

# OPTIMIZACIJA SUNČANIH KGH SISTEMA U USLOVIMA MEDITERANA

*Simić Lj., Šurlan N., Todorović M.\**

**Ključne reči:** *matematičko modeliranje sistema KGH, numeričke simulacije, dinamičko ponašanje, osetljivost modela, optimizacija*

## **SAŽETAK:**

U radu su dati rezultati razvoja metoda projektovanja i optimizacije sunčanih KGH sistema putem modeliranja. Sprovedenjem simulacija može se ispitivati uticaj strukture sistema, kapaciteta komponenata, načina kontrole i upravljanja radom sistema na efikasnost sistema i ukupno ostvaren iznos korisno odvedene energije. Zatim, osobine sistema, odnosno integralne efekte sistema u dugotrajnom radu koji su od ključnog interesa za investitore i/ili buduće korisnike sistema. Pokazano je da su numeričke simulacije i razvoj modela efikasan put ka optimizaciji sistema. Osetljivost modela se ispituje praćenjem promena efekata rada sistema za različite vrednosti parametara i za različite funkcije cilja optimizacije i ograničenja - definisane po sopstvenom izboru i kriterijumima.

## **1. UVOD**

Osnovni zadatak pri projektovanju sistema za toplotno pretvaranje i korišćenje energije sunčevog zračenja je usklađivanje, odnosno optimizacija sledećih veličina i odnosa: površine polja PSE-a, kapaciteta skladišnika energije, izbora komponenata i konfiguracije podsistema i sistema, načina i logike rada regulacionih organa i sistema, izbora dopunskog alternativnog izvora energije (ako je potreban) i načina njegovog uključenja u sistem, tako da se u dugotrajnom radu sistema ostvari

---

\* Prof. dr Marija Todorović, dipl.maš.ing,  
Ljiljana Simić, dipl.maš.ing,  
Nebojša Šurlan, dipl.maš.ing.

Laboratorija za termodinamiku i termotehniku, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Nemanjina 6, 11080 Zemun.

što je moguće veća supstitucija deficitarnih i prljavih izvora energije pri određenoj investicionoj ceni sistema. Pritom ne treba gubiti iz vida da je od presudnog značaja za kvalitet ostvarenja datog zadatka ne samo ekspertska inženjersko znanje odgovarajućih tehnologija i tehnike sistema već i lokalnih meteoroloških uslova, merodavnih perioda i odgovarajućih vrednosti metereoloških podataka referentne godine za projektovanje i rad sistema pri precizno i pouzdano predviđenim opterećenjima sistema ([1],[2],[3],[6]).

Stoga praksa projektovanja sunčanih KGH sistema nezaobilazno prolazi fazu modeliranja - sprovođenja brojnih simulacija radi ispitivanja uticaja promene strukture sistema, kapaciteta i gabarita komponenata, načina kontrole i upravljanja radom sistema i dr. na efikasnost sistema i ukupno ostvaren iznos korisno pretvorene i upotrebljene energije sunčevog zračenja datim sistemom - osobine sistema, odnosno integralne efekte sistema u dugotrajnom radu koje su od ključnog interesa za investitore i/ili buduće korisnike sistema [3].

## 2. METODI PREDVIĐANJA OSOBINA SISTEMA U RADU

Tekuća istraživanja i razvoj metoda predviđanja osobina sistema toplotnog pretvaranja energije sunčevog zračenja prate sledeća četiri pravca ([2],[6]):

- metode detaljnih dinamičkih simulacija sa vremenskim korakom od nekoliko sekundi ili minuta do jednog časa;
- uprošćene simulacije sa povećanim vremenskim korakom predstavljaju drugu grupu metoda;
- treću grupu metoda čine empirijski metodi korelacija od kojih je f-chart (f-karta) najpoznatiji metod;
- četvrtoj grupi metoda pripadaju analitički prilazi, uz rešavanje diferencijalnih jednačina u zatvorenom matematičkom obliku.

Najpoznatiji i verovatno najviše primenjivani program simulacije sistema toplotnog pretvaranja i korišćenja sunčeve energije je TRNSYS (Transient System Symulation), koji je razvijen na Univerzitetu Wiskonsina u Medissonu [5]. Modeliranje omogućuje izračunavanje promene merodavnih veličina - zavisno promenljivih karakteristika rada sistema, u zavisnosti od promene uticajnih veličina - nezavisnih, nezavisno promenljivih veličina (intenzitet energetske izvora - sunčevo zračenje, toplotno opterećenje), a za date konstrukcione karakteristike i parametre sistema (pritisak, temperatura, protoci fluida, režimi kontrole i upravljanja i dr.). Za simulaciju sistema je potrebno poznavati karakteristične osobine svih komponenata sistema - njihove matematičke formulacije, kao i karakteristične jednačine termodinamičkih osobina radnih fluida, energetske izvora i toplotnog opterećenja ([5],[6]). Jednačine karakterističnih termodinamičkih osobina komponenata i termodinamičke osobine, zajedno sa jednačinama bilansa materije i energije, formiraju sistem jednačina koje je potrebno rešiti da bi se mogle sprovesti

simulacije sistema, odnosno ispitivanje sistema simulacijama. Tako se matematičko opisivanje sistema simulacijama svodi na rešavanje datog sistema jednačina, pri čemu je veći deo jednačina nelinearan. Simulacija sistema je, na izvestan način, posmatranje sintetičkog sistema.

Prvi korak u modeliranju, odnosno matematičkoj simulaciji rada sistema je utvrđivanje strukture sistema. Pri struktuiranju sistema postavljaju se granice sistema. Potom se pojedini detalji, procesi i efekti kao delovi sistema izdvajaju u podsisteme radi bližeg i detaljnijeg opisa njihovog međudejstva. Pritom su za njihovo definisanje potrebni detaljni opisi ulaznih i izlaznih veličina, konstrukcija, parametara i načina kontrole, odnosno regulacije. Tako se tipičan sistem toplotnog pretvaranja i primene energije sunčevog zračenja sastoji od sledećih podsistema: podsistem prijema i toplotnog pretvaranja sunčeve energije, podsistem prenosa toplote, podsistem skladištenja toplotne energije i podsistem dodatnog izvora toplotne i dr. energije. Sistem se opisuje kao skup komponenti, međusobno povezanih na određen način radi obavljanja specifičnih funkcija i ostvarenja precizno definisanih zadataka komforne ili industrijske klimatizacije, grejanja, hlađenja, obezbeđenja procesne toplote i dr ([1],[2],[6]).

Ponašanje komponenti sistema zavisi od parametara tj. vrednosti fiksnih karakteristika - osobina komponenti, vrednosti ulaznih veličina koje su najčešće jednake vrednostima izlaznih veličina iz drugih komponenti (koje prethode datoj komponenti u šemi sistema odnosno dijagramu toka informacija), i od vremenski zavisnih funkcija - sila poremećaja [5]. U jednostavnom sistemu korišćenja sunčeve energije sa prijemnicima energije sunčevog zračenja (PSE-ima), skladišnikom toplotne energije i podsistemom potrošnje to su meteorološke veličine - intenzitet sunčevog zračenja, temperatura, brzina vetra i dr. kao i dinamika potreba za toplom vodom.

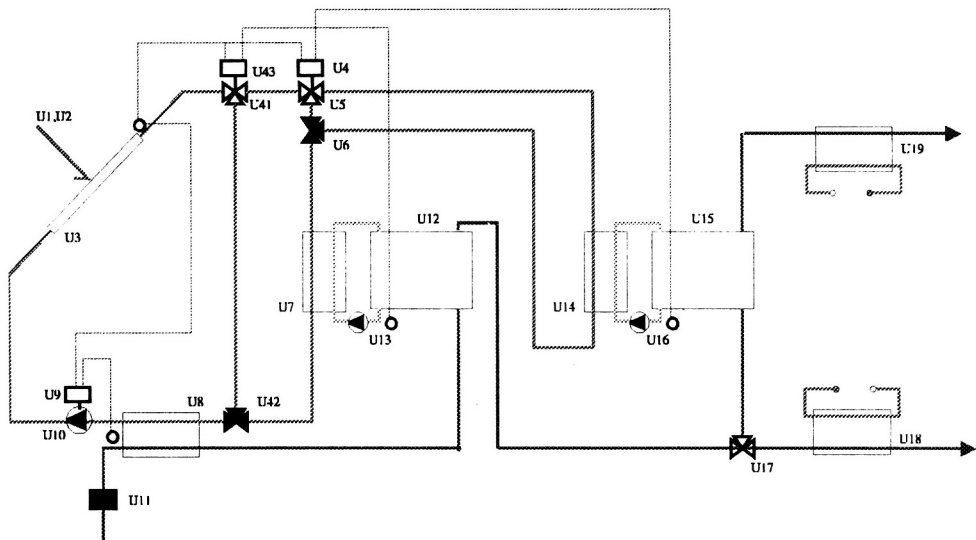
### 3. ISPITIVANJE OSETLJIVOSTI MODELA

Ispitivanje osetljivosti razvijenog modela TRNSYS je izvedeno sprovođenjem brojnih simulacija modela sistema za toplotno pretvaranje i korišćenje energije sunčevog zračenja za različite vrednosti parametara datog sistema u klimatsko - meteorološkim uslovima Beograda. Posmatran je model sistema za zagrevanje sanitarnne potrošne tople vode projektovan za auto-kamp u Beogradskom naselju Košutnjak [4]. Sistem ima dva potrošača tople vode, dnevne potrošnje od po 1000 litara i nivoa temperatura od 40 i 60<sup>o</sup> C. Potrošnja vode nije stalna tokom dana već osciluje, a maksimumi profila potrošnje se dešavaju oko 10 i oko 19 časova.

Model sistema se sastoji od polja prijemnika energije sunčevog zračenja PSE-a, dva skladišna rezervoara tople vode dva različita nivoa temperatura. Kroz primarni krug struji prenosni fluid koji ima dovoljno nisku temperaturu očvršćavanja da se sistem obezbedi od smrzavanja u zimskom periodu u uslovima

Beograda.

U primarnom krugu prenosni fluid pored PSE-a struji kroz razdelnike toka upravljane diferencijalnim termostatima, cevovod prolazi kroz 3 razmenjivača toplote i pumpu, takođe upravljane diferencijalnim termostatom. U sekundarno kolo ulazi voda iz vodovodne mreže i zagreva se prvo u rezervoaru niže temperature a zatim se tako zagrejana, voda delom koristi potrošačem na nižoj temperaturi, a delom se dogreva u rezervoaru više temperature i koristi za zadovoljenje potreba potrošača više temperature.

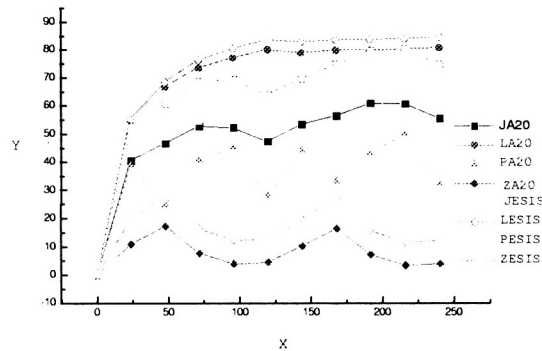


Slika 1. Šematski prikaz sistema: U1 i U9-čitači, U2-procesor SZ, U3-prijemnik SZ, U4 i U43-diferencijalni kontrolori, U5 i U41-trokraki termostatski ventili, U6 i U42-trokraki elektromagnetni ventil, U7, U8 i U14-razmenjivači toplote, U10, U13 i U16-cirkulacione pumpe, U11, U17-dovod hladne vode U12 i U15-skladišnici tople vode, U18 i U19-dogrejači vode.

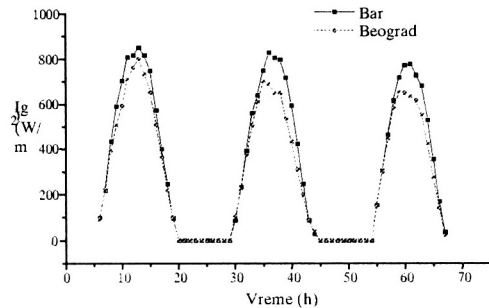
Pumpa u primarnom krugu se uključuje u rad ako je temperatura na izlazu iz PSE-a viša od temperature napojne vode iz mreže za određeno  $\Delta T$ . Razdelnici usmeravaju tok prenosnog fluida ka skladišnicima toplotne energije - skladišnicima tople vode ako je temperatura prenosnog fluida na izlazu iz PSE-a viša od temperature u jednom od njih ili u oba za određenu postavljenu vrednost razlike temperatura  $\Delta T$ . Pritom, u slučaju da je temperatura prenosnog fluida viša od temperature vode u skladišnom rezervoaru više temperature, prenosni fluid se provodi najpre kroz skladišnik višeg nivoa temperature a potom kroz skladišnik niže temperature.

Regulacijom rada sistema upravljaju diferencijalni termostati. Ispitivanjem sistema modeliranja odnosno sprovođenjem simulacija rada sistema za različite vrednosti podešenih razlika temperatura, mogu se odrediti njihove optimalne vrednosti koje, u datim uslovima određene konfiguracije i gabarita komponenata i sistema, maksimiziraju efikasnost korišćenja sunčeve energije sistema. Na slici 2 je dat dijagram dnevnih termičkih efikasnosti sistema datog na slici 1 sa poljem PSE-a od 20 m<sup>2</sup> i poljem PSE-a optimalne veličine od 30 m<sup>2</sup> i to za sve referentne meteorološke periode godine prema [4]. Može se videti da je efekat povećanja efikasnosti posebno izražen u prelaznim periodima godine (proleće i jesen), što je i bio jedan od ciljeva optimizacije.

Naime, potrebe potrošnje STV u kampu su u ovim periodima vrlo slične maksimalnoj letnjoj potrošnji, tako da se ostvarenim značajnim povećanjem termičke efikasnosti sistema može doprineti, takođe, značajnijem povećanju udela sunčeve energije u ukupnom pokrivanju energetske potrebe za grejanje STV i vode bazena. Na slici 3 dat je uporedni prikaz osrednjenih vrednosti sunčevog zračenja za jun, jul i avgust za Beograd i Bar. Može se videti da je intenzitet sunčevog zračenja veći za Bar nego za Beograd (približno za 20 %) a takođe se može videti da su razlike u julu i avgustu znatno veće nego u junu mesecu. Pored zračenja svakako analiza mora da obuhvati i ostale merodavne parametre.



Slika 2. Poređenje dnevnih termičkih efikasnosti sistema sa poljem PSE-a od 20m<sup>2</sup> i poljem PSE-a optimalne veličine.



Slika 3. Srednje vrednosti intenziteta sunčevog zračenja za juni, juli i avgust

Može se videti da je intenzitet sunčevog zračenja veći za Bar nego za Beograd (približno za 20 %) a takođe se može videti da su razlike u julu i avgustu znatno veće nego u junu mesecu. Pored zračenja svakako analiza mora da obuhvati i ostale merodavne parametre.

#### 4. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da je sprovođenje numeričkih simulacija putem razvoja modela i programa dobar i efikasan put ka optimizaciji sistema toplotnog pretvaranja i korišćenja energije sunčevog zračenja. Osetljivost modela na vrednosti svih merodavnih parametara očigledna je i praćenjem promena efekata rada sistema kao rezultata simulacija može se sigurno voditi proces optimizacije ka postizanju željenog cilja, definisanom po sopstvenom izboru i sopstvenim kriterijumima. Najzad, primenom simulacija se mogu veoma pouzdano predvideti ne samo dinamičko ponašanje sistema i termički efekti rada sistema u raznim i promenljivim klimatsko meteorološkim uslovima, već i odgovarajući integralni dugovremenski energetske efekti - efekti sistema u dugotrajnom radu koji su od ključnog interesa za svakog investitora i korisnika.

#### LITERATURA

- [1] M.S.Todorović: "Long Term Performance Prediction of Solar Water Heating Systems", *CNRE SWHS Workshop, Proceedings*, pp. 84-96, Naxos, Greece, 1988.
- [2] M.S.Todorović: "Istraživanje metoda predviđanja osobina sistema toplotnog pretvaranja energije sunčevog zračenja", *Zbornik radova Međunarodne konferencije KGH, SMEITS*, Beograd 1988.
- [3] M.S.Todorović i drugi: "Termičko-energetska analiza korišćenja sunčeve energije za pripremu sanitarne tople vode, grejanje prostorija i zagrevanje otvorenih bazena u objektima na Kopaoniku", *LTT - Energoprojekt*, Beograd 1989.
- [4] N.Šurlan: "Ispitivanje novih tehnologija i korišćenja sunčeve energije u sistemu KGH modeliranjem", *Diplomski rad, Mašinski fakultet*, Beograd 1997.
- [5] TRNSYS 14.0 - A Transient System Simulation Program - Version 13.1 Manual, *Solar Energy Laboratory*, University of Wisconsin - Madison 1990.
- [6] M.S.Todorović i drugi: "Izrada termičkih i matematičkih podloga za formiranje matematičkih modela za projektovanje i izbor elemenata tipskih solarnih postrojenja", *LTT - Iveštaj, Poljoprivredni fakultet*, Beograd 1994.

#### OPTIMIZATION OF SOLAR WATER HEATING, AIR-CONDITIONING AND SWIMMING POOL HEATING SYSTEMS IN MEDITERRANEAN CONDITIONS

##### ABSTRACT:

Presented have been results of development of solar HVAC systems design and optimization methods. The influence of system structure, components capacities, means and logic of system control on the system efficiency and instantaneously

converted solar radiation to useful thermal energy, as well as the integral effects in long term operation, which are of the crucial interest to investors and/or users, are studied. It has been shown that mathematical modeling and numerical simulations are an efficient way to the system optimization. Model sensitivity is investigated by the analyzes of the parametric analysis of system performance and for different optimization functions and limitations - defined on the own choice and criteria.

