

UDK: 621.36:621.311

*Originalan naučni rad  
Original scientific paper*

## **PRILAZ OPTIMIZACIJI ALGORITMA UPRAVLJANJA SISTEMOM KOGENERACIJE NA OSNOVI OIE**

**Marija Todorović, Olivera Ećim, Ivan Zlatanović**

*Poljoprivredni fakultet - Beograd*

**Sadržaj:** KPTS - Kombinovanom proizvodnjom toplote i snage - kogeneracijom ili trigeneracijom (kada je potrebno i hlađenje pored grejanja) se efektivno koristi električna i toplotna energija generatora proizvedena iz određenog energetskog izvora. Tako, uz prednost doprinosa povećanju energetske efikasnosti korišćenja primarne energije izvora i time smanjenja ekoloških problema, KPTS je jednovremeno efektivno sredstvo za smanjenje vršnih opterećenja kada se koristi kao distribuirani system proizvodnje električne energije. U radu se analizira i dinamičkim simulacijama ispituje ključni faktor optimalnog projektovanja i kontrole KPTS, a to je određivanje dinamike potrebe električne i toplotne snage potrošača, odnosno potrošnje. Generalno odnos potreba električne i potreba toplotne snage (za hlađenje se koristi takođe toplota absorpcionim sistemom) je tokom godine promenljiv. Opterećenje sa strane potrošnje i dinamika osobina sistema određeni putem numeričkih simulacija i odgovarajućeg algoritma su dobra osnova za projektovanje i funkcionisanje inteligentnog EMS - sistema za upravljanje energijom. Pouzdanost inteligencije EMS-a je ključna da se dostignu očekivane prednosti optimalne kontrole.

**Ključne reči:** *kombinovana proizvodnja toplote i snage, trigeneracija, simulacija dinamičkih osobina, upravljanje energijom, e-automatizacija*

### **1. UVOD – EKOENERGOTEHNOLOGIJE I MINIJATURIZACIJA ZA DECENTRALIZOVANU ENERGETIKU I ODRŽIV RAZVOJ**

Ekoenergotehnologije su prevashodno tehnologije obnovljivih izvora energije - OIE (sunce, biomasa, geotermalna energija, hidro i energija vetra) jer se njima proizvode ili veoma mali ili nikakvi štetni efekti po okolinu, a zavisnost od deficitarnih izvora energije se smanjuje. Tehnologije OIE mogu da doprinesu uspostavljanju održivog razvoja, međutim efektivan razvoj i širenje tehnologija OIE u Srbiji i Crnoj Gori kao i u nizu zemalja u svetu se još uvek ne odvija potrebnom brzinom (1/ - /3/). U isto vreme,

razvoj i komercijalizacija samih tehnologija su danas dostigli takav nivo da su širom sveta sve brojnije ne samo demonstracije uspešnog rada sistema korišćenja OIE, već i razmere širenja komercijalnog korišćenja postaju takvog nivoa, da sistemi OIE počinju, sve većim instalisanim snagama i proizvedenom energijom, da ulaze u veliku energetiku niza zemalja. Četiri osnovna domaća obnovljiva energetska izvora, najveće raspoloživosti (sunčeva energija, biomasa, geotermalna i energija vetra, i hidroenergija) prema /1/, pored neposrednog pretvaranja u pojedine korisne finalne oblike energije, mogu i treba da budu ključni izvori energije za razvoj i širenje primene decentralizovanih sistema kogeneracije toplotne i električne energije.

Pritom, sistemi kogeneracije su u velikom zamahu širenja i u okviru minijaturizacije energetske sistema i razvoja primene decentralizovanih, distribuiranih sistema energetike kako u razvijenim zemljama tako i u ruralnim sredinama manje razvijenih zemalja (/1/,/2/,/3/,/5/). Decentralizovani sistemi uz kontrolu i upravljanje sa strane potrošača ne samo da omogućuju veću integralnu energetske efikasnost sistema već i donose znatno smanjenje gubitaka posebno električne energije u mreži prenosa snage. Značaj decentralizovane proizvodnje električne energije postaje svakim danom u svetu sve veći dodatno iz razloga bezbednosti i autonomnosti snabdevanja energijom, zbog sve češćih akcija terorizma i agresija raznih vrsta, i to postaje sve važnija činjenica koju treba imati u vidu pri strateškom planiranju razvoja energetike.

## 2. KORIŠĆENJE BIOMASE ZA KOGENERACIJU

Posebno treba istaći potencijal biomase za kogeneraciju jer to stavlja poljoprivredu i šumarstvo u središte pažnje ovog novog razvoja, kao resursa ne samo obnovljivih materijala i izvora toplotne energije već i izvora električne energije (/1/,/2/,/3/). Tako, poljoprivreda i biomasa postaju svakim danom sve važniji ne samo za strategiju razvoja ruralnih područja, već razvoj proizvodnje biomase postaje od sve izuzetnijeg ekonomsko - društveno - tehnološkog i bezbedonosnog značaja u prilazu uspostavljanju uslova za održiv – trajan razvoj. Prema tome korišćenje biomase je energetske potencijal strateškog značaja, kako sa stanovišta zadovoljavanja rastućih potreba energije, tako i sa stanovišta zaštite okoline, zbog zatvorenog ciklusa proizvodnje i potrošnje ugljendioksida u slučaju biomase. Širenje primene kosagorevanja u svetu i u EU je rezultat porasta cena fosilnih goriva, ali i sve više u poslednje vreme i uvođenja taksi na korišćenje fosilnih goriva zbog posledičnog zagađenja okoline. Evropska zajednica u ovoj oblasti ne samo da planira već i se i obavezuje, da kao deo svojih obaveza prema Kioto Programu, do 2010. godine udeo biomase u proizvodnji finalne energije dostigne u proseku 12%, dok mnoge zemlje EU već danas imaju oko 20% ukupne proizvodnje energije proizvedene iz biomase (Austrija, Švedska, Finska), i to delom ostvarene kogeneracijom KPTS putem sagorevanja biomase, a delom kosagorevanjem biomase i uglja. U skladu sa prethodno istaknutim, nesumnjivo je potrebno napraviti detaljnu, sveobuhvatnu - sirovinsku, tehničko tehnološku i energetske ekonomsku analizu korišćenja biomase, postojećim komercijalnim tehnologijama, za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije i to u novim uslovima slobodnog tržišta energije.

Pored toga je potrebno sprovesti ispitivanje mogućnosti kosagorevanja lignita i biomase u proizvodnji električne i toplotne energije na nekim od postojećih objekata,

odnosno sprovesti za iste tehnoekonomsku karakterizaciju. Odgovarajućom studijskom analizom bi trebalo obuhvatiti sledeće: odnos osobina ugalj i biomasa; tržište električne i toplotne snage u Srbiji i njenom tržišno merodavnom okruženju; tehničko tehnološka i energetska ekonomska karakterizacija i upoređenje različitih tehnologija; raspodela troškova proizvodnje kogeneracije električne i toplotne snage; izbor optimalnih tehnologija za određene namene i kapacitete; troškovi kogeneracije i upoređenje sa ostalim tržišno raspoloživim tehnologijama; ekološka taksa i kogeneracija; takse u proizvodnje električne i toplotne snage; predlozi za uvođenje i/ili promenu strukture taksi.

Pritom, kosagorevanje biomase i uglja - za Srbiju može da bude od posebnog značaja jer je kosagorevanje lignita i biomase jedan od savremenih načina smanjivanja emisije gasova i čestica iz srednjih i velikih postrojenja na ugalj, delimičnom zamenom osnovnog goriva - uglja, određenom količinom biomase. Da bi se realizovalo kosagorevanje, neophodno je sprovesti u izvesnoj meri rekonstrukciju postojećih kotlova, i to uglavnom na sistemima za dopremu, pripremu, doziranje i samo "kosagorevanje".

### 3. REŽIMI RADA KOGENERACIJE

Tri osnovna režima rada kogeneracije, odnosno kombinovane proizvodnje električne energije i toplote se definišu na sledeći način /6/:

-Toplotna proizvodnja - Prioritet. Otpadna toplota se koristi u potpunosti. Električna snaga treba automatski da se podešava kontrolom toplotnog izlaza koristeći vrednosti izmerenih temperatura vode na ulazu i izlazu ili kontrolni signal izmerene spoljne temperature. Režim Prioriteta toplotne proizvodnje se naziva kod sistema kogeneracije *Maksimum toplotnog povraćaja*.

-Električna proizvodnja. Prioritet uz praćenje toplotne proizvodnje. Električna snaga se kontroliše ili kao fiksna postavljena vrednost ili upotrebom jedne od nekoliko mogućih šema električnog opterećenja. Diverter se automatski podešava pokušavajući da održava izmereni ulaz i izlaz vode, ili kontrolni signal izmerene spoljne temperature. Maksimalan iznos toplote zavisi od električnog izlaza. Ovo je stoga *režim praćenja električnog opterećenja*, koji dozvoljava promenljivi električni prioritet, i *praćenje opterećenja temperaturom vode* kada je električni prioritet fiksiran.

-Bajpas. Diverter zatvoren u poziciji punog bajpasa. Minimalna količina toplote se i dalje koristi ali ne zavisi mnogo od nivoa električne snage. Naziv režima je *bez toplotne proizvodnje*.

Za izbor optimalnog režima rada tokom korišćenja sistema kogeneracije se razvijaju posebni programski paketi - softver kogeneratora proizvođača. Generalno proizvođači kogeneratora obezbeđuju za kogegeneratore odnosno sistem sprege određenog broja kogeneratora razvijene programske podrške upravljanja - specifičan softver, koji optimizira funkcionisanje sistema s obzirom na: upravljanje prelaznim režimima promenljivog opterećenja, odnosno promene opterećenja; upravljanje s obzirom na kontrolu funkcionisanja tehničkih komponenata sistema; i upravljanje kod sistema sprege više kogeneratora.

### 4. METOD ENERGETSKE OPTIMIZACIJE – MODELI IZBORA OPTIMALNIH SCENARIJA I REŽIMA RADA

Prvi korak prilaza optimizaciji algoritma upravljanja sistemom kogeneracije na osnovi OIE je priprema podloga, odnosno optimizacija energetske efikasnosti objekta koji se projektuje uz minimizaciju potreba za energijom, opterećenja - instalisanih snaga svih vidova finalne potrošnje energije objekta i odgovarajućih potreba energije na godišnjem nivou. Ovako energetski optimiziran objekat je spreman za glavno projektovanje sistema kogeneracije energetski efikasnih termotehničkih, termo- i elektroenergetskih instalacija i sistema. Projektni program *Elaborata energetske efikasnosti glavnog projekta*, utvrđuje dalje ciljeve i zadatke koji se odnose na sistem termotehnike i sistem za snabdevanje energijom, za koje je još tokom idejne energetske optimizacije, uporedo sa razvojem idejnog arhitektonsko - građevinskog projekta i ostalih idejnih projekata, uspostavljena baza podataka merodavnih tehničkih karakteristika i parametara termotehnike i energetike (izvori i sistemi za snabdevanje toplotnom i električnom energijom). Potom na nivou glavnog projekta, treba utvrditi izmene merodavnih veličina i nove podloge za: termotehničke proračune opterećenja; primenu mera energetske efikasnosti; optimizaciju kapaciteta pri dimenzionisanju potrebnih snaga za: procesnu toplotu, grejanje, hlađenje, ventilaciju, klimatizaciju i dr., kao i energetike (izvor i sistem za snabdevanje toplotnom i električnom energijom). Potrebno je ispitati dinamičkim simulacijama odabrane modele sistema i sprovesti optimizaciju na osnovu analize mera energetske efikasnosti sistema i podsistema termotehnike i snabdevanja energijom i utvrditi podloge za dimenzionisanje, odnosno glavno projektovanje, kao na primer (/3/, /4/, /6/):

Scenario II-1: Toplotni izvor je toplota iz sistema kogeneracije (može da radi autonomno i u elektrodistribucionoj mreži) dimenzionisanog prema sopstvenim maksimalnim potrebama električne energije; absorbcioni hladnjak koristi toplotu kogeneracije i po potrebi dodatno gas kao izvor toplote; sve potrebe električne energije se obezbeđuju iz sistema kogeneracije, a povremeni višak električne energije se prodaje /6/.

Scenario II-2: Toplotni izvor je toplota iz sistema kogeneracije (može da radi autonomno i u elektrodistribucionoj mreži) dimenzionisanog prema sopstvenim maksimalnim potrebama električne energije; absorbcioni hladnjak koristi toplotu kogeneracije i po potrebi dodatno gas kao izvor toplote; sve potrebe električne energije se obezbeđuju iz sistema kogeneracije, a povremeni višak električne energije i/ili višak toplotne energije se prodaje /6/.

Scenario II-3: Pored gornja dva moguć je niz raznih odnosa kogeneracije i proizvodnje električne i toplotne energije, zavisno od trenutnih kriterija ekonomičnosti i cena goriva i energije na tržištu, odnosno cene sopstvene proizvodnje i prodajne cene jednog i drugog oblika energije. Moguće da će u nekom periodu biti povoljnije pokrivanje samo baznog opterećenja (na osnovi električnog ili toplotnog) sopstvenom kogeneracijom toplote i električne energije a ostatak pokrivati potrošnjom gasa ili potrošnjom struje iz mreže, kao i obrnuto /6/. Na osnovu gore datog, definišu se elementi ciljeva i odgovarajućih zadataka *Elaborata energetske efikasnosti glavnog projekta* koje treba ostvariti u okviru integralnog projektovanja na nivou glavnog projekta.

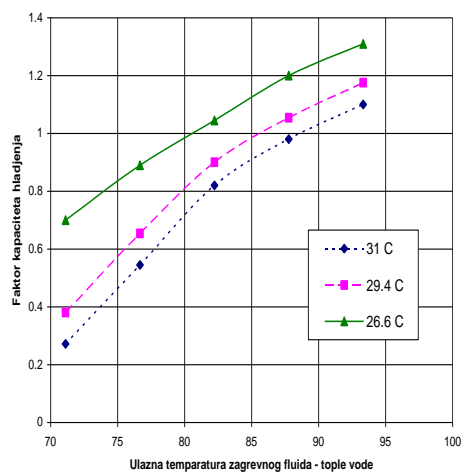
## 5. MERODAVNE OSOBINE KOMPONENATA I PODSISTEMA ZA INTEGRALNU ENERGETSKU EFIKASNOST OBJEKTA

Primer - merodavne dinamičke karakteristike absorpcionog sistema hlađenja vode.

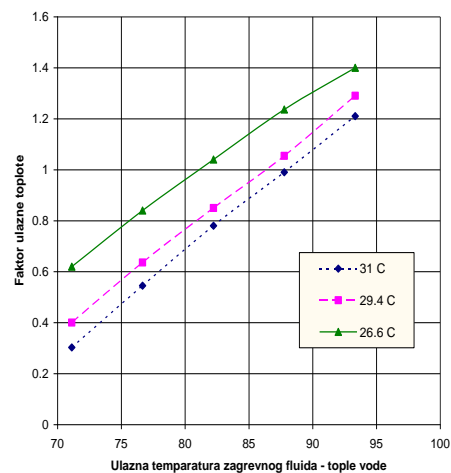
Za proizvodnju hladne vode sistema temperatura 7/12°C za potrebe klimatizacije i hlađenja objekta predviđena je ugradnja apsorpcionog sistema hlađenja, koji se sastoji od 6 modularnih, hermetičkih jedinica sa litijum bromidom kao absorbentom i vodom kao rashladnim fluidom. Izbor većeg broja jedinica manje snage je doprinosi većoj elastičnosti sistema, manjem radnom broju časova sa delimičnim opterećenjima, odnosno povećanju broja časova rada sistema sa većim procentom opterećenja a time i uz veću energetsku efikasnost. Glavne komponente ovih jediničnih hladnjaka su generator, grejan vodom temperature 90-95°C, isparivač za rashladnu vodu klimatizacionih sistema i vodom hlađenog absorbera/kondenzatora. Za hlađenje vode absorbera su predviđene rashladne kule. Potrebna toplota za pogon agregata se dobija kao otpadna od kogeneratora električne energije čija se ugradnja predviđa u drugoj fazi izgradnje.

Do tada topla voda za pogon agregata će se dobijati kotlovima sa pogonom na lako ulje. Zavisnost promene karakteristika absorpcionog hladnjaka od temperatura zagrevne vode i vode za hlađenje. Zavisnost promene karakteristika absorpcionog hladnjaka od temperatura zagrevne vode i vode za hlađenje je data na dijagramima na slikama 1. - 3 /6/.

Ispitivanje dinamike termičkog ponašanja objekta. Kao polazna osnova za određivanje algoritma izbora optimalnih scenarija i logike rada centralnog sistema kontrole i upravljanja radom sistema termotehnike i energetike objekta je definisan merodavni 3-D model strukture objekta i putem simulacija određena dinamika ponašanja toplotnih opterećenja objekta.



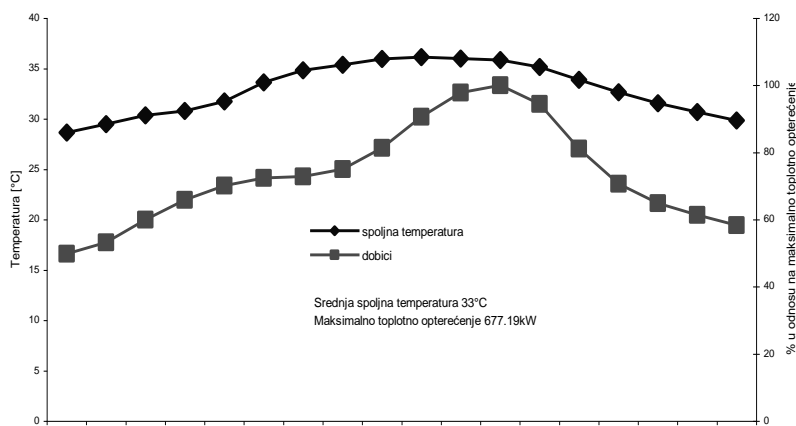
Slika 1. Zavisnost promene kapaciteta hlađenja od ulazne temperature zagrevnog fluida



Slika 2. Zavisnost promene faktora ulazne toplote od ulazne temperature zagrevnog fluida

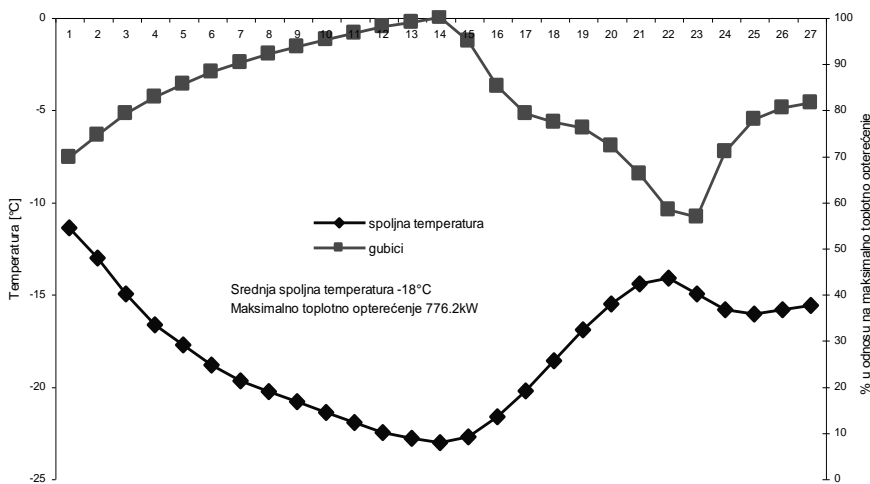
Za datu strukturu omotača i konstrukcije objekta je definisan model i sprovedene numeričke simulacije. Dinamičke simulacije ovako definisanog modela objekta su sprovedene za 8760 sati Tipične meteorološke godine Beograda - TMG. Dobijeni

rezultati predstavljaju vrednu bazu podataka za kasniju upotrebu pri programiranju rada budućeg CSNU hardverskog sistema. Treba pomenuti da se po gradnji objekta, putem kratkotrajnog monitoringa može i treba sprovesti evaluacija rezultata simulacija i posle upoređenja sprovesti fina doterivanja.



Slika 3. Profili opterećenja grejanja – srednja temperatura vazduha 33°C

Za niz karakterističnih perioda TMG Beograda, sa relevantnim srednjim temperaturama suvog termometra spoljašnjeg vazduha, su na slikama od 3. i 4. dati profili odgovarajućih temperatura i profili toplotnih opterećenja objekta – toplotni gubici i toplotni dobici, odnosno toplotno opterećenje grejanja i toplotno opterećenje hlađenja objekta /6/.



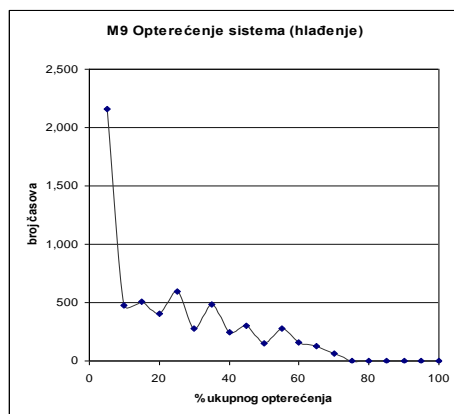
Slika 4. Profili opterećenja grejanja – srednja temperatura vazduha -18°C

U cilju utvrđivanja merodavnih podloga - baze podataka i modela, za analizu kontrolisanih merenih veličina, parametara rada sistema u realnom vremenu, i na osnovu odgovarajućih analiza donošenje odluka upravljanja radom sistema, definisani su i

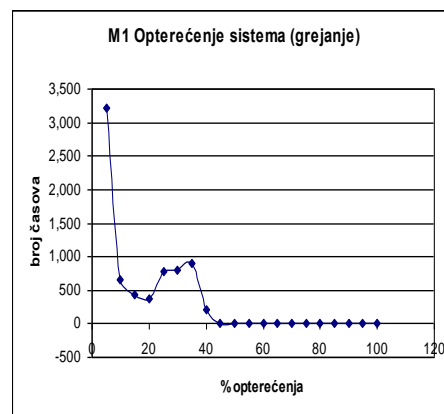
putem dinamičkih simulacija ispitani modeli podsistema energetike i sistema termotehnike za kontrolu i održavanje tehnologijom određenih odnosno zahtevanih parametara stanja vlažnog vazduha unutrašnje sredine i snabdevanja energijom objekta: energanu/kogeneratori električne i toplotne energije kao dogradnju na postojeću kotlarnicu, rashladno postrojenje, toplotnu podstanicu - klima centralu, energanu/trafo stanicu sa glavnim niskonaponskim razvodnim postrojenjem i dizel električni agregat. Toplotni izvor je gas, kako za grejanje tako i za absorbciono hlađenje, a lako loživo ulje ostaje kao rezervni scenario.

## 6. ZAKLJUČAK - REZULTATI DINAMIČKIH SIMULACIJA MODELA PRIMENE MERA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Za uslove Tipične meteorološke godine Beograda, za definisan 3-D model konstrukcije i strukture omotača i celog objekta su određena projektna toplotna opterećenja objekta i kapaciteti sistema KGH a zatim su sprovedena ispitivanja dinamičkim simulacijama sledećih veličina: potrebnih količina vazduha modela, električnih vršnih snaga modela, mesečnih potrošnji energije modela, potrošnji energije opreme i ukupnih godišnjih potrošnji energije /6/.

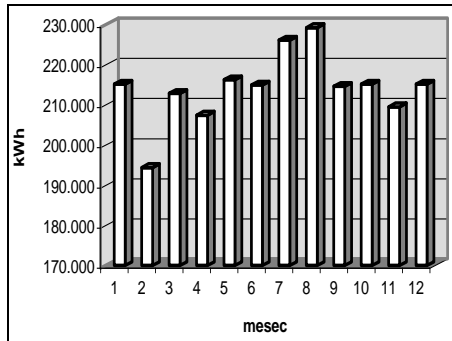


Slika 5. Časovna raspodela delimičnih opterećenja sistema hlađenja

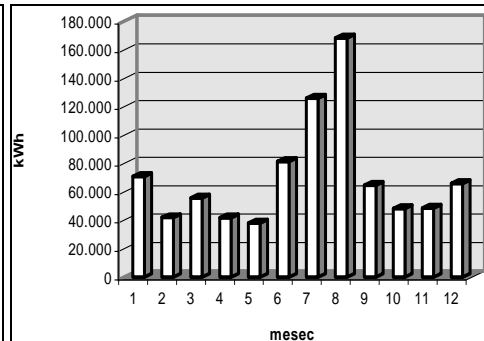


Slika 6. Časovna raspodela delimičnih opterećenja sistema grejanja

Rezultati energetske bilansa sprovedenih ispitivanja dinamičkim simulacijama predstavljaju osnovu za ekonomsku analizu i izbor u datom vremenu optimalnog scenarija i režima rada s obzirom na visinu cene goriva - gasa i električne energije, kao i na režim naplate potrošnje, odnosno predstavljaju merodavnu osnovu za izbor optimalnih scenarija i režima rada (modela rada termotehničkih instalacija i energane).



Slika 7. Potrebna energija gasa za kogeneraciju



Slika 8. Potrebna energija gasa za absorpcioni sistem hlađenja

Isti podaci su osnova logike programiranja rada sistema kontrole energetske efikasnosti, odnosno energetske efikasnog upravljanja radom sistema energetike (snabdevanja energijom objekta, tehničkih i KGH sistema) /6/. Tako određena logika, dalje čini osnovu izbora načina predprogramiranja raspoloživog softvera proizvođača kogeneratora, i takođe osnovu projekta izvođenja centralnog sistema za nadzor i upravljanje (CSNU) objekta. Na dijagramima na slikama 5. do 8. su grafički prikazani rezultati energetske simulacije i podloge za određivanje sumarnih tehnoeconomičkih parametara sistema.

## LITERATURA

- [1] Todorović, M.S.: Uništavanje resursa energije i života u cilju zaustavljanja rasta populacije i potrošnje zemalja u razvoju i nerazvijenih, *KGH*, Vol. 28, pp. 39-50, SMEITS, 1999.
- [2] Todorovic M.: Renex Buildings - Renewable Energies Network of Excellence for Sustainable Buildings Integrated Projects, EoI, EU-FP6, [http://eoi.cordis.lu/docs/into\\_25800.doc](http://eoi.cordis.lu/docs/into_25800.doc).
- [3] Todorovic M.S.: RES Integrated Building's Performance Simulation and Energy Efficiency Optimization for Sustainable Local and Regional Development, ASHRAE Technical Committee Seminar - RES Integrated Sustainable Buildings, Kansas City, 2003.
- [4] Todorovic M.S. and others: USCE Tower - Building Envelope and Construction Energy Optimization Study, EnPlus/DERES, Euro Construction, Belgrade, 2003.
- [5] Ećim O. and Todorovic M.S.: Investigation of PV System Implementation for Residential Building Lighting, Alternative Energy Sources Conference, CANU, Budva, 2003.
- [6] Todorovic M. and others: Cogeneration and Absorption Cooling Plant for the Chapel and Funeralis on Bezanijska kosa - Final Design, ABA Engineering and Agency for Building Land and Construction of Belgrade, VEA/DERES, 2004.

## APPROACHING OPTIMIZATION OF THE CONTROL ALGORITHM OF RES BASED COGENERATION SYSTEM



**Marija Todorović, Olivera Ećim, Ivan Zlatanović**

*Faculty of Agriculture - Belgrade*

**Abstract:** CHP – Combined Heat and Power, Cogeneration or Trigenation (when cooling is needed in addition to heating) of heat and power systems normally make effective use of both electric power and heat energy from a generator, by a method that obtains two available forms of energy from a single fuel source. Consequently, in addition to being a promising counter measure to environmental problems by virtue of its available use of energy, CHP is also effective in dealing with the problem of peak power loads as it can be used as a distributed source of electric power. In this paper, the key issue in the CHP Microturbine system design and control optimization has been analyzed and investigated. It is the issue of the determination of the dynamics of system and the machine's loads and capacity, having the excellent economic and environmental characteristics on the electric power and the heat demand. In general, the ratio of electric power demand to heat demand in general buildings varies daily over the course of the year. Demand Loads and System Performance Dynamics predicted through numerical Simulations and related Algorithm are sound basis for designing and operation of the intelligent EMS - Energy Management System. EMS intelligence reliability is crucial to achieve the expected optimal control performance and related benefits.

**Key words:** *combined heat and power, trigeneration, dynamic performance simulation, energy management, e-automation.*

