

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

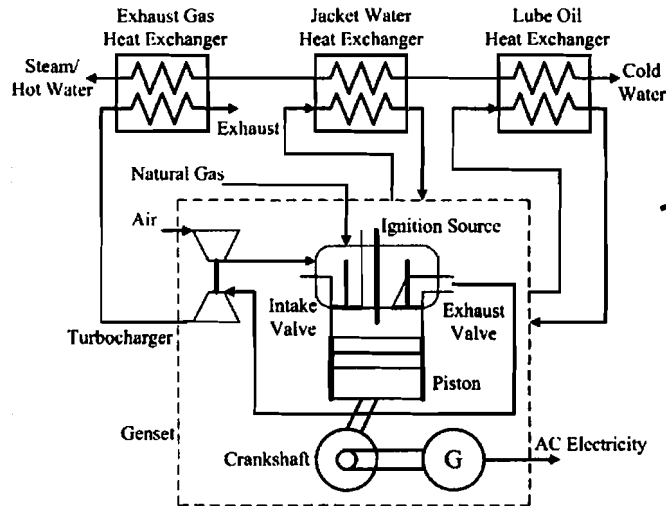
Ref: [1 2, 3, 5]

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].



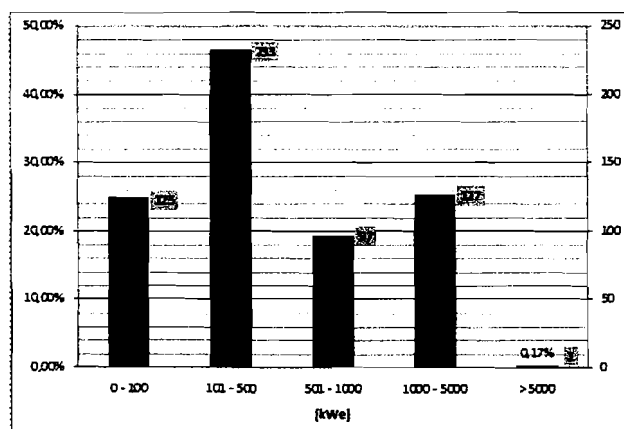
Slika 1. Šema kogeneracionog postrojenja sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem [1]

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].

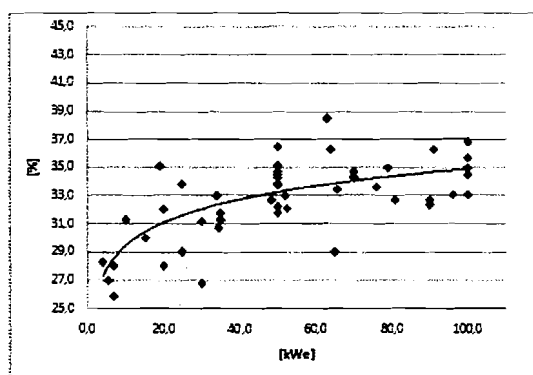


Slika 2. Broj dostupnih modela motora sa unutrašnjim sagorevanjem

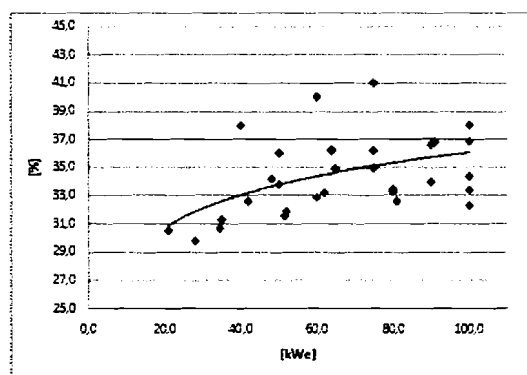
Toplota koju mogu da generišu prikazane kogeneracione jedinice je u opsegu od 4 kWt do 8100 kWt, pri čemu odnos generisanja toplote i električne energije varira. Odnos zavisi pre svega od konstrukcije kogeneracione jedinice, odnosno od načina rekuperacije otpadne toplote. Kod nekoliko dostupnih modela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

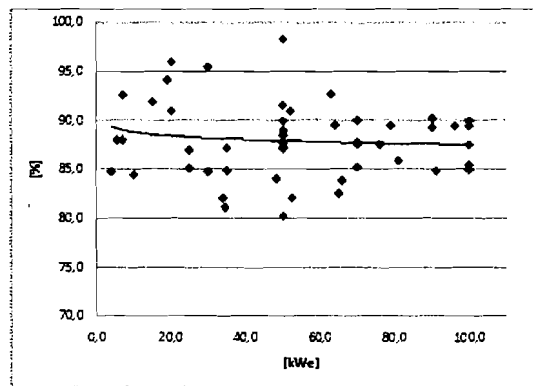


a) prirodni gas

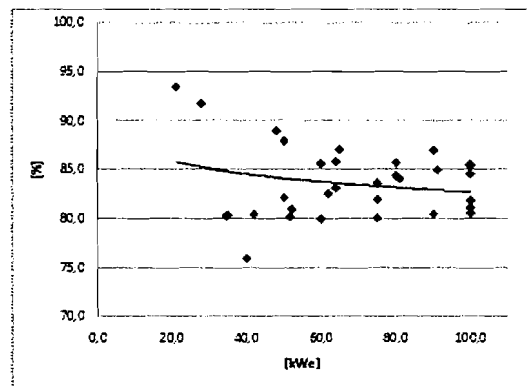


b) biogas

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



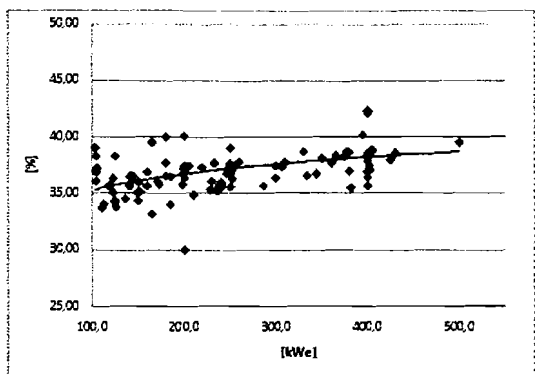
a) prirodni gas



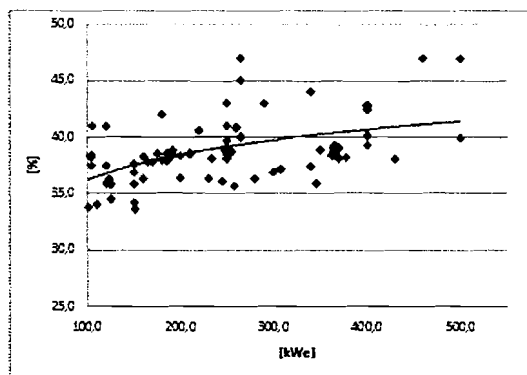
b) biogas

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.

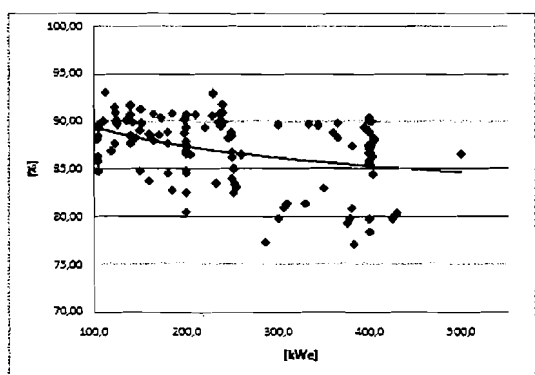


a) prirodni gas

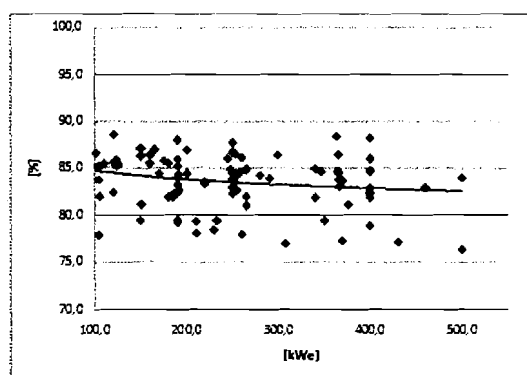


b) biogas

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



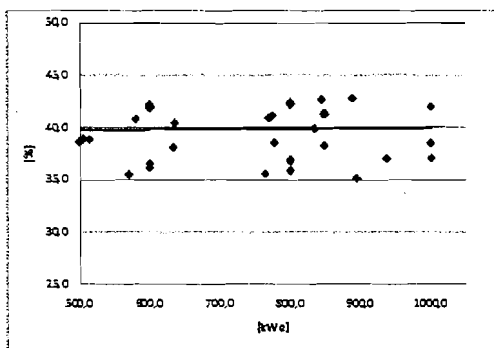
a) prirodni gas



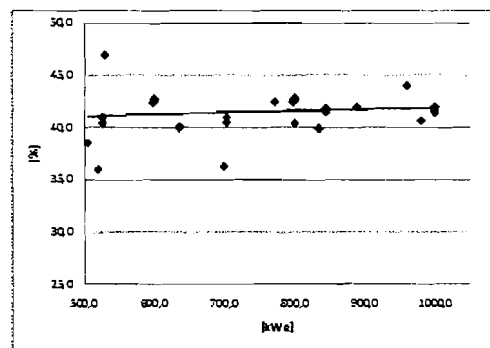
b) biogas

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.

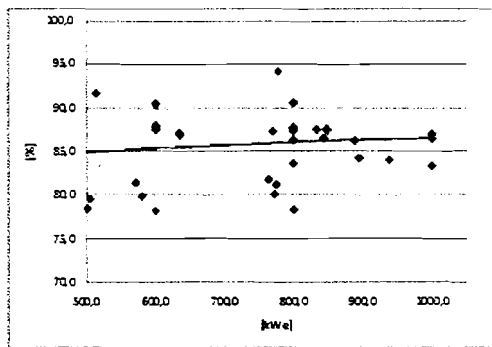


a) prirodni gas

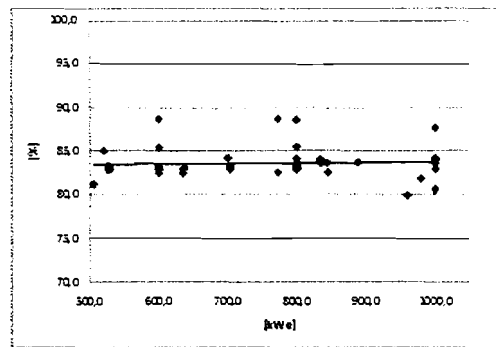


b) biogas

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



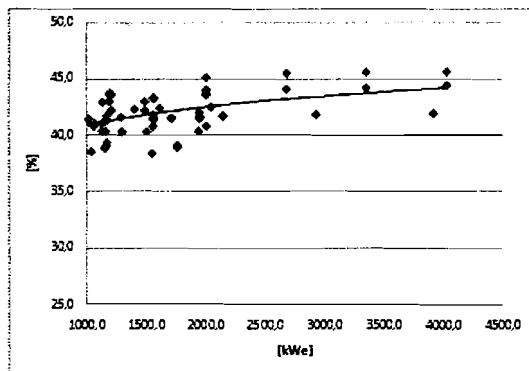
a) prirodni gas



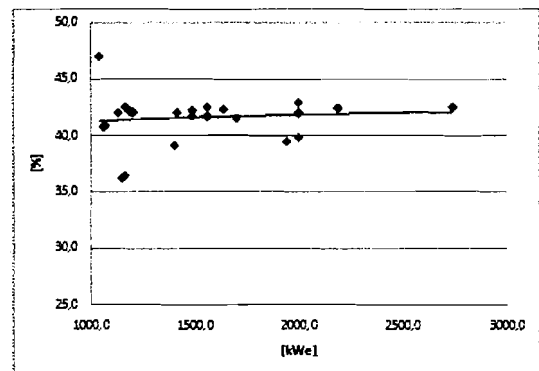
b) biogas

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.

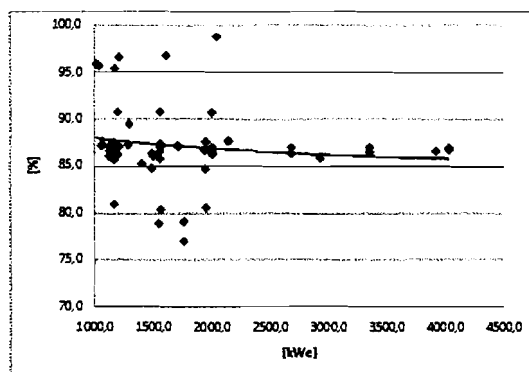


a) prirodni gas

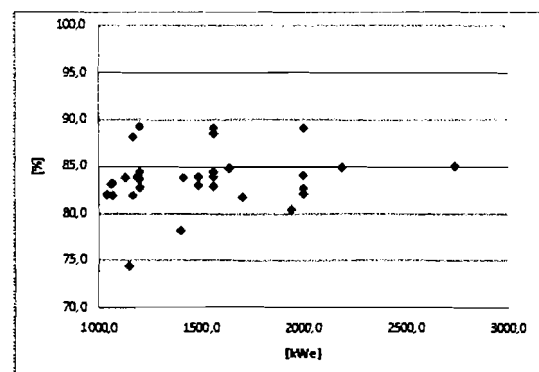


b) biogas

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.

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

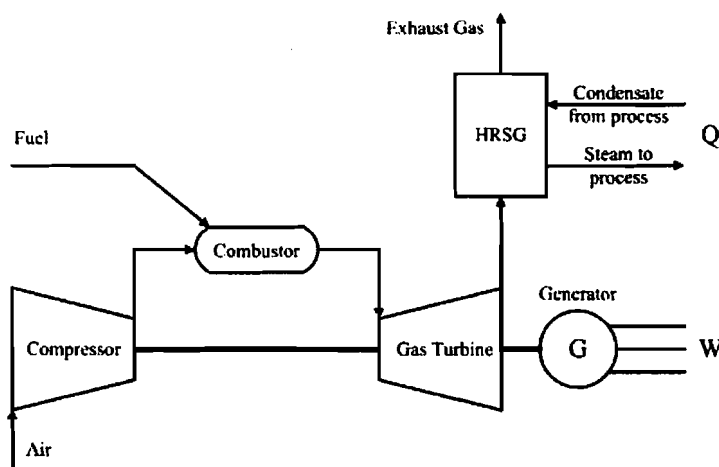
Tačan iznos ovih troškova može se dobiti, jedino iz ponude proizvođača ili dobavljača. U radu [1] su prikazani iznosi ovih troškova za nekoliko modela i poređenjem sa troškovima koji se dobijaju upotrebom izraza (1) može se uočiti da su odstupanja od 3 do 8%.

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].



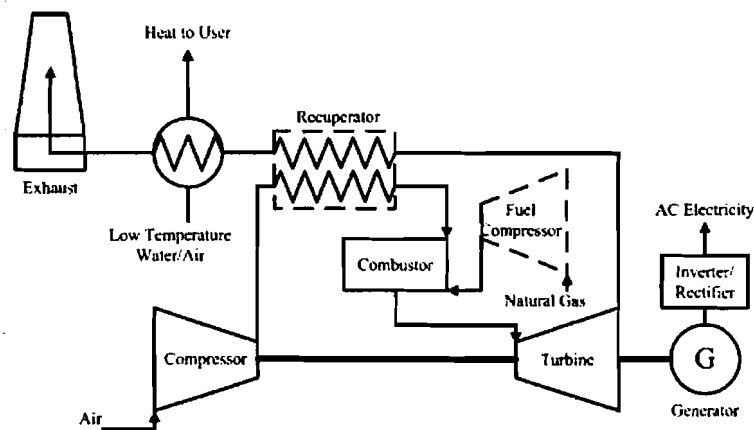
Slika 11. Šema kogeneracionog postrojenja sa gasnom turbinom

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].



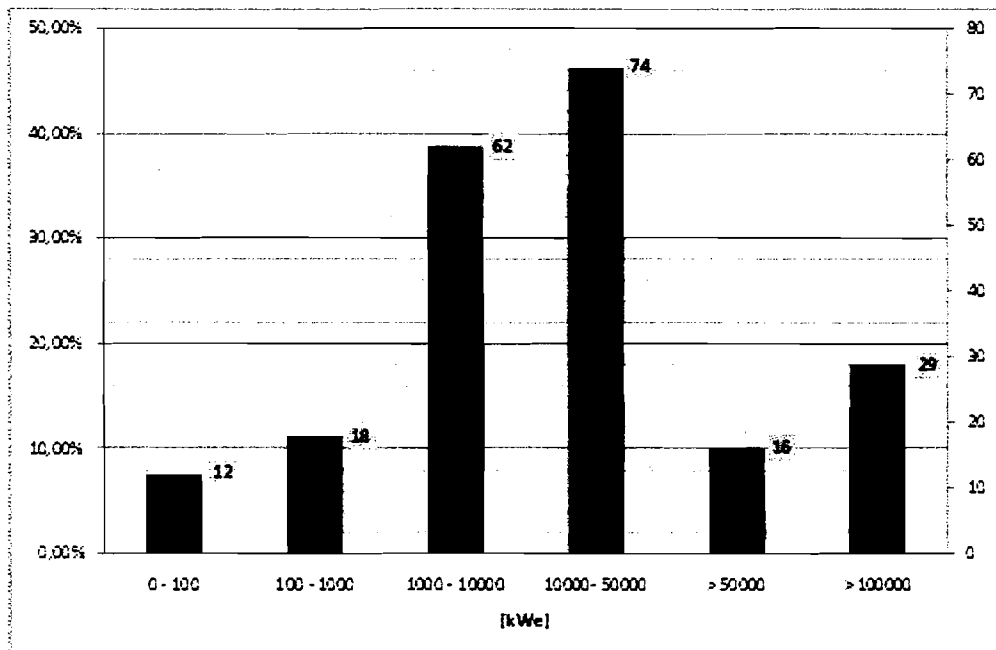
Slika 12. Šema kogeneracionog postrojenja sa mikro-turbinom

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

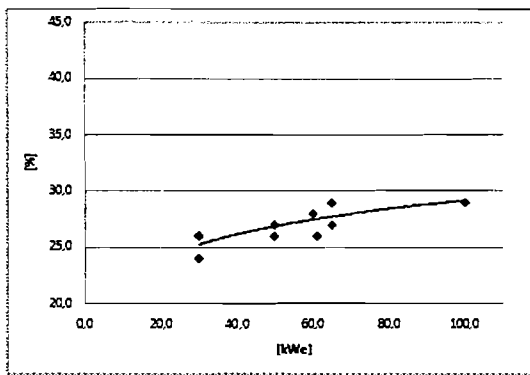
Raspon snaga obrađenih modela kreće se od „mikro“ jedinica izlazne snage 28 kWe pa do jedinica snage 375 MWe. Gasne turbine su po svojim karakteristikama pogodne za upotrebu u velikim postrojenjima, pa se najveći broj modela dostupnih na tržištu nalazi u opsegu od 10 do 100 MWe. Sa slike 13, vidi se 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].



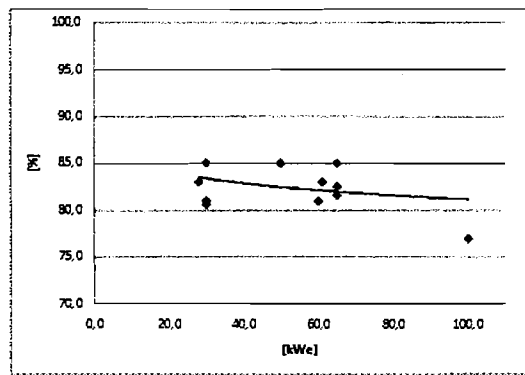
Slika 13. Broj dostupnih gasnih turbina

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.

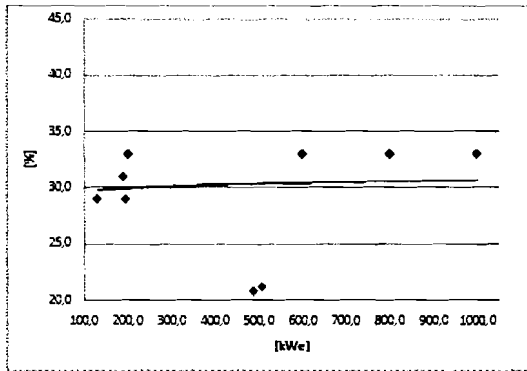


Slika 14. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa gasnom turbinom (do 100 kW)

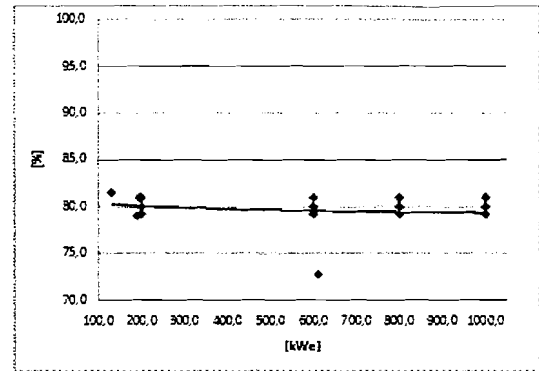


Slika 15. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa gasnom turbinom (do 100 kW)

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.

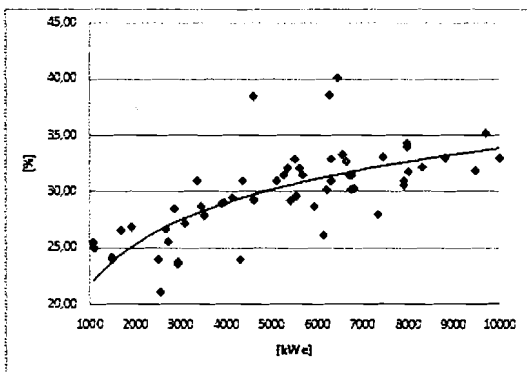


Slika 16. Efikasnost proizvodnje električne energije u kogeneracionim jedinicama sa gasnom turbinom (101 kWe – 1000 kWe)

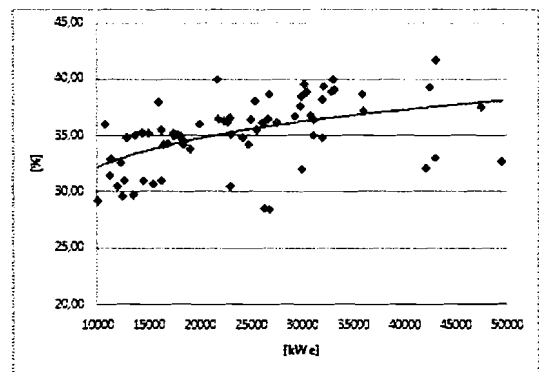


Slika 17. Ukupna efikasnost kogeneracionih jedinica sa gasnom turbinom (101 kWe – 1000 kWe)

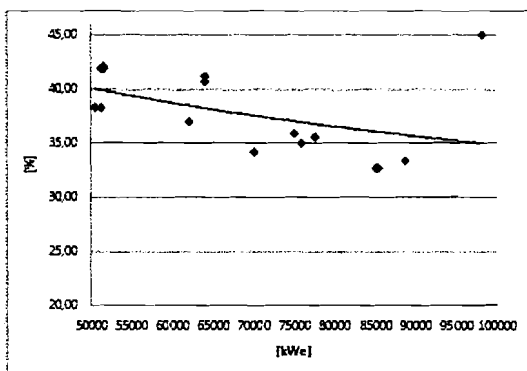
Gasne turbine snage preko 1 MWe na tržištu se nalaze kao zasebne jedinice i od strane proizvođača se dobijaju podaci vezani za mogućnost generisanja električne energije, ali i podaci neophodni za sprovođenje termodinamičkog ciklusa kako bi se odredili parametri koji se odnose na iskorišćenje toplote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



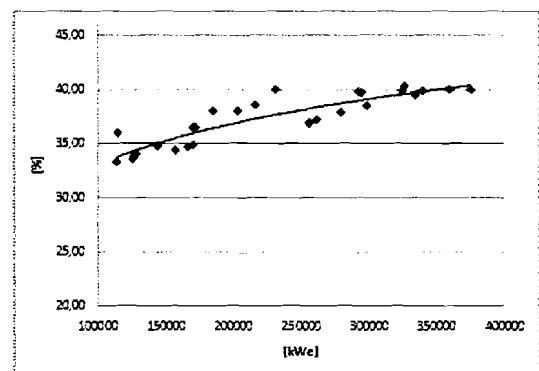
Slika 18. Efikasnost proizvodnje električne energije u jedinicama sa gasnom turbinom (1 MWe - 10 MWe)



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 potecijalnih 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 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