЦ д.о.о.



Srebrni sponsor



ATB SEVER

Technology in Motion

Sponsor



ПРИВРЕДНО ДРУШТВО
„ЕЛЕКТРОИСТОК ИЗГРАДЊА“ ДОО



FAAS DOO
KONSALTING
INŽENJERING
TRGOVINA

Savetovanje su pomogli



TERMOELEKTRANE
NIKOLA TESLA



Sponsor koktela dobrodošlice



Savez energetičara

KONZORCIJUM
za konsalting i inženjering u
ENERGETICI

ENERGETIKA 2013.

XXIX Međunarodno savetovanje

 energija

 ekonomija

 ekologija

ENERGETIKA 2013.

Pokrovitelj savetovanja

Ministarstvo energetike,
razvoja i zaštite životne sredine,
Ministarstvo prirodnih resursa,
rudarstva i prostornog planiranja,
Ministarstvo prosvete,
nauke i tehnološkog razvoja,
Ministarstvo finansija i privrede,
Ministarstvo poljoprivrede,
šumarstva i vodoprivrede
PKS, JP EPS, NIS Gazprom neft,
JP EMS, JP Srbijagas



SAVEZ ENERGETIČARA

Adresa: 11000 BEOGRAD, Kneza Mihaila 33
Telefon: +381 11 2183 315, Faks: +381 11 2639 368
E-mail: savezenergeticara@eunet.rs
Web: www.savezenergeticara.org.rs

ZBORNIK RADOVA

Zlatibor, 26.03. - 29.03.2013.

energija

■ ekonomija ■ ekologija

Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 3-4 / Godina XV Mart 2013

Osnivač i izdavač
Savez energetičara

Predsednik Saveza energetičara
Prof. dr Nikola Rajaković

Sekretar Saveza energetičara
Nada Negovanović

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Nenad Đajić

Adresa. Redakcije
Saveza energetičara
11000 BEOGRAD
Kneza Mihaila 33
Telefon: +381 11 2183 315
Faks: +381 11 2639 368

E-mail:
savezenergeticara@eunet.rs
Web: www.savezenergeticara.org.rs

Kompjuterski prelom
Željka Bašić-Stankov

Štampa
„BELPAK“ N. Beograd

Godišnja preplata
- 8.000,00 RSD
- za inostranstvo 80 €

Tekući račun SE
Br 355-1006850-61

Radovi su štampani po redosledu
dostavljanja.

IZDAVAČKI SAVET

Prof.dr Zorana Mihajlović, ministar za energetiku, informisanje i zaštitu životne sredine

dr Žarko Obradović, ministar prosvete, nauke i tehnološkog razvoja

dr Milan Bačević, ministar prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja
Mladen Dinkić, ministar finansija i privrede

Goran Knežević, ministar poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede

Prof.dr Vladan Zdravković, državni sekretar

Dušan Mrakić, državni sekretar

Dejan Popović, državni sekretar

Srđan Belić, državni sekretar

Tomislav Šubaranović, državni sekretar

Prof.dr Mirko Komatina, Ministarstvo

prosvete, nauke i tehnološkog razvoja

dr Kiril Kravčenko, gen.dir. NIS ad

Aleksandar Obradović, v.d. gen.dir. JP

EPS

Miloš Bugarin, predsednik PKS

dr Aca Marković, predsednik UO JP

EPSPmitri Mališev, predsednik UO NIS

Ljubo Mačić, dir. Agencije za energetiku

Srbije

Aleksej Belov, dir. Bloka „Energetika“ NIS

Dušan Bajatović, dir. JP Srbijagas

Nikola Petrović, gen.dir. JP EMS

Čedomir Ponoćko, dir. TENT, d.o.o.

Dragan Jovanović, dir. TE-KO Kostolac,

d.o.o.

Bratislav Čeperković, predsednik UO JP

Transnafta

Miloš Tomić, dir. JP Transnafta

Vladan Milošević, v.d. dir. JP PEU

Goran Stojilković, zam.gen.dir. za

petrohemijske poslove NIS

Rišat Islamov, dir. Bloka „Istraživanje i

proizvodnjase“ NIS

Viktor Slavin, dir. Bloka „Prerada“ NIS

Goran Knežević, dir. HE Đerdap, d.o.o.

Zoran Rajović, dir. EDB, d.o.o.

Milorad Grčić, dir. RB Kolubara d.o.o.

Srđan Knežević, dir. Elektrovojvodina,

d.o.o.

Srđan Đurović, dir. Elektrosrbija, d.o.o.

dr Miroslav Malobabić, dir. JP Srbijagas

Aleksandar Vlajčić, v.d. dir. Obnovljivi

izvori EPS

Srđan Đurović, dir. „Elektrosrbija“ d.o.o

Igor Novaković, v.d. dir. „Jugoistok“ d.o.o

dr Gvozden Ilić, dir. „Centar“, d.o.o.

Aleksandar Pribić, dir. JKP Novosadska

toplana

Zoran Ivančević, dir. Panonske TE-TO

dr Svetislav Bulatović, dir. EFT Group

dr Nenad Popović, ABS Holding

Milorad Marković, predsednik HK Minel

dr Dragan Kovačević, dir. Elektrotehnički

institut „Nikola Tesla“

Prof.dr Sanja Vraneš, dir. Instituta

„Mihajlo Pupin“

dr Bojan Radak, v.d. dir. Instituta za

nuklearne nauke „Vinča“

Prof.dr Branko Kovačević, dekan ETF

Beograd

Prof.dr Milorad Milovančević, dekan

Mašinski fakultet u Beogradu

Prof.dr Rade Dobroslovački, dekan

Fakulteta tehničkih nauka u NS

Prof.dr Ivan Obradović, dekan

Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

Prof.dr Miroslav Babić, dekan Fakultet

inženjerskih nauka u Kragujevcu

Prof.dr Jeroslav Živanić, dekan Tehnički

fakultet u Čačku

Prof.dr Milun Babić, Fakultet

inženjerskih nauka u Kragujevcu

Slobodan Babić, Rudnap Group

Dr Vladimir Živanović, SE

REDAKcioni ODBOR

Prof.dr Ozren Očić

Slobodan Petrović, sekretar Odbora za

energetiku PKS

Radiša Kostić, dir. Elektroistok-izgradnja

dr Tomislav Simović, dir. Montinvest ad

Milorad Marković, predsednik HK Minel

Milan Lončarević, NIS

Mijodrag Čitaković, dir. Drinko-Limske

HE

Prof.dr Petar Đukić, TMF

Dragan Nedeljković, novinar

Savo Mitrović, dir. Sever Subotica

Dr Branislava Lepotić, dir. JP Transnafta

Milan Miroslavljević, dir.za odose s

javnošću EPS

Mile Danilović, dir. Termoelektro Enel

Ružica Vranjković, novinar

Roman Mulić, SE

Krstajić Sekula, novinar

Božica Sandić, JP EPS

Simo Bobić, PK Beograda

Jelica Putniković, novinar

Nikola Petrović, dir. Energetika

Kragujevac

Rade Borojević, PK Beograda



 energija

 ekonomija

 ekologija

ORGANIZACIONO - PROGRAMSKI ODBOR

Predsednik: Prof.dr Milun Babić, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Sekretar: Nada Negovanović, sekretar Saveza energetičara

Članovi:

Dr Matthias Jochem, Hitachi, Nemačka
Prof.dr Miloš Nedeljković, Mašinski fakultet Beograd
Prof.dr Adriana Sida Manea, Politehnica-University of Timisoara, Romania
Dr Ivan Souček, Ph. D., Prague Institute of Chemical Technology, Czech Republic
mr Dušan Kalember, Brodarski Institut, Hrvatska
mr Milan Stojsavljević, Institut za elektroprivredu i energetiku, Hrvatska
Prof.dr Rade Biočanin, Univerzitet APERION Banja Luka
Prof.dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica
Prof.dr Esad Jakupović, Univerzitet APERION Banja Luka
Dr Dragoljub Drašković, direktor Regulatorne agencije za energetiku Crne Gore
Prof.dr Zdravko N. Milovanović, Mašinski fakultet Banja Luka
Prof.dr Valentino Stojkovski, Mašinski fakultet Skopje
Dr Ognjen Kuljača, Brodarski institut, Hrvatska
Prof.dr Predrag Popovski, Mašinski fakultet Skopje
Prof.dr Mirko Komatina, predsednik Matičnog odbora Ministarstva prosvete i nauke
Prof.dr Aleksandar Nospal, Mašinski fakultet Skopje
dr Igor Krčmar, Elektrotehnički fakultet Banja Luka
dr Tatjana Luppova, Rusija
Prof.dr Nikolaj Ostrovski, Ukrajina
Prof.dr Ibrahim Jusufrić, Internacionalni univerzitet u Travniku
Prof.dr Neven Duić, Strojarsko-brodarski fakultet, Hrvatska
Prof.dr Jeroslav Živanić, dekan Tehničkog fakulteta u Čačku
Prof.dr Miroslav Babić, dekan Mašinskog fakulteta u Kragujevcu
Prof.dr Slobodan Vukosavić, Elektrotehnički fakultet Beograd
Prof.dr Branko Kovačević, dekan ETF u Beogradu
Prof.dr Radivoje Mitrović, državni sekretar
Prof.dr Milan Medarević, dekan Šumarskog fakulteta u Beogradu
Prof.dr Dejan Filipović, dekan Geografskog fakulteta u Beogradu
Dr Miodrag Arsić, Institut za ispitivanje materijala IMS Beograd
Ljubo Mačić, Predsednik Agencije za energetiku Srbije
Prof.dr Ozren Očić, Faculty of International Engineering Management
Dr Miloš Banjac, Mašinski fakultet Beograd
Prof.dr Slobodan Stupar, pom.ministra
Dr Tomislav Simović, direktor Montinvest AD
Radiša Kostić, direktor Elektroistok d.o.o. Beograd
Boško Buha, savetnik gen.dir. TENT
Milorad Marković, predsednik Minel Koncern
Dr Miroslav N. Malobabić, izvršni direktor JP Srbijagas
Prof.dr Nenad Đajić, glavni i odgovorni urednik časopisa ENERGIJA
Prof.dr Vladimir Živanović, Savez energetičara

<i>M. SAVIĆEVIĆ, Z. ZAKOŠEK, S. JOTOV, I. DIMITRIJEVIĆ, M. CVETKOVIĆ</i> ADAPTACIJA BLOKA B2 TE „KOSTOLAC B“ SA REKONSTRUKCIJOM ELEKTROFILTERA.....	5
<i>MIODRAG ARSIĆ, SRĐAN BOŠNJAK, MLADEN MLADENović,</i> <i>VENCISLAV GRABULOV, ZORAN SAVIĆ</i> UTICAJ MEHANIČKIH OSOBINA MATERIJALA NA ČVRSTOĆU I OTPORNOST NA LOM POKLOPCA RADNOG KOLA TURBINE NA HIDROELEKTRANI „ĐERDAP 1”	15
<i>B. POPOVSKI, Z. MARKOV, P. POPOVSKI</i> ANALYSIS OF THE TURBINE TYPE AND CAPACITY SELECTION ON THE ECONOMIC PARAMETERS OF MEDIUM HEAD SHPP	25
<i>KRISTIJAN RISTIĆ, ŽARKO RISTIĆ</i> EKOLOŠKI MENADŽMENT U EKONOMSKOJ TEORIJI I PRAKSI	33
<i>VEDRAN BAKARIĆ, IVAN MIŠKOVIĆ, KRUNOSLAV HORVAT, OGNJEN KULJAČA</i> ISPITIVANJA SISTEMA TURBINSKE REGULACIJE HIDROAGREGAT.....	39
<i>RADOSLAV RAKOVIĆ, JASNA GRUJIĆ, SANJA PETROVIĆ-BEĆIROVIĆ</i> NEKI ASPEKTI PRAKTIČNE PRIMENE SISTEMA ENERGETSKOG MENADŽMENTA.....	49
<i>BILJANA MIĆKOVIĆ</i> VJEŠTAČKA JEZERA KAO TURISTIČKI POTENCIJAL OPŠTINE NIKŠIĆ.....	57
<i>VELJKO ĐUKIĆ, ESAD JAKUPOVIĆ</i> ENERGETSKI POTENCIJALI BIOMASE U REPUBLICI SRPSKOJ.....	63
<i>OZREN OČIĆ, IVAN SOUČEK, SLOBODAN ADŽIĆ, IVAN NIKOLIĆ</i> THE MODERNIZATION OF OIL REFINERY IN SERBIA - WITH THE TECHNOLOGY AND ECOLOGICAL ASPECTS.....	71
<i>DR OZREN OČIĆ, STEVAN NEMODA, IVAN SOUČEK,</i> <i>SLOBODAN, ADŽIĆ IVAN NIKOLIĆ</i> ENERGY EFFICIENCY AND SAVING IN OIL REFINERY.....	77
<i>БОРБЕ ЧАНТРАК, НОВИЦА ЈАНКОВИЋ, СЛОБОДАН ТАШИИ</i> ЛАСЕРСКА АНЕМОМЕТРИЈА У ИСПИТИВАЊИМА ВЕНТИЛАТОРА.....	89
<i>JASMINA MANDIĆ-LUKIĆ, NENAD SIMIĆ,</i> <i>BOJAN MILINKOVIĆ, ŽELJKO VASILJEVIĆ</i> INTELLIGENTNO UPRAVLJANJE POTROŠNOM TOPLOTNE ENERGIJE U POSLOVNIM I REZIDENCIJALNIM OBJEKTIMA.....	97
<i>BOŽIDAR ŽIVANOVIĆ</i> PROBLEMI REGULACIJE NAPONA U MREŽAMA SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA	105
<i>DUŠAN VUKOTIĆ, BRANKA TODOROVIĆ</i> ENERGETSKI POKAZATELJI KONZUMNOG PODRUČJA PD EDB U PERIODU 2008 – 2012.GODINA.....	111
<i>SAŠA R. PAVLOVIĆ VELIMIR P.STEFANOVIĆ, MIROSLAV MIJAJLOVIĆ,</i> <i>SUAD H. SULJKOVIĆ, MARKO N. ILIĆ</i> REVIEW OF SOFTWARE FOR SIMULATION AND OPTIMIZATION OF CONCENTRATING SOLAR COLLECTORS	121

energija

■ ekonomija ■ ekologija

<i>MARKO N. ILIĆ, VELIMIR P. STEFANOVIĆ, GRADIMIR S. ILIĆ, SAŠA R. PAVLOVIĆ, SUAD SULJKOVIĆ</i> CFD SIMULATION OF COMBUSTION, RADIATION OF NATURAL GAS AND ITS INFLUENCE ON ABOVE GROUND PIPING.....	133
<i>MIODRAG GRUJIĆ, DEJAN IVEZIĆ</i> RAZLIČITE PROJEKCIJE POTROŠNJE ENERGIJE U BEOGRADU DO 2030. GODINE	141
<i>VLADIMIR PAVLOVIĆ DRAGAN IGNJATOVIĆ DRAGOLJUB LAKOVIĆ</i> STRATEGIJA PROIZVODNJE UGLJA U FUNKCIJI OSTVARIVANJA STRATEGIJE ENERGETIKE REPUBLIKE SRBIJE ZA PERIOD DO 2025. GODINE	149
<i>BOGDANOVIĆ IGOR</i> UPOREDNA ANALIZA SVETSKIH I DOMAĆIH ISKUSTAVA U PRIMENI GEO-INFORMACIONIH SISTEMA U INŽENJERSTVU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE	159
<i>VESNA KAROVIĆ MARIČIĆ, DUŠAN DANILOVIĆ, BRANKO LEKOVIĆ, MIROSLAV CRNOGORAC, SAŠA IGNJATIĆ</i> KRITERIJUMI PRIMENE DOPUNSKIH METODA POVEĆANJA ISKORIŠĆENJA NAFTNIH LEŽIŠTA.....	173
<i>GORAN ĐUKIĆ</i> POREMEĆAJI AMPLITUDE NAPONSKOG TALASA I NAPONSKE NEURAVNOTEŽENOSTI-UZROCI, POSLEDICE, STANDARDI KOJI IH DEFINIŠU I NAČINI ELIMINISANJA.....	181
<i>NIKOLA MUČALICA, MIROSLAV PRŠA, KAROLINA KAŠAŠ-LAŽETIĆ, VERA BAJOVIĆ</i> POJEDNOSTAVLJENI MODEL AL-ČE I AL-ALO PROVODNIKA.....	187
<i>MILOŠ GRUJIĆ, IVICA RISTOVIĆ, MIODRAG GRUJIĆ</i> OSNOVI METODOLOGIJE ZA ODREĐIVANJE PRIORITETA REŠAVANJA PROBLEMA ZAŠTITE RADNE I ŽIVOTNE SREDINE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA LIGNITA.....	195
<i>PROF. DR MILAN RADUNOVIĆ, DAMIR HAMZIĆ, TIJANA KOSTIĆ, MILJAN RADUNOVIĆ</i> RAZVOJ ENERGETIKE KROZ JAVNO-PRIVATNO PARTNERSTVO	203
<i>DUŠAN VLAISAVLJEVIĆ, DR IVAN ŠKOKLJEV</i> MODEL VREDNOVANJA INVESTICIONOG PROJEKTA U PLANIRANJU NOVE TERMoeLEKTRANE U DEREGULISANOM, TRŽIŠNOM OKRUŽENJU.....	209
<i>PREDRAG RADOVANOVIĆ, MARINA JOVANOVIĆ, ALEKSANDAR ERIĆ</i> MOGUĆNOSTI ZA KOSAGOREVANJE SA UGLJEM ČVRSTIH OBNOVLJIVIH GORIVA U TERMoeLEKTRANAMA U SRBIJI	217
<i>BORIS ĆOSIĆ, GORAN KRAJAČIĆ, NATASA MARKOVSKA, ILIJA BATAS BJELIĆ, NIKOLA RAJAKOVIĆ, NEVEN DUIĆ</i> 100% RENEWABLE ENERGY SOLUTIONS FOR REGIONS: THE CASE OF SOUTH EAST EUROPE	227
<i>DEJAN FILIPOVIĆ, MARIJANA PETROVIĆ</i> POTENCIJALI KORIŠĆENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA PODRUČJU ZLATIBORSKOG OKRUGA	237
<i>TIN ŠTULA-VUKUŠIĆ</i> JUŽNI TOK – GEOPOLITIČKO OKRUŽENJE.....	245



energija

■ ekonomija ■ ekologija

<i>IVA BABIĆ, ŽELJKO ĐURIŠIĆ</i> UTICAJ DNEVNE I SEZONSKE VARIJACIJE SOLARNOG ZRAČENJA NA EKONOMIČNOST FOTONAPONSKIH ELEKTRANA.....	253
<i>IVA BABIĆ, MILETA ŽARKOVIĆ</i> DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE SA PRIMEROM VETROAGREGATA.....	259
<i>VLADIMIR VUKAŠINOVIĆ, MILUN BABIĆ, DUŠAN GORDIĆ, DUBRAVKA JELIĆ, DAVOR KONČALOVIĆ</i> PREGLED DOSTUPNIH MODELA GASNIH TURBINA I MOTORA SA UNUTRAŠNJIM SAGOREVANJEM KOJI SE MOGU KORISTITI U KOGENERACIONIM SISTEMIMA.....	265
<i>DARKO KORLEVIĆ, DRAGAN KOSIĆ</i> PRISTUP MODERNIZACIJI HIDRAULIČNOG DIJELA SUSTAVA TURBINSKE REGULACIJE NA HIDROELEKTRANAMA	279
<i>NIKOLA Ž. RAKIĆ, DUŠAN R. CANOVIĆ, MILAN S. POPOVIĆ, DUŠAN R. GORDIĆ, MILUN J. BABIĆ</i> TEHNO - EKONOMSKI ASPEKTI I MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE PARNOG KOGENERACIONOG CIKLUSA NA POSTOJEĆA KOTLOVSKA POSTROJENJA U ENERGANI "ENERGETIKA" KRAGUJEVAC.....	289
<i>VLADIMIR STEVANOVIĆ, MILOŠ MILIĆ, ZORAN STOJANOVIĆ, MILORAD JOVANOVIĆ</i> ENERGETSKI I EKONOMSKI UTICAJI UGRADNJE DODATNOG EKONOMAJZERA NA BLOKU B1 TENT B.....	299
<i>ĐORĐE NOVKOVIĆ, NIKOLA MARIČIĆ, MIROLJUB JEVTIĆ, ZORAN GLAVČIĆ</i> POBOLJŠANJE PERFORMANSI MALE CEVNE TURBINE PRIMENOM RAČUNARSKE MEHANIKE FLUIDA.....	309
<i>ADRIAN BEJ, ADRIANA SIDA MANEA</i> WIND ENERGY - IMPORTANT ENERGY SOURCE IN ROMANIA.....	317
<i>KAROLINA KASAŠ-LAŽETIĆ, MIROSLAV PRŠA, NIKOLA MUČALICA, TOMISLAV PAPIĆ</i> FREKVENCIJSKI ZAVISNE PODUŽNE OTPORNOSTI ALUMINIJUMSKIH UŽADI	323
<i>SAVIĆ ALEKSANDAR, PREDRAG STEFANOV</i> PLANIRANJE RAZVOJA PRENOSNE MREŽE REPUBLIKE SRBIJE UGRADNJOM FACTS UREĐAJA	331
<i>NEBOJŠA BOJOVIĆ</i> POBOLJŠANJE FAKTORA SNAGE U MESTIMA PREUZIMANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U MREŽI JP ELEKTRODISTRIBUCIJA BEOGRAD NA PRIMERU TS 110/10 KV BEOGRAD 13	341



Vladimir Vukašinović, Milun Babić, Dušan Gordić, Dubravka Jelić, Davor Končalović
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

UDK: 421.438.001

Pregled dostupnih modela gasnih turbina i motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji se mogu koristiti u kogeneracionim sistemima¹

REZIME

Gasne turbine i motori sa unutrašnjim sagorevanjem predstavljaju jedne od najzastupljenijih tehnologiju koja se koristi u kogeneracionim jedinicama kada su u pitanju gasovita goriva. Na evropskom tržištu postoji više od pedeset proizvođača i više od stotinu dobavljača kogeneracionih jedinica u kojima se koriste gasne turbine ili motori sa unutrašnjim sagorevanjem. Najveći broj tržišno dostupnih modela gasnih turbina je u opsegu snaga od 1 MWe do 50 MWe, dok su kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem najzastupljeniji modeli snage do 500 kWe. Kako se gotovo svi ovi modeli razlikuju po karakteristikama (snaga, efikasnost, rad na parcijalnim opterećenjima...), u ovom radu je, na dostupnih podataka o modelima kogeneracionih jedinica, dat pregled osnovnih karakteristika. Prikazane su karakteristike na osnovu prikupljenih podataka o 211 modela (27 proizvođača) gasnih turbina i 583 modela (34 proizvođača) kogeneracionih jedinica na bazi motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

Ključne reči: Kogeneracija, CHP, gasne turbine, motori sa unutrašnjim sagorevanjem

RESUME

Gas turbines and reciprocating engine are among the most common technology used in gaseous fuel based cogeneration units. There are more than fifty of manufacturers and more than hundred suppliers of cogeneration units that use gas turbines or reciprocating engines on the European market. The largest numbers of commercially available models of gas turbines are in the power range of 1 MWe to 50 MWe, while the most reciprocating engine based models are up to 500 kWe. Almost all of the available models have different characteristics (eg. electric power, thermal power, efficiency, operation on part load...). Based on collected data, the review of characteristics of 211 models (27 manufacturers) of gas turbines and 583 models (34 manufacturers) of reciprocating engines is presented in the paper.

Key words: Cogeneration, CHP, gas turbine, reciprocating engine

1. UVOD

Kogeneracija, ili kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije (eng. Combined Heat and Power – CHP), predstavlja jedan od vidova energetski efikasne tehnologije za generisanje energije, jer su gubici primarne energije manji nego kod odvojenog generisanja toplote i električne energije. Efikasnost kogeneracionih postrojenja može biti i veća od 85% procenata, što je znatno više u poređenju sa konvencionalnim sistemima za generisanje električne energije [1]. Energetski izazovi koji se odnose na obezbeđivanje sigurnosti snabdevanjem energijom i smanjenje emisije gasova staklene bašte, iniciraju značajniju upotrebu kogeneracionih tehnologija. O značaju kogeneracije u obezbeđivanju sigurnosti snabdevanja energijom najbolje govori podatak da je u 27 zemalja članica Evropske Unije, oko 70% sistema daljinskog grejanja je zasnovano na kogeneracionim

¹ Rad je rađen u okviru realizacije integralnih interdisciplinarnih istraživanja na naučnom projektu III42013, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, a čiji su korisnici, „Energetika d.o.o. Kragujevac“, „Energoprojekt Entel Beograd“, „Rudnap Beograd“, „Minel – Koncern Beograd“ i „Alstom Hrvatska“

postrojenjima [2]. Dodatna prednost kogeneracije postiže se primenom nekog od obnovljivih izvora energije kao goriva, jer se na taj način postiže „dvostuki efekat“ u pogledu smanjenja emisije gasova staklene bašte. Od obnovljivih izvora energije, najpovoljniji za korišćenje u kogeneracionim sistemima su biomasa i solarna energija [3, 4].

Danas, se u CHP postrojenjima koristi više tehnologija od kojih se najčešće primenjuju: parne turbine (konvencionalni Rankinov ciklus), gasne turbine, kombinovani ciklus, motori sa unutrašnjim sagorevanjem i Stirlingovi motori, tabela 1. Vrsta tehnologija koje se koriste u CHP postrojenjima, zavise pre svega od vrste i agregatnog stanja goriva koja se može koristiti, ali i od faktora koji se tiču potrebe konzuma kao i od prethodno korišćene tehnologije, ukoliko se radi o revitalizaciji postojećeg energetskog objekta.

Tabela 1. Karakteristične veličine komercijalno dostupnih tehnologija koje se koriste u CHP postrojenjima

<i>Tehnologija</i>	<i>Gorivo</i>	<i>Snaga [MW]</i>	<i>Efikasnost za proizvodnju el. energije [%]</i>	<i>Ukupna efikasnost [%]</i>
<i>Parna turbina</i>	sve vrste	0,5 - 500	7 - 20	60 - 85
<i>Gasna turbina</i>	gasovita i tečna	0,03 - 375	16 - 45	65 - 85
<i>Kombinovani ciklus</i>	gasovita i tečna	3 - 300	35 - 55	73 - 90
<i>Motor sa unutrašnjim sagorevanjem</i>	gasovita i tečna	0,02 - 10	30 - 47	50 - 92
<i>Stirlingov motor</i>	sve vrste	0,003 - 1,5	40	65 - 85

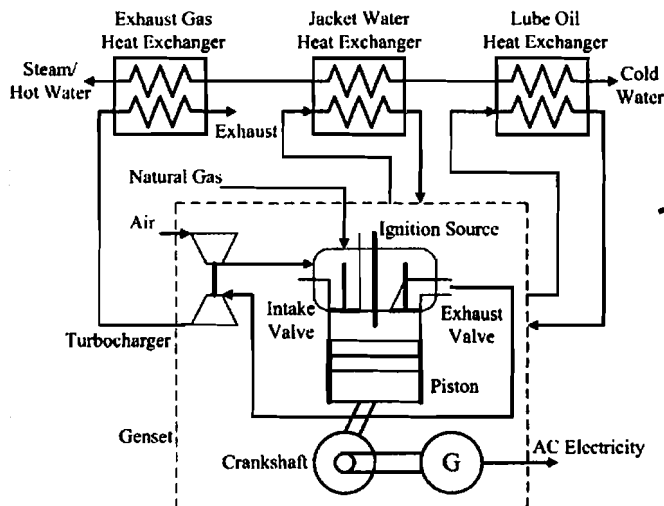
Ref: [1 2, 3, 5]

Parne turbine, gasne turbine i kombinovani ciklus parne i gasne turbine pogodni su za postrojenja velike snage (termoelektrane, sistemi daljinskog grejanja, velika industrijska postrojenja), dok su mikroturbine, motori sa unutrašnjim sagorevanjem i Stirlingovi motori pogodni za upotrebe u manjim postrojenjima (kuće, stambene zgrade, bolnice, hoteli, obrazovne ustanove...).

Kada se govori o gorivima, od fosilnih se najčešće koriste, ugalj, prirodni gas i mazut, dok se od obnovljivih izvora energije koriste biomasa (najčešće čvrsta i gasovita) ali su u razvoju i sistemi koji koriste solarnu energiju [3, 4]. Čvrsta goriva (ugalj i čvrsta biomasa), bez prethodne konverzije, pogodna su za korišćenje u postrojenjima sa parnim turbinama, gasovita i tečna goriva, mogu koristiti sa svim dostupnim tehnologijama. Postrojenja manje snage su posebno pogodna za korišćenje sa biomasom jer dostupnost goriva ne predstavlja problem kao za veća postrojenja [6], a pored toga podsticajna politika je više usmerena ka malim postrojenjima.

2. MOTORI SA UNUTRAŠNJIM SAGOREVANJEM

Dve vrste motora sa unutrašnjim sagorevanjem su trenutno u upotrebi; motori sa varničnim paljenjem (OTO motori), koji kao gorivo uglavnom koriste prirodni gas (mada mogu da se koriste biogas ili deponijski gas) i motori sa kompresionim paljenjem (Dizel motori) koji kao gorivo mogu koristiti dizel gorivo, kao i druge proizvod, kao što su biogas, mazut ili biodizel. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem su pogodni za primenu u manjim postrojenjima za generisanje električne energije i toplote, slika 1. Poseduju robusnu konstrukciju, proverenu tehnologiju, ali je potrebno redovno održavanje i servisiranje. Dostupni su u opsegu od nekoliko kWe do 10 MWe, i mogu da koriste različita goriva zbog čega su pogodni za primenu u raznim CHP postrojenjima, od primene u porodičnim kućama, preko stambenih zgrada i institucija do manjih industrijskih postrojenja. Pored brzog startovanja, velike operativne pouzdanosti i visoke efikasnosti pri delimičnom opterećenju, daju korisnicima fleksibilan izvor energije, što omogućava niz različitih energetskih primena [3, 7]. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem su najčešće korišćene tehnologije za generisanje električne energije do 1MW [1].



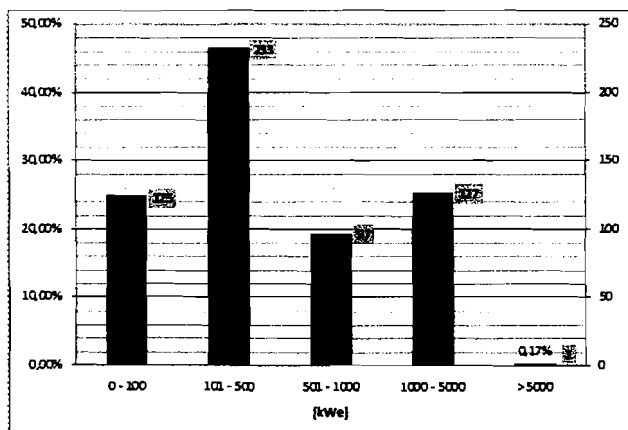
Slika 1. Šema kogeneracionog postrojenja sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem [1]

Iako su razvijene tehnologije, motori sa unutrašnjim sagorevanjem imaju nekoliko nedostataka: relativno visok nivo vibracija, veliki broj pokretnih delova i frekventni intervali održavanja podižu troškove održavanja. Pored toga, puna iskorišćenost različitih toplotnih izvora sa različitim temperaturnim nivoima u CHP postrojenju je dosta komplikovana. Iako je tehnologija proverena i pouzdana, potrebna su dodatna poboljšanja pre svega u pogledu visokih emisija, naročito emisija azotnih oksida [1, 7].

Na evropskom tržištu postoji nekoliko desetina proizvođača kogeneracionih jedinica koje koriste motore sa unutrašnjim sagorevanjem. Pored proizvođača kogeneracionih jedinica koji imaju proizvodnju sopstvenih motora (MAN, TEDOM, WAUKESHA...), na tržištu je i veliki broj proizvođača koji koristi motore pomenutih proizvođača, ali proizvodi sopstvene kogeneracione jedinice koje se razlikuju po karakteristikama. U ovom radu su obrađena 583 modela (34 proizvođača) kogeneracionih jedinica sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem koji su dostupni na evropskom tržištu i koji koriste gasovito gorivo. Od broja obrađenih modela, 224 modela, po specifikaciji proizvođača, predviđeno je da koristi biogas kao gorivo. U brošurama većine proizvođača date su karakteristike (izlazna snaga, efikasnost, potrošnja goriva...) pri čemu su za modele koji koriste biogas date karakteristike pri upotrebi biogasa koji sadrži 65% metana i 35% negorivih materija (najčešće ugljen dioksida) [11].

Raspon snaga

Raspon snaga obrađenih modela kreće se od „mikro“ jedinica izlazne snage 1,3 kWe pa do jedinica snage 9500 kWe. Kako su motori sa unutrašnjim sagorevanjem pogodni za primenu u manjim postrojenjima, na tržištu je najveći broj modela izlazne snage do 1000 kWe. Sa slike 2, vidi se da je od obrađenih 583, više od 78% modela u opsegu do 1000 kWe. Tržišni udeo modela do 100 kWe je oko 21% (125 modela), u rasponu 101 – 500 kWe oko 40% (233 modela), u rasponu 501 – 1000 kWe nešto manje od 17% (97 modela) i u rasponu od 1001 do 5000 kWe oko 22% (127 modela). Od ukupnog broja modela obrađen je samo jedan model snage veće od 5000 kWe. Kogeneracione jedinice na bazi motora sa unutrašnjim sagorevanjem, koji kao gorivo koriste biogas, dostupni su za snage od 21 do 2740 kWe [11].

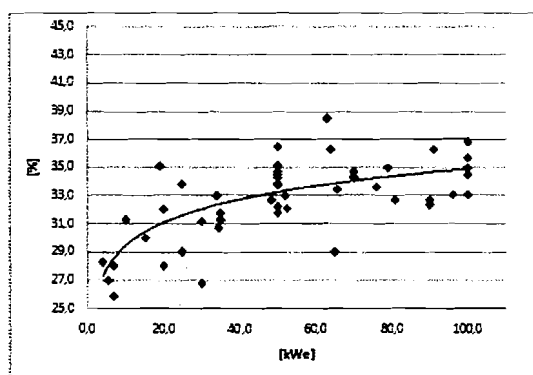


Slika 2. Broj dostupnih modela motora sa unutrašnjim sagorevanjem

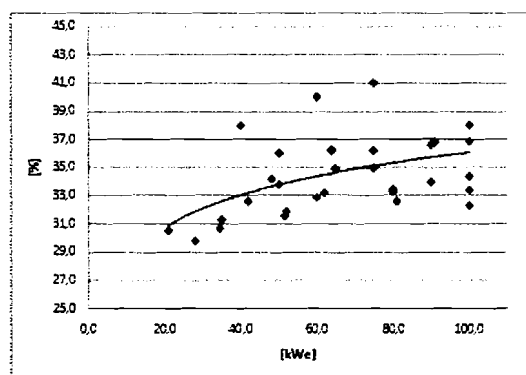
Toplota koju mogu da generišu prikazane kogeneracione jedinice je u opsegu od 4 kWt do 8100 kWt, pri čemu odnos generisanja toplote i električne energije varira. Odnos zavisi pre svega od konstrukcije kogeneracione jedinice, odnosno od načina rekuperacije otpadne toplote. Kod nekoliko dostupnih modela nije predviđena rekuperacija toplote iz izduvnih gasova pa je i ovaj odnos manji.

Efikasnost

Efikasnost kogeneracionih jedinica koje koriste motore sa unutrašnjim sagorevanjem (za modele do 100 kW_e) za generisanje električne energije je u opsegu od 25,9 do 38,5% za modele koji koriste prirodni gas, slika 3a i u opsegu od 28,9 do 41% za modele koji koriste biogas slika 3b. Za iste modele ukupna efikasnost se kreće od 80,3 do 98,4% za modele koji koriste prirodni gas kao gorivo, slika 4a i od 76 do 93,5% za modele koji koriste biogas, slika 4b. Efikasnost proizvodnje električne energije ima rastući trend sa povećanjem snage. Sa druge strane ukupna efikasnost ima trend blagog opadanja. Međutim, na slikama 8 i 9 primećuje se znatno rasipanje u pogledu efikasnosti koja zavisi isključivo od efikasnosti ugrađenog motora ali i od konstrukcije same kogeneracione jedinice.

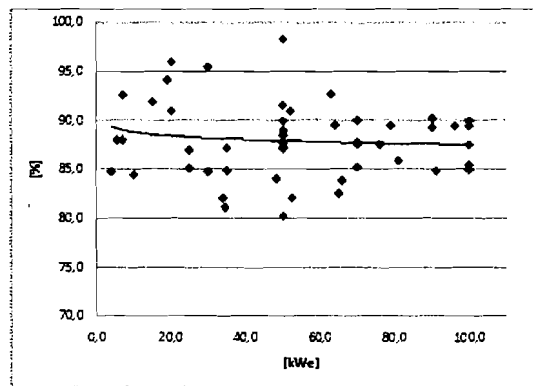


a) prirodni gas

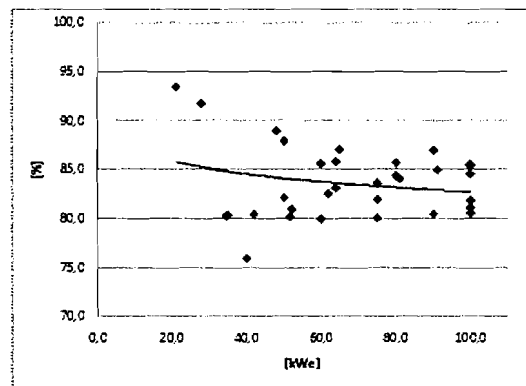


b) biogas

Slika 3. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (do 100 kW_e)



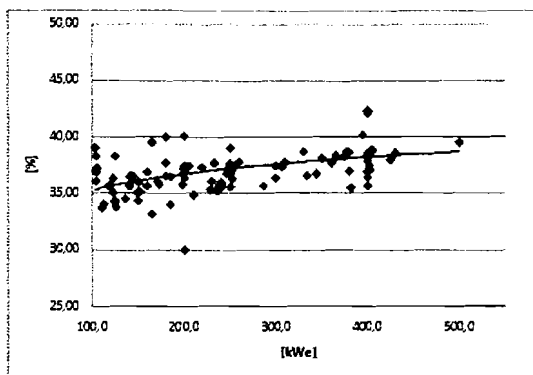
a) prirodni gas



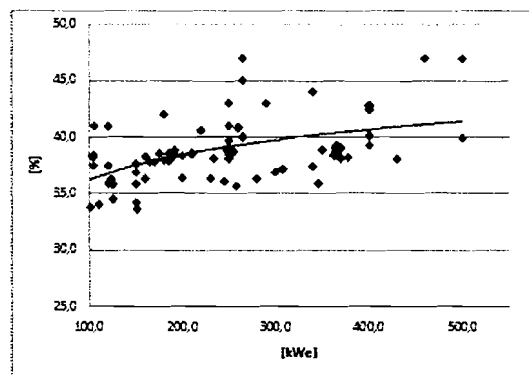
b) biogas

Slika 4. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (do 100 kW_e)

Kod kogeneracionih jedinica koje koriste motore sa unutrašnjim sagorevanjem, snage od 101 do 500 kW_e, koja ujedno i predstavlja najbrojniju grupu, efikasnost za generisanje električne energije je u opsegu od 33,2 do 40,0% za motore koji koriste prirodni gas, slika 5a. Na istoj slici se može primetiti da su samo 3 modela van ovog opsega pri čemu dva imaju efikasnost od 42,3% i jedan sa efikasnošću za generisanje električne energije od 30,0%. Kada su u pitanju modeli koji koriste biogas, efikasnost produkcije električne energije je u opsegu od 29,9 do 47,0%, slika 5b. Ukupna efikasnost ovih modela se kreće od 77,1 do 93,0% za modele koji koriste prirodni gas, slika 6a kao gorivo i od 76,0 do 93,5% za modele koji koriste biogas, slika 6b. Efikasnost produkcije električne energije i kod ove grupe modela ima trend rasta dok ukupna efikasnost ima opadajući trend sa porastom snage.

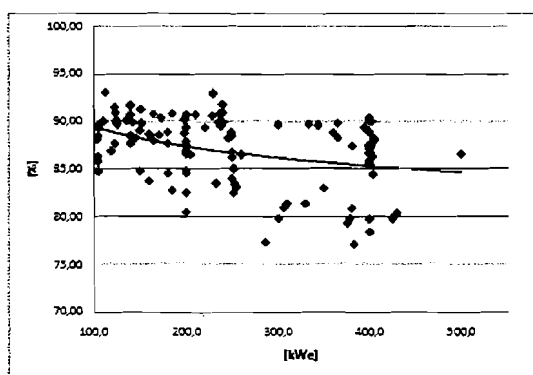


a) prirodni gas

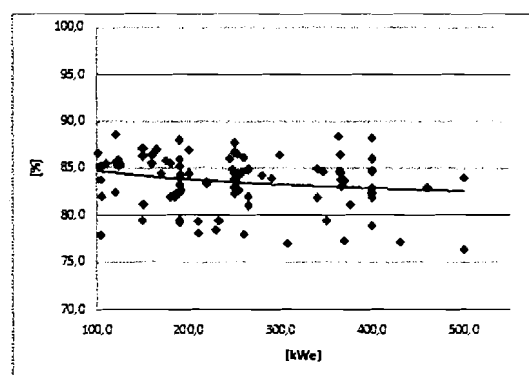


b) biogas

Slika 5. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (od 101 do 500 kW)



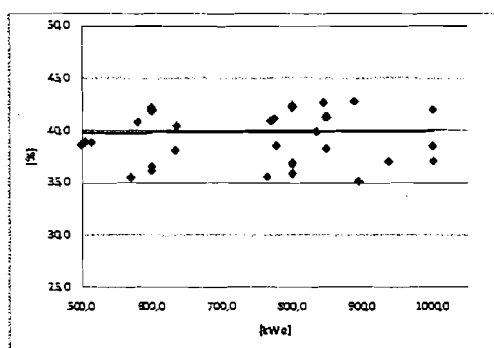
a) prirodni gas



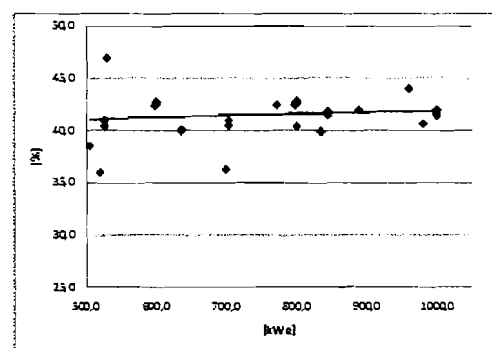
b) biogas

Slika 6. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (od 101 do 500 kW)

Kod kogeneracionih jedinica koje koriste motore sa unutrašnjim sagorevanjem, snage od 501 do 1000 kW, efikasnost za generisanje električne energije je u opsegu od 35,2 do 42,8% za modele koji koriste prirodni gas, slika 7a. Kod modela koji koriste biogas, efikasnost produkcije električne energije je u opsegu od 36,0 do 47,0%, slika 7b. Ukupna efikasnost ovih modela se kreće od 78,2 do 94,2% za modele koji koriste prirodni gas, slika 8a kao gorivo i od 80,0 do 88,7% za modele koji koriste biogas, slika 8b.

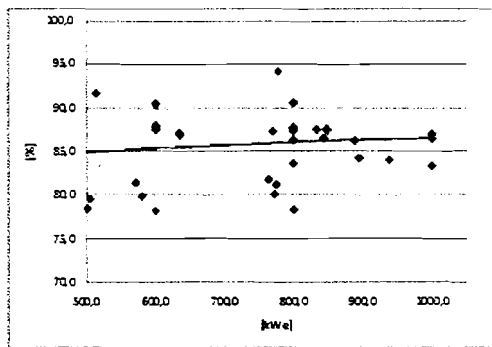


a) prirodni gas

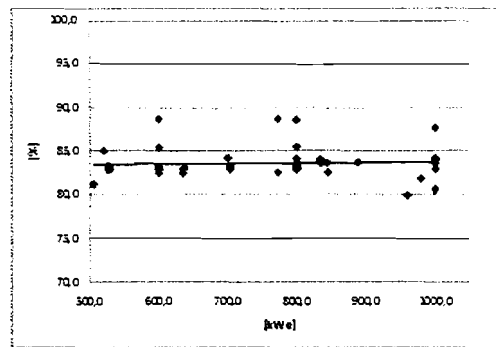


b) biogas

Slika 7. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (od 501 do 1000 kW)



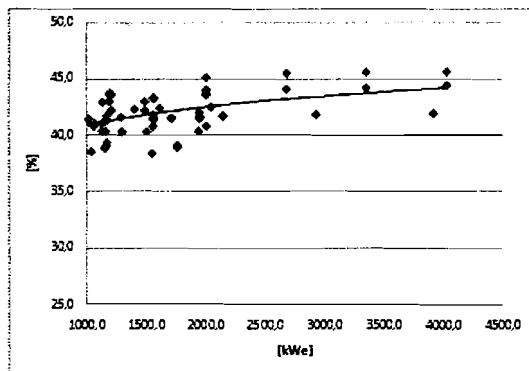
a) prirodni gas



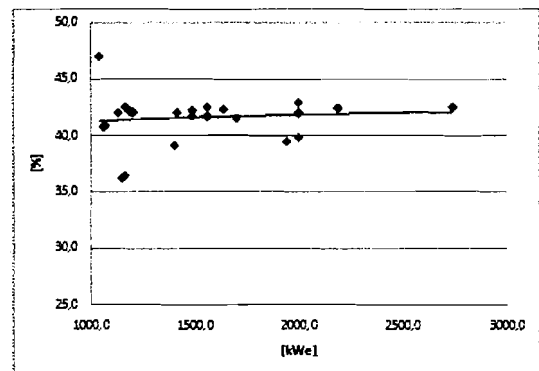
b) biogas

Slika 8. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (od 501 do 1000 kWe)

Kod kogeneracionih jedinica koje, snage veće od 1000 kWe, efikasnost za generisanje električne energije je u opsegu od 38,4 do 45,6% za modele koji koriste prirodni gas, slika 9a. Kod modela koji koriste biogas, efikasnost produkcije električne energije je u opsegu od 36,2 do 47,0%, slika 9b. Ukupna efikasnost ovih modela se kreće od 77,0 do 98,8% za modele koji koriste prirodni gas, slika 10a kao gorivo i od 51,7 do 89,2% za modele koji koriste biogas, slika 10b. U ovoj grupi nalaze se i dva modela koja koriste biogas kao gorivo, a koja imaju ukupnu efikasnost 51,4 i 51,7%. Razlog za ovako niske ukupne efikasnosti je to što konstrukcijom ova dva modela nije predviđena rekuperacija toplote iz izduvnih gasova.

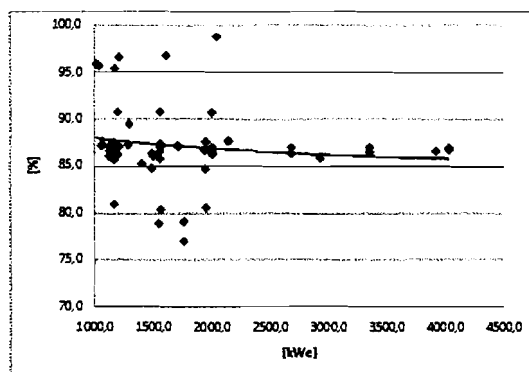


a) prirodni gas

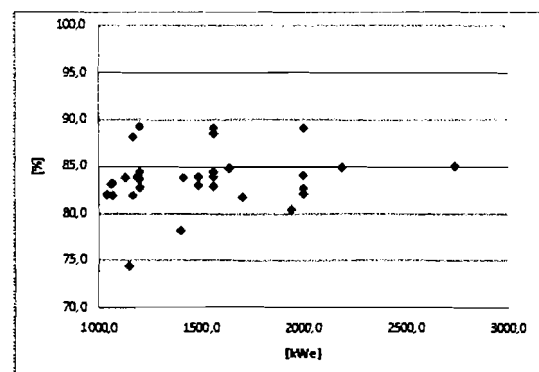


b) biogas

Slika 9. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (preko 1000 kWe)



a) prirodni gas



b) biogas

Slika 10. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (preko 1000 kWe)

Investicioni troškovi i troškovi održavanja

Investicioni troškovi I_{re} [€/kWe] za SI motore se prema [8], mogu proceniti po empirijskom obrascu obrascu (1), pri čemu se troškovi instaliranja opreme i izgradnje mašinske zgrade ne uzimaju u obzir. Ovi troškovi zavise od veličine postrojenja (instalisanе snage P_{el} [kWe]), kvaliteta i tehnologije.

$$I_{re} = 4639 \cdot P_{el}^{-0.333} \quad (1)$$

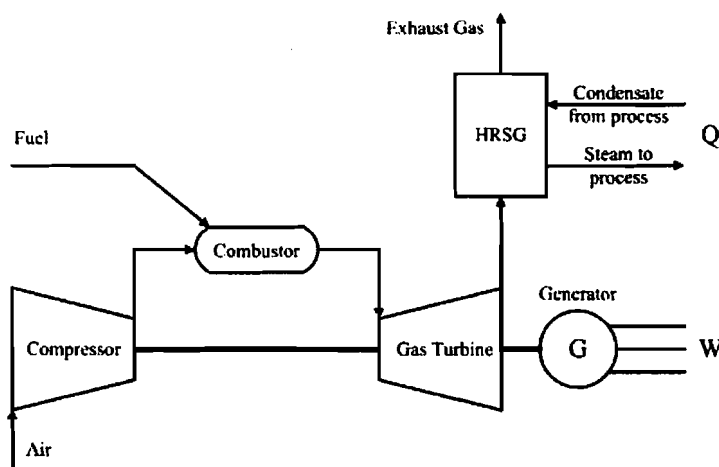
Tačan iznos ovih troškova može se dobiti, jedino iz ponude proizvođača ili dobavljača. U radu [1] su prikazani iznosi ovih troškova za nekoliko modela i poređenjem sa troškovima koji se dobijaju upotrebom izraza (1) može se uočiti da su odstupanja od 3 do 8%.

Troškovi održavanja variraju za različite instalacije, ali generalno zavise od veličine postrojenja, kvaliteta goriva, broja uključivanja i isključivanja... Kao kod investicionih troškova, tačan iznos troškova održavanja dobija se od strane proizvođača – dobavljača, odnosno od ovlašćenih servisa, pa tako iznos ovih troškova prikazan u [1], iznosi od 0,005 \$/kWh za veće sisteme, pa do 0,032 \$/kWh za manje sisteme. Takođe, podaci dobijeni iz demonstracionih projekata u Velikoj Britaniji [1], pokazuju da su se troškovi za sisteme kogeneracije sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem kretali od 0,008 do 0,026 \$/kWh, a prosečno 0,014 \$/kWh. Za početnu analizu, cena održavanja C_{re} [€/MWh] u zavisnosti od instalisanе snage, može se izračunati po obrascu (2) ili se kao alternativa može uzeti da troškovi održavanja iznose 4% od ukupne investicije [8].

$$C_{re} = 49406 \cdot P_{el}^{-0.2219} \quad (2)$$

3. GASNE TURBINE

Gasne turbine, slika 11, predstavljaju tehnologiju koja se zasniva na Džulovom (u zapadnoj literaturi Brajtonov) ciklusu. Ukoliko se kao gorivo koristi prirodni gas ili neko drugo visoko-kvalitetno gorivo imaju više prednosti u odnosu na parne turbine. Ove prednosti se ogledaju u: višoj efikasnosti, manjim kapitalnim troškovima, bržem pokretanju, zahtevaju manje radne snage, imaju veću dostupnost i manjih su dimenzija. Pri korišćenju biomase kao goriva javlja se problem po pitanju kvaliteta goriva, pa je potrebno izvršiti redizajn sistema, posebno ako se radi o gorivima sa niskom donjom toplotnom moći [2].



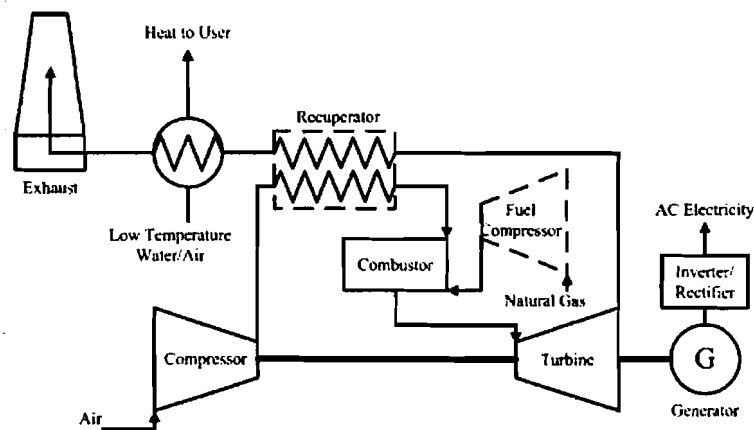
Slika 11. Šema kogeneracionog postrojenja sa gasnom turbinom

Gasne turbine se često koriste u velikim kogeneracionim postrojenjima, zbog svoje velike pouzdanosti i velikog opsega snaga. Gasne turbine se lakše instaliraju od parnih turbina, dok su emisije štetnih gasova niže nego kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem i dostupna je isplativa tehnologija za kontrolu emisije NO_x . Pored niza prednosti, gasne turbine imaju nekoliko nedostataka i to visok nivo buke, dug period remonta i učinak zavisi od spoljašnjih uslova. Nedostatak gasnih turbina su i zahtevi po pitanju kvaliteta goriva, pre svega prirodnog gasa, što zahteva i višu cenu. Visoke temperature, zahtevaju i više standarde po pitanju izbora

materijala, što takođe iziskuje i višu cenu proizvodnje. Pored toga, performanse turbina značajno opadaju na višim nadmorskim visinama ili tokom perioda sa visokim spoljnim temperaturama [7].

Mikro-turbine

Mikroturbine, slika 12, predstavljaju umanjene verzije gasnih turbina i imaju efikasnost proizvodnje električne energije do 30% u CHP postrojenjima. Najčešće se kao gorivo koristi prirodni gas, ali mogu koristiti i dizel gorivo, benzin ili neko drugo visoko-energetsko gorivo. Mikroturbine imaju samo jedan pokretni deo, koji koristi vazdušne ležajeve i ne zahteva ulje za podmazivanje, iako imaju izuzetno visoku brzinu rotacije, pa time imaju minimalne zahteve u pogledu održavanja. Većina komercijalno dostupnih mikroturbina se sastoji od generatora, turbine i kompresora montiranih na zajedničkom vratilu vrlo visoke ugaone brzine (do 90.000 o/min). Primenom u CHP postrojenjima, može se ostvariti ukupna efikasnost koja je veća od 80%. Postojeći mikroturbinski sistemi su veličine od 25 do 80 kW, što je dovoljno da se zadovolje potrebe jedne stambene zgrade ili ustanove [1].



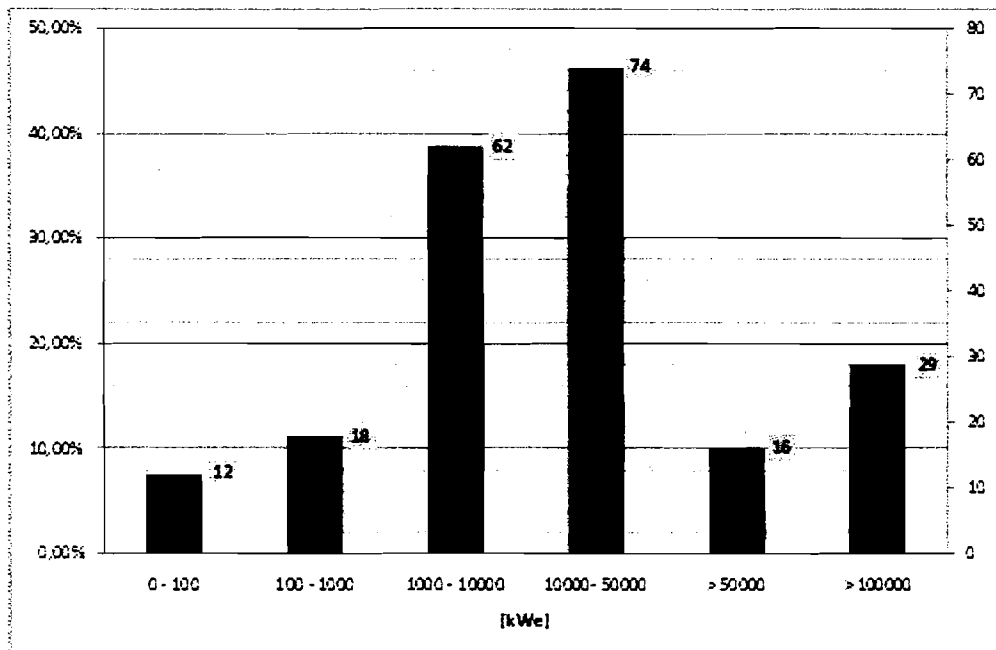
Slika 12. Šema kogeneracionog postrojenja sa mikro-turbinom

Nizak nivo vibracija i modularnost konstrukcije čine mikroturbine pogodnim za CHP postrojenja, ali je potrebno da, ukoliko se koriste, biogoriva imaju zadovoljavajući kvalitet. Značajna karakteristika mikroturbina je velika fleksibilnost koja omogućava kombinovanje jedinice male snage u velike sisteme. Pored toga, postoje ekološke prednosti, kao što su niže temperature sagorevanja i obezbeđivanje niske emisije NOx i manja buka od motora sa unutrašnjim sagorevanjem iste veličine. Ova tehnologija je komercijalizovana pre nekoliko godina i nalazi se u ponudi malog broja dobavljača. Mikro-turbine odlikuje i nizak stepen efikasnosti za proizvodnju električne energije i promena efikasnosti sa promenom ambijentalnih uslova [7].

Za razliku od motora sa unutrašnjim sagorevanjem, na tržištu je mali broj kogeneracionih modula (jedinica) koji su prefabrikovane. Na tržištu se može naći 30-ak ovakvih modela i to do 1000 kWe. Ostali modeli se mogu koristiti u kogeneracionim postrojenjima ali se od strane proizvođača dobijaju samo podaci koji su vezani za generisanje električne energije. Količina toplote koja se može iskoristiti primenom gasne turbine u kogeneracionom postrojenju može se izračunati sprovođenjem termodinamičkog proračuna gasne turbine. U ovom radu je obrađeno 211 modela gasnih turbina (27 proizvođača) od čega je 30 prefabrikovano u kogeneracione module.

Raspon snaga

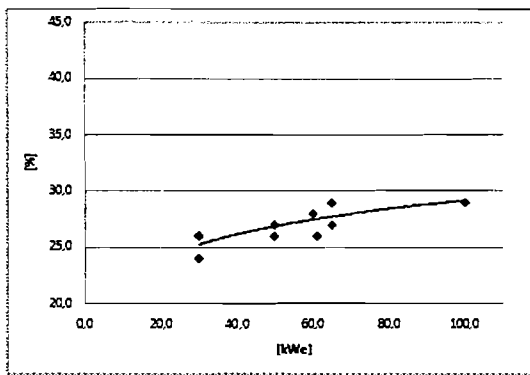
Raspon snaga obrađenih modela kreće se od „mikro“ jedinica izlazne snage 28 kWe pa do jedinica snage 375 MWe. Gasne turbine su po svojim karakteristikama pogodne za upotrebu u velikim postrojenjima, pa se najveći broj modela dostupnih na tržištu nalazi u opsegu od 10 do 100 MWe. Sa slike 13, vidi se da je od obrađenih 211 modela, više od polovineu opsegu preko 10 MWe. Tržišni udeo modela od 1 do 10 MWe je oko 5,69% (12 modela), u rasponu 101 – 1000 kWe oko 8,5% (18 modela), u rasponu 1 – 10 MWe oko 29,4% (62 modela) i u rasponu od 10 do 50 MWe nešto više od 35% (74 modela). Od ukupnog broja obrađenih modela, 45 generiše preko 50 MWe od čega 29 modela preko 100 MWe [11].



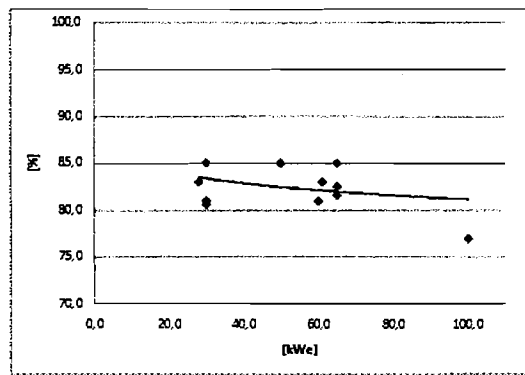
Slika 13. Broj dostupnih gasnih turbina

Efikasnost

Efikasnost kogeneracionih jedinica sa gasnom turbinom (za modele do 100 kW) za generisanje električne energije je u opsegu od 24,0 do 33,0%, slika 14. U ovom opsegu gasne turbine dolaze prefabrikovane u kogeneracione module, tako da se od strane proizvođača dobijaju i podaci o ukupnoj efikasnosti koja se kreće u opsegu od 77,0 do 85,0%, slika 15. Efikasnost proizvodnje električne energije ima rastući trend sa povećanjem instalisane snage. Sa druge strane ukupna efikasnost ima trend blagog opadanja.

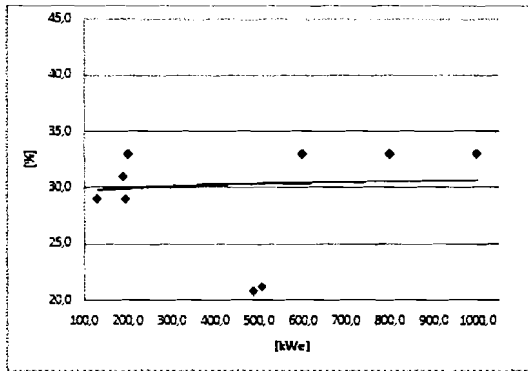


Slika 14. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa gasnom turbinom (do 100 kW)

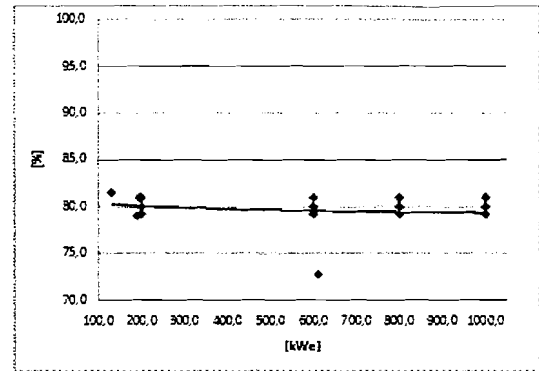


Slika 15. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa gasnom turbinom (do 100 kW)

U opsegu snaga od 101 do 1000 kW najveći broj modela gasnih turbina dolazi u kogeneracionim modulima, pa se i u ovom opsegu od proizvođača mogu dobiti podaci koji se tiču i proizvodnje električne energije i toplote. Efikasnost proizvodnje električne energije u ovim modelima kreće se od 20,8 do 33,0%, slika 16, dok se ukupna efikasnost kreće od 72,7 do 81,5%, slika 17.

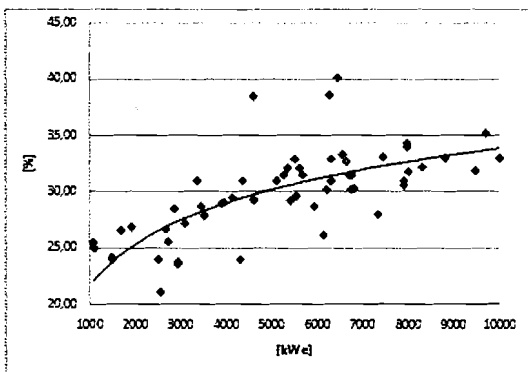


Slika 16. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa gasnom turbinom (101 kWe – 1000 kWe)

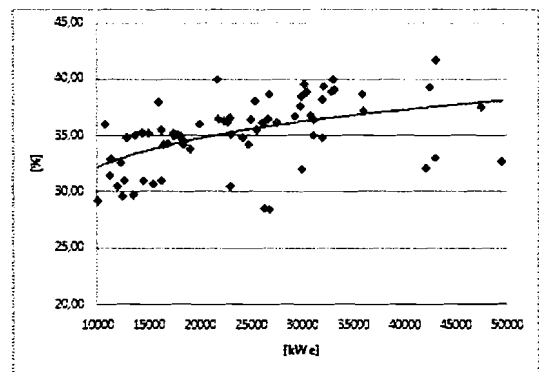


Slika 17. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa gasnom turbinom (101 kWe – 1000 kWe)

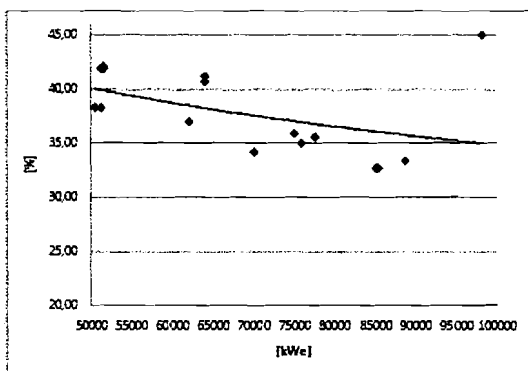
Gasne turbine snage preko 1 MWe na tržištu se nalaze kao zasebne jedinice i od strane proizvođača se dobijaju podaci vezani za mogućnost generisanja električne energije, ali i podaci neophodni za sprovođenje termodinamičkog ciklusa kako bi se odredili parametri koji se odnose na iskorišćenje toplote izduvnih gasova. Na slikama 18 – 25. date su efikasnosti generisanja električne energije za modele gasnih turbina po određenim opsezima.



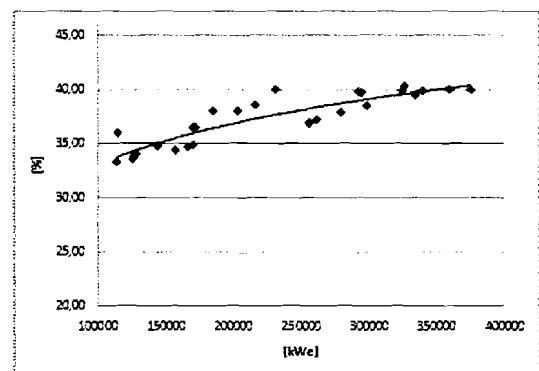
Slika 18. Efikasnost proizvodnje električne energije u jedinicama sa gasnom turbinom (1 MWe - 10 MWe)



Slika 19. Efikasnost proizvodnje električne energije u jedinicama sa gasnom turbinom (10 MWe - 50 MWe)



Slika 20. Efikasnost proizvodnje električne energije u jedinicama sa gasnom turbinom (50 MWe - 100 MWe)



Slika 21. Efikasnost proizvodnje električne energije u jedinicama sa gasnom turbinom (100 MWe - 375 MWe)

Investicioni troškovi i troškovi održavanja

Procena investicionih troškova I_{gt} [\$/kWe] kod gasnih turbina može se izvršiti na osnovu empirijskog obrasca (4) datog u [9]. Ovi troškovi zavise od veličine postrojenja (instalisanе snage P_{el} [kWe]), kvaliteta i tehnologije, a obuhvataju: gasnu turbinu, sistem za startovanje i podmazivanje, sisteme dovoda i odvoda gasova i prigušnike, sistem za dovođenje goriva (bez kompresora), vazdušni filter, standardni sistem za kontrolu, sistem za kontrolu emisije NO_x . Investicioni troškovi pojedinih modela dati su u radu [1] i kao što je slučaj kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem, postoje određena odstupanja, ali se vrednosti dobijene izrazom (4) mogu koristiti u za početnu analizu.

$$I_{gt} = 877,58 \cdot P_{el}^{-0,2305} \quad (4)$$

Troškovi održavanja se mogu proceniti na oko 11,5 €/h, prema [10], pri čemu treba naglasiti da je ova procena dosta gruba. Prema [1] obično se planirano održavanje obavlja jednom godišnje, dok su troškovi održavanja u opsegu 0.006 - 0.01 \$/kWh. Većina proizvođača predviđa 0.01 \$/kWh za specijalizovano održavanje koje uključuje periodične preglede gorionika, zamene ležajeva, pored redovnih zamena vazdušnih i uljnih filtera.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je imao za cilj prikaz stanja na tržištu motora sa unutrašnjim sagorevanjem i gasnih turbina koji su predviđeni za rad u kogeneracionim jedinicama i postrojenjima. Tržište nudi širok spektar snaga i efikasnosti tako da se može pronaći odgovarajući model za gotovo svaki zahtev potencijalnih korisnika.

Veliki broj modela gasnih turbina i motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji su ili prefabrikovani u kogeneracione jedinice ili su po specifikaciji proizvođača predviđeni da rade u kogeneracionim postrojenjima je dostupan na tržištu. Svi modeli, koji su obrađeni u ovom radu, motora sa unutrašnjim sagorevanjem (583 modela) i gasnih turbina snage do 1 MWe (30 modela) su dostupni na tržištu kao kogeneracione jedinice. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem se najčešće koriste za kogeneracione jedinice male snage, dok su gasne turbine pogodne za upotrebu u postrojenjima velike snage, što najbolje pokazuje raspon snaga dostupnih modela.

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, zahtevaju relativno niske investicione troškove i kratko vreme za ugradnju, a pored toga imaju kratak period pokretanja/isključivanja, prilagodljive parametre rada, visok stepen iskorišćenja i relativno lako održavanje. Iako veliki broj proizvođača koristi kogeneracionih jedinica koristi iste motore (MAN, TEDOM, WAUKESHA...) ukupne efikasnosti modela se razlikuju, pre svega zbog različitih konstruktivnih izvođenja sistema za rekuperaciju toplote. Dostupni modeli su pogodni za upotrebu od porodičnih kuća, stanbenih zgrada, pa do javnih zgrada, hotela i manjih industrijskih postrojenja.

Gasne turbine su zbog svog opsega snaga i pouzdanosti pogodne pre svega za upotrebu u velikim postrojenjima gde se pored njih mogu koristiti i parne turbine (velika industrijska postrojenja, sistemi daljinskog grejanja, termoelektrane). Prednosti gasnih turbina u odnosu na parne, ukoliko se koristi gorivo visokog kvaliteta, se pre svega ogledaju u: višoj efikasnosti, manjim kapitalnim troškovima, bržem pokretanju, manjim zahtevima po pitanju radne snage, a imaju i veću zastupljenost na tržištu i manjih su dimenzija.

LITERATURA

- 1 Onovwiona H.I., and V.I. Ugursal: *Residential cogeneration systems: review of the current technology*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(2006):389-431.
- 2 *Small-scale biomass CHP plants in Sweden and Finland*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(2011):4451-4465.
- 3 Vukašinović V., Babić M., Gordić D., Jelić D. i D. Končalović: *Korišćenje biomase u malim kogeneracionim postrojenjima - potencijal i tehnologije*, Energija, ekonomija i ekologija, 2012; 15(1-2):170-175;
- 4 Thilak R.N., Iniyar S. and R. Gocic: *A review of renewable energy based cogeneration technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(2011):3640-3648.
- 5 International Energy Agency: *Cogeneration and District Energy – Sustainable energy technologies for today and tomorrow*, 5; Dostupno na: <http://www.iea.org/files/CHPbrochure09.pdf>
- 6 Keppo I. and T. Savola: *Economic appraisal of small biofuel fired CHP plants*, Energy Conversion and Management, 48(2007):1212-1221;
- 7 Wu W. D. and Wang R. Z.: *Combined cooling, heating and power: A review*, Progress in Energy and Combustion Science, 32(2006):459-495.

- 8 Lantz M.: *The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies*, Applied Energy, 98(2012):502-511.
- 9 Pauschert D.: *Study of Equipment Prices in the Power Sector*, ESMAP Technical Paper 122/09, 2009.
- 10 Petrović, M. i dr.: *Analiza primene gasnih turbina i gasnih motora za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije u toplani „Cerak“ u Beogradu - elaborat*, Beograd, 2004.
- 11 Brošure proizvođača:
 - Senertec: <http://www.senertec.de/index.php?id=3&L=1>
 - Buderus: http://www.buderus.be/?language=2&page_id=13033
 - Cogenco: <http://www.cogenco.co.uk/>
 - COMUNA metal: <http://www.comuna-metall.de/produkte/blocker.php>
 - DEUTZ: <http://www.deutz.de/html/default/home.en.html>
 - EC Power AS: <http://www.ecpower.eu/english/home.html>
 - Edina: <http://www.edinauk.com/>
 - Kuntschar+Schluter: <http://www.wolf-heiztechnik.de/de/K-S/BHKW/Lieferprogramm.html>
 - Eneria CAT: <http://www.eneria.be/producten/wkk/>
 - FutureEnergy: <http://shop.neue-energie-technik.net>
 - HAASE Energietechnik: <http://www.haase-energietechnik.de/en/Home/>
 - HÖFLER: <http://www.hoefler-bhkw.de/index.html>
 - BOSCH: <http://www.bosch-kwk.de/>
 - MEPHISTO: <http://kwk.info/mephisto-bhkw/aktuelle-modelle#g16>
 - KVA Diesel: <http://www.kva-diesel.dk/microchpsystems.php>
 - KW Energie: <http://www.kwenergie.de/>
 - 2G CENERGY: <http://www.2g-cenergy.com/products.html>
 - Motorgas: <http://www.motorgas.cz/en/products/cogeneration-units/>
 - Pro2: http://www.pro2.com/t/22_36.html
 - SCHMITT ENERTEC: <http://www.schmitt-enerotec.com/index.html>
 - COGENON: <http://www.cogenon.com/>
 - TEDOM: <http://cogeneration.tedom.com/>
 - Temp Technology: <http://www.temptech.ie/chp>
 - Valliant: www.vaillant.rs
 - 2G Energietechnik: <http://www.2-g.de>
 - Dreyer & Bosse: <http://www.dreyer-bosse.de/de/produkte/aminselect.php>
 - SCHNELL: <http://www.schnellmotor.de/sm/produkte/index.php>
 - SEVA Energie AG: <http://www.seva.de/>
 - MWM: <http://www.mwm.net/en/products/>
 - GE Jenbacher: <http://site.ge-energy.com/corporate/gas-engines-profile/index.htm>
 - SEF-Energietechnik: <http://www.sef-bhkw.de/>
 - GE Waukesha: <http://www.dresserwaukesha.com/>
 - INDOP Gorenje: <http://www.gorenje-indop.si/sr/>
 - SDMO Industries: <http://www.sdmo.com/EN>
 - Wels Strom: <http://www.minikraftwerk.at/>
 - KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES: <http://www.khi.co.jp/english/index.html>
 - Vericor Power Systems: <http://www.vericor.com/>
 - TURBEC: <http://www.turbec.com/products/products.htm>
 - Capston: <http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/>
 - Acrona Systems AG: <http://www.acrona-systems.com/deutsch/>
 - ZORYA-MASHPROEKT: <http://eng.zmturbines.com/products.html>
 - Aviadvigatel: <http://www.avid.ru/eng/products/gtu-for-electric/GTU-2.5P/>
 - Siemens: <http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/>
 - Rolls-Royce: <http://www.rolls-royce.com/energy/index.jsp>
 - MITSUBISHI Heavy Industries: <http://www.mhi.co.jp/en/index.html>
 - MAN Diesel & Turbo: <http://www.mandieselturbo.com/0000002/Home.html>
 - GE Energy: http://www.ge-energy.com/products_and_services/index.jsp
 - DRESSER-RAND: <http://www.dresser-rand.com/products/CHP/>
 - AnsaldoEnergia: <http://www.ansaldoenergia.com/GasTurbines.htm>
 - Alstom: <http://www.alstom.com/power/gas-power/gas-turbines/>
 - Solar Turbines (Caterpillar Company): <http://www.solarturbines.com/>
 - Energy Systems: <http://www.iesl.com/products.htm>
 - Centrax Gas Turbines: <http://www.centraxgt.com/>
 - Bharat Heavy Electricals Limited: <http://www.bhel.com/home.php>
 - HITACHI: <http://www.power-hitachi.com/products/index.html>

- Hitachi Zosen Corporation: <http://www.hitachizosen.co.jp/english/products/index.html>
- Mitsui: www.mitsui-india.com/power.aspx
- Motor Sich: <http://www.motorsich.com/eng/products/land/ge/>
- OPRA Turbines: <http://www.opraturbines.com/en/>
- Orenda Aerospace: <http://www.magellanaerospace.com/>
- Pratt & Whitney: http://www.pw.utc.com/products/power_systems/power_systems.asp