

ENERGETSKO-EKONOMSKA OPTIMIZACIJA SISTEMA TOPLOTNOG I FOTONAPONSKOG KORIŠĆENJA SUNČEVE ENERGIJE U SPECIJALNOJ BOLNICI U BANJI RUSANDA

M. Todorović¹, O. Ećim², Z. Vasiljević³, B. Dimitrijević⁴ i I. Zlatanović⁵

SAŽETAK:

U radu su dati rezultati studije i idejnog projekta urađenog u okviru Programa obnovljivih izvora energije Srpske agencije za energetska efikasnost – SEEA. Data su tehnička rešenja i optimizacija sistema toplotnog i fotonaponskog (FN) korišćenja energije sunčevog zračenja za grejanje vode za različite namene u specijalnoj bolnici Rusanda – Melenci, u cilju smanjenja emisije ugljendioksida. Pokazano je da se zamena fosilnih goriva i električne energije može uspešno ostvariti putem energetski efikasnog i ekonomičnog toplotnog i fotonaponskog pretvaranja sunčeve energije.

Ključne reči: emisija ugljendioksida, dinamičko ponašanje sistema, skladištenje toplotne energije, energetska efikasnost sistema, povratno korišćenje toplote, fotonaponski pokretana toplotna pumpa

¹ Prof. dr Marija Todorović, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu, 11080 Zemun, Nemanjina 6, Srbija, tel: +381(0)11/21-99-621, faks: +381(0)11/21-93-659, e-mail: vea@EUnet.yu

² Mr Olivera Ećim, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu, 11080 Zemun, Nemanjina 6, Srbija, tel: +381(0)11/21-99-621, faks: +381(0)11/21-93-659, e-mail: nera@agrifaculty.bg.ac.yu

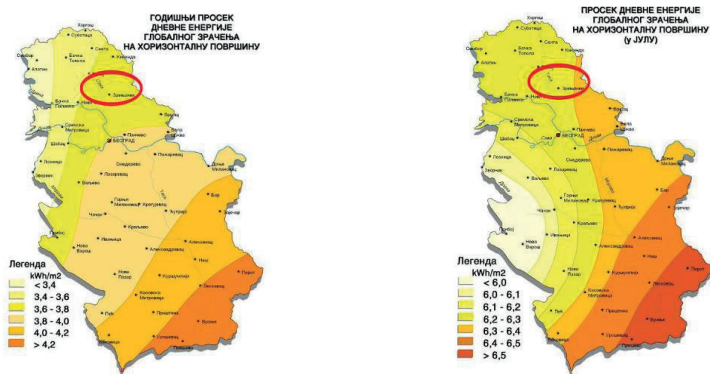
³ Prof. dr Zorica Vasiljević, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu, 11080 Zemun, Nemanjina 6, Srbija, tel: +381(0)11/2-615-315 lok. 412, faks: +381(0)11/316-17-30, e-mail: vazor@agrifaculty.bg.ac.yu

⁴ Dipl.inž. Bojan Dimitrijević, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu, 11080 Zemun, Nemanjina 6, Srbija, tel: +381(0)11/2-615-315 lok. 336, faks: +381(0)11/316-17-30, e-mail: dimitrijedi@yahoo.com

⁵ Dipl.inž. Ivan Zlatanović, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu, 11080 Zemun, Nemanjina 6, Srbija, tel: +381(0)11/2-615-315 lok. 336, faks: +381(0)11/316-17-30, e-mail: ivan@agrifaculty.bg.ac.yu

1. UVOD

Specijalna bolnica banje Rusanda nalazi se u Vojvodini. Indirektna primena sunčeve energije, foto-sintetičkim pretvaranjem energije sunčevog zračenja – proizvodnjom biomase i njenim potom daljim pretvaranjem u tečna, gasovita ili čvrsta goriva, kao i direktno pretvaranje sunčeve energije (slika 1.) u toplotnu i električnu energiju, pored geotermalne energije kao, i neravnomerno lokalno raspoređena energija vetra su potencijali obnovljivih izvora energije najizgledniji za veće korišćenje u Vojvodini. Zadatak izrade studije i idejnog projekta primene sunčeve energije za grejanje vode odnosi se na potrebe različitih potrošača tople vode u banji Rusanda. Banja „Rusanda” nalazi se blizu sela Melenci, oko 20 km od Zrenjanina. Smeštajni kapaciteti u banji Rusanda su oko 400 pacijenata.



Slika 1. Globalno sunčevo zračenje u Srbiji na horizontalnu površinu: godišnje srednje dnevno (levo) i srednje dnevno u mesecu julu

2. LOKACIJA I MERODAVNI PROJEKTI USLOVI

Specijalna bolnica u banji Rusanda pripada Institutu za paraplegiju i hemoplegiju u Melencima, koji je deo Instituta za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Republike Srbije sa sedištem u Beogradu. Institut je smešten u parku sa 9 paviljona i drugim konstrukcionim i tehničkim strukturama. U blizini šume je jezero Rusanda. Merodavni geografski podaci lokacije banje Rusanda su: geografska širina i dužina $\{45.85^{\circ} \text{N} + \text{S}-\}$ i $\{20.80^{\circ} \text{W}- \text{E}+\}$, vremenska zona u odnosu na GMT 1.00 $\{\text{GMT}+/-\}$ i nadmorska visina 132 m.

U odnosu na trenutno važeći standard u Srbiji JUS U.J5.60 - obnovljen 2002, za lokaciju u klimatskoj zoni Zrenjanina spoljni projektni uslovi za termotehnički sistem/KGH su sledeći:

- Za grejanje i KGH sistem u zimskom periodu:
Spoljna projektna temperatura suvog termometra $t_{sp} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Za hlađenje i KGH sistem u letnjem periodu:
Spoljna projektna temperatura suvog termometra $t_{sp} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$
Relativna vlažnost $\varphi = 33\text{ }%$

Međutim, novi podaci objavljeni u novijim izdanjima ASHRAE handbook (Fundamentals 2001. i 2005) i njihove brojne vrednosti su: u zimskom periodu projektne temperature su između 11.5 i 8.9° , respektivno sa verovatnoćom od 99.6% i 99% slučajeva događanja. Ove vrednosti su mnogo prikladnije inženjerskoj projektnoj praksi – i više se koriste u odgovarajućim gradovima Srbije poslednjih godina.

Nominalna količina toplote za grejanje sanitarne vode

Dnevno potrebna toplotna energija za zagrevanje sanitarne vode je određena za dve vrednosti „nominalne” potrošnje vode:

- Za 70 m^3 dnevno od $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:
$$Q_{tv} = V\rho c(T_{tv} - T_{hv}) = mc(T_{tv} - T_{hv}) = 70000 \cdot 4.186 \cdot (40 - 14) = 7618520\text{ kJ} \quad (1)$$

- Za 80 m^3 dnevno od $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:
$$Q_{tv} = V\rho c(T_{tv} - T_{hv}) = mc(T_{tv} - T_{hv}) = 80000 \cdot 4.186 \cdot (40 - 14) = 8790600\text{ kJ} \quad (2)$$

Dve „nominalne” vrednosti potrošnje vode određene su iz istorije podataka o potrošnji vode i merenja.

Projektovanje optimalnog sistema za toplotno korišćenje sunčeve energije za grejanje sanitarne vode

Dugoročno predviđanje radnih osobina sistema sa grejanje vode sunčevom energijom – DPRO ili uopšteno sistema korišćenja sunčeve energije je od velike važnosti za investitore i najvažniji zadatak u okviru projektovanja i izvođenja instalacija za aktivnu primenu sunčeve energije.

Kvantitativna i kvalitativna ocena i poređenje sistema je sprovedeno određivanjem i analizom sledećih parametara sistema: korisno pretvorena energija sunčevog zračenja u toplotnu energiju, ulazni i izlazni toplotni protoci različitih komponenata sistema, udeo sunčeve energije u finalnoj potrošnji ener-

gije, termička efikasnost komponenata, podsistema i celog sistema, funkcionisanje komponenata i sistema, radne karakteristike i investicioni troškovi sistema.

Jedan od glavnih zaključaka koji se može dati na osnovu datih analiza, a koji je sličan rezultatima ranije sprovedenih ispitivanja, je da ukupna efikasnost sistema može biti značajno niža od efikasnosti polja prijemnika sunčeve energije. Stoga, u projektovanju sistema grejanja sanitarne vode jasno je da se mora ustanoviti dinamika potrošnje vode i analizirati efikasnost sekundarnih podsistema unutar sistema. Takođe je važno projektovanje cevne mreže i kontrole procesa. Prečnici cevi se dimenzionišu u odnosu na protoke prenosnog radnog fluida, padove pritiska, snagu pumpe i potrošnju električne energije koja mora da bude minimizirana. Kada se izabere odgovarajući prečnik cevi, potrošna snaga električne energije za rad pumpi, kao i energija potrebna za merne i kontrolne instrumente, tj. ukupna potrošnja električne energije treba da je minimalna i da iznosi ne više od 2 do 3.5 % od ukupne ulazne snage sunčeve energije.

3. PROJEKTOVANJE, DIMENZIONISANJE I IZVOĐENJE SISTEMA ZA GREJANJE VODE SUNČEVOM ENERGIJOM

Glavne veličine opisa sistema korišćenja sunčeve energije su korisno primljena energija po jedinici površine polja prijemnika sunčeve energije i ukupna korisna toplotna energija dobijena sa celog polja prijemnika koja se radnim fluidom predaje sanitarnoj vodi u skladišniku toplotne energije i na kraju isporučuje krajnjim korisnicima.

Finalni energetski izlaz sistema zavisi od intenziteta dozračene sunčeve energije, ostalih meteoroloških uslova okoline (temperature vazduha i vlažnosti, brzine vetra), kao i od trenutne termičke efikasnosti prijemnika sunčeve energije, i od termičke efikasnosti svih ostalih podsistema i komponenata.

Korisno primljena sunčeva energija u odnosu na ukupnu površinu polja prijemnika sunčeve energije Q_p , i energija koja se preda radnom fluidu a zatim i sanitarnoj vodi u skladišniku toplotne energije određuje se na osnovu merodavne vrednosti upadnog sunčevog zračenja u ravni prijemnika I_g i trenutne termičke efikasnosti prijemnika η :

$$Q_p = I_g \eta \quad (3)$$

Trenutna termička efikasnost koja karakteriše termičke osobine prijemnika sunčeve energije se opisuje izrazom:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot T_m \quad ; \quad \text{gde je} \quad T_m = \frac{t_{ul} - t_{iz} - t_a}{2 I_g} \quad (4)$$

gde je:

- η (%) – trenutna termička efikasnost ravnog prijemnika sunčeve energije;
- t_{ul} (°C) – temperatura radnog fluida na ulazu u polje prijemnika;
- t_{iz} (°C) – temperatura radnog fluida na izlazu iz polja prijemnika;
- t_a (°C) – spoljna temperatura ;
- I_g (W/m²) – globalno sunčevo zračenje u ravni prijemnika;
- η_0 i k_1 – eksperimentalno određene konstante.

Glavni matematički izrazi primenjeni pri opisu dinamičkog ponašanja sistema za grejanje sanitarne vode sunčevom energijom i dinamičke ravnoteže povezanih podsistema i komponentata slede. Za svaku komponentu sistema određuju se sledeći parametri: temperatura - T; ukupan energetski fluks na ulazu u sistem - ϕ ; specifični toplotni gubici - U; i toplotni kapacitet - C. Izlazna temperatura n-te komponente jednaka je ulaznoj temperaturi (n+1) komponente:

$$T_{n,out} = T_{n+1,in} \quad (5)$$

A odgovarajuća jednačina za n-tu komponentu je:

$$\frac{dT_n}{dt} C_n = \phi - U_n T_n - \sum \frac{dm}{dt} C_p (T_{n,out} - T_{n,in}) \quad (6)$$

Rešenje merodavnog sistema jednačina, modeliranje i predviđanje dinamičkog ponašanja sistema i korisno dobijene energije/izlaza sistema za grejanje vode određeni su TRNSYS programom. Sproveden je proračun trenutne termičke efikasnosti η_I^* datih ravnih prijemnika sunčeve energije, a korisno primljena energija E (KWh/m²) određena je za merodavni projektni meteorološki period u toku godine (Pet uzastopnih dana od 9.07 do 13.07):

* Za dati ravan prijemnik sunčeve energije je:

$$\eta = 0.84 - 3.36 \cdot \frac{\Delta T}{E} - 0.013 \cdot \frac{\Delta T^2}{E} \quad (7)$$

Prema određenoj trenutnoj termičkoj efikasnosti prijemnika i nominalnoj potrebnoj površini polja prijemnika određenog kvaliteta – podaci proizvođača zavisi trenutne termičke efikasnosti od relevantnih parametara i primenjenog proračunskog metoda, čiji je razvoj baziran na metodu kratkovremenskog monitoringa i predviđanja rada polja u dužem vremenskom periodu (1/-/4/), ustanovljeno je dnevno direktno sunčevo zračenje merodavno za lokaciju banje Rusa u iznosu od 6.23 kWh/m² (10. jun u okviru relevantnog meteorološkog perioda) i nominalno potrebna površina polja prijemnika sunčeve energije:

$$A_{PSE1} = \frac{Q}{q_{pse}} = \frac{7618520}{6.23 \cdot 3600} = 339.68 m^2 \quad (8)$$

Površina polja prijelnika određena je prema maksimalno raspoloživom direktnom sunčevom zračenju, uz uslov da nema skladišnika toplotne energije dovoljne zapremine koja bi primila viškove primljene toplotne energije. Ovo je važno pravilo u projektovanju, jer u slučaju da sistem nije sposoban da apsorbuje više toplote primljene od sunčeve energije, polje prijelnika sunčeve energije bi bilo bez adekvatnog hlađenja i u uslovima koji mogu ubrzati starenje sistema i termičku degradaciju. Za maksimalno raspoloživo dnevno direktno sunčevo zračenje od 6,23 kWh, dnevnu potrošnju vode od 80.000 m³ i odgovarajuću toplotnu energiju potrebnu za grejanje 8.790.600 kJ, potrebna površina polja prijelnika je:

$$A_{PSE1} = \frac{Q}{q_{pse}} = \frac{8790600}{6.23 \cdot 3600} = 390 m^2 \quad (9)$$

Kako je ukupna termička efikasnost celog sistema za grejanje sanitarne vode sunčevom energijom manja od trenutne termičke efikasnosti prijelnika sunčeve energije, zbog toplotnih gubitaka energije različitih komponenata i podsistema (podsistem za distribuciju toplote, podsistem razmene toplote i podsistem upotrebe sanitarne vode), ukupna površina polja prijelnika mora biti veća. Ovo treba uzeti u obzir u konačnom proračunu sistema.

3.1 Izbor položaja polja prijelnika sunčeve energije

Površine krovova i njihov nagib je analiziran za sve paviljone. U tabeli 1 dati su sumarni podaci raspoloživih površina krova na postojećim objektima u banji Rusanda za postavljanje prijelnika sunčeve energije.



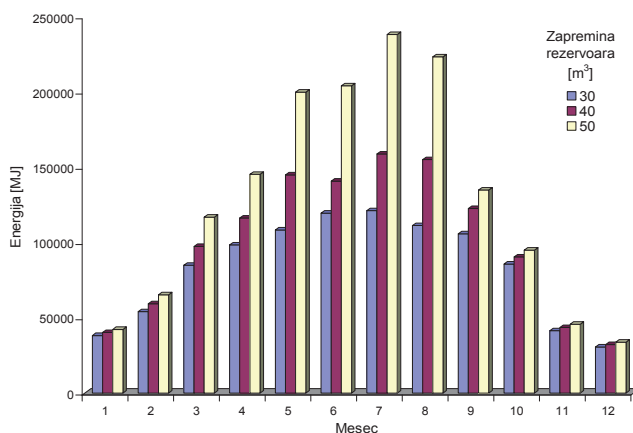
Slika 2. Paviljon 8 levo, ugao nagiba krova 17⁰, površina 240 m²

Tabela 1. Površine krovova, maksimalna raspoloživa površina za postavljanje PSE-a i uglovi nagiba prema horizontalnoj tavni

	Površ. krova	Maksimalna raspoloživa površina za postavljanje PSE-a	Ugao nagiba
	[m ²]	[m ²]	[°]
Bazen	85	76	10
Paviljon 8	240	220	17
Paviljon 5	200	182	35
Paviljon 9	350	322	0

3.2 Dinamičke simulacije i optimizacija polja prijemnika sunčeve energije i skladišnika toplotne energije

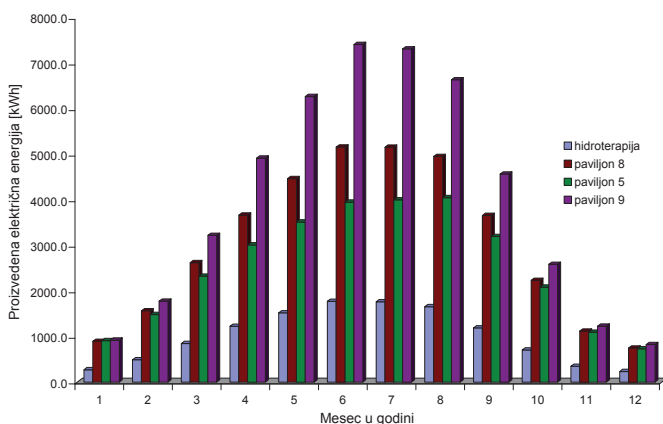
Sprovedenim simulacijama za različite površine polja ravnih prijemnika sunčeve energije i za različite zapremine skladišnika određena je korisno predata toplota pretvorenog upadnog sunčevog zračenja radnom fluidu, koju je potom fluid u skladišniku toplotne energije predao vodi a potom korisnicima sanitarne vode. Sve simulacije su sprovedene za 8760 časova TMG za Zrenjanin. Rezultati simulacija prikazani su na slici 3. Vidi se jasno da se povećanjem površine polja prijemnika sunčeve energije i zapremine skladišnika toplotne energije povećava i zadovoljenje potreba za grejanjem sanitarne vode sunčevom energijom. Sa površinom polja od 390 m² i zapreminom skladišnika od 50 m³ može se pokriti 94% potreba za grejanje sanitarne vode.

Slika 3. Korisno predata toplota vodi u skladišniku toplote za površinu PSE-a 390 m² za različite zapremine skladišnika

4. POVRAĆAJ TOPLOTE ODPADNE VODE I FN POGONJENA PUMPA

U radu se prikazuje novi originalni koncept primene sunčeve energije koji se zasniva na efikasnoj meri unapređenja energetske efikasnosti, upravo maksimalno mogućem povećanju energetske efikasnosti finalne potrošnje energije i korišćenja otpadne toplotne energije. Sistemom povraćaja toplote otpadne vode može se povratiti 90% otpadne toplote. Posle povraćaja otpadne toplote koja predstavlja toplotni izvor toplotne pumpe, dovodom kompresorskog rada toplotne pumpe - TP koja je pogonjena električnom energijom proizvedenom fotonaponskim panelima – FN zagreva se radni fluid TP i potom odavanjem toplote u kondenzatoru isti zagreva prethodno predgrejanu vodu u jedinici za povraćaj toplote do potrebne temperature. Na osnovu prethodnih iskustava o povraćaju toplote otpadne vode, u banji Rusanda je prelimirano izabran sistem za povraćaj toplote otpadne vode MENEGRA Aqua cond.

U specijalnoj bolnici banje Rusanda FN paneli je predviđeno da se postave na krovu/ovima paviljona u odgovarajućoj ravni izabranih krovova. Merodavni podaci rada FN panela su određeni i primenjeni za dimenzionisanje polja FN panela. Izabrani su FN paneli BP SOLAR 7180 V2.



Slika 4. Mesečne sume fotonaponski pretvorene energije sunčevog zračenja u električnu energiju

Za izabrane FN panele i raspoložive površine krovova za postavljanje FN panela FN instalacije na krovove objekata izvršene su dinamičke simulacije rada FN sistema i određene mesečne i godišnje sume primljenog i pretvorenog

sunčevog zračenja u električnu energiju. Utvrđeno je da rezultati opravdavaju primenu FN panela jer je pomoću njih moguće proizvesti značajnu količinu električne energije. Rezultati su prikazani na dijagramu na slici 4. Simulacije su izvršene TRNSYS programom.

Konačni osnovni zaključak je da je uspešno postignut cilj studije: definisano je i predloženo racionalno u pogledu troškova i energetski efikasno tehničko rešenje, tačno dva jednako vredna rešenja za zamenu fosilnih goriva i električne energije solarnom energijom za zagrevanje vode za različite svrhe (za bazene, sanitarnu vodu, za pranje) u Specijalnoj bolnici banje Rusanda – Melenci: jedno uz primenu PSE-a i drugo uz primenu FN panela.

5. ZAKLJUČNA ANALIZA

5.1 Opcioni modeli primene toplotnih PSE-a i prost period povraćaja investicija

MO Referentni model: Nulti referentni model je definisan kao rekonstruisani sistem za snabdevanje toplotnom energijom sa dva nova kotla, trenutno u završnoj fazi glavnog projekta sa ukupnim iznosom investicija od 300.000 € za instalisanje dva nova gasna kotla. U odnosu na potrošnju vode i odgovarajuće energije grejanja dve varijante nultog modela su dalje definisane MO1 i MO2. Prvi MO1 model je sa manjom i drugi MO2 sa većom vrednošću potrošnje tople vode i odgovarajuće energije.

Svi iznosi troškova dobijeni su korišćenjem sledećih finalnih cena izvora energije: električna energija – 0,057 €/kWh; toplotna energija – gas za zdravstvene ustanove 0,03954 €/ kWh. Slede specifikacije preliminarno koncipiranih modela i analiza ekonomskih performansi. Toplota apsorbovana/sakupljena pomoću polja PSE-a prenosi se do skladišnika toplote pomoću cirkulacije fluida za prenos toplote. U rezervoarima za skladištenje toplote se nalaze razmenjivači toplote. Njihova površina za razmenu toplote definisana je u odnosu na maksimalnu snagu koju polje PSE-a (0,93 W/m²). Na taj način određena maksimalna snaga polja PSE-a od 390 m² je 362,7 kW, a polja od 340 m² je 3181 kW. Preliminarno koncipirane specifikacije za modele: M390/40, M390/50, M340/40 i M340/50 slede u daljem tekstu.

Model sistema M390/40 se sastoji od polja ravnih prijemnika sunčeve energije površine 390 m² i 40 m³ skladišnika toplotne energije – četiri rezervoara za skladištenje tople vode zapremine od po 10 m³. Cena jednog rezervoara za skladištenje zapremine od 10 m³ STP Produkt, Beograd košta 3.500 €. Razmatrani su ravni prijemnici sunčeve energije (Wolf, Viesmann ili drugi sličan, iste krive trenutne toplotne efikasnosti); površine 2,3 m² i cene po jedinici površine

od 160 €/m², kao i postojeći domaći Nissal i grčki Leon po nižoj ceni/m² (120 €/m²), ali sa manjom toplotnom efikasnošću. Specijalna cena za razmenjivač toplote koju je dala beogradska STP kompanija je 150 €/m². Podaci za koncipiranu specifikaciju o prostom periodu povraćaja (PPP) investicija dati su za tri modela:

M390/40 u odnosu na model MO1; PPP = 96.140/13.204 = 7,28 godina

M390/50 u odnosu na model MO1; PPP = 99.990/16.976 = 5,89 godina

M340/50 u odnosu na model MO1; PPP = 81.575/14.215 = 5,7 godina

5.2 Prost period povraćaja investicija opcije korišćenja otpadne toplote i FN pogonjene toplotne pumpe – model MPV200/HR&HP

Putem dinamičkih simulacija i predviđanja ponašanja FN sistema, idejno je projektovan sistem sa FN panelima površine 200m² (PV200), koji pored toga obuhvata podsistem za povraćaj toplote otpadne vode i dogrevanje do potrebne temperature toplotnom pumpom (HR&HP) - Menerga AquaCond's tip 44 36.2 karakteristika: protoka vode 2,4 m³/h, odnosno 72 m³/h za 20 časova rada, sa kompresorom snage 2x3,4 kW i pogonskom snagom elektromotora od 8,96 kW, maksimalnom snagom 20kW i cenom 64.344 EUR.

Podaci potrebni za određivanje PPP modela MPV200/HR&HP u odnosu na model MO1 su: osnovni investicioni troškovi 531.844 EUR; povećanje investicija 231.844 EUR; godišnja ušteda potrošnje toplotne energije 718.361 kWh; odgovarajuća ušteda u novcu 28.404 EUR; godišnja potrošnja električne energije 686.756 kWh; FN proizvedena električna energije 33.316 kWh; godišnji troškovi energije - ukupni 201.007 EUR, toplotne energije 149.502 EUR i električne energije 39.145 EUR. Dodatni troškovi održavanja 270 EUR. Ukupna vrednost godišnje uštede energije 26.576 EUR. Rezultujuća vrednost prostog perioda povraćaja investicija sistema varijante modela MPV200/HR&HP je PPP = 231.844/26.576 = 8,7 godina što predstavlja uporedljivu vrednost sa najboljim modelom toplotne primene od 5,7 godina.

5.3 Prost period povraćaja investicija opcije modela MPV200/HR&HP i korišćenja otpadne hladne vode za klimatizaciju prostora

U tabeli 2 su date maksimalne i minimalne dnevne sume potrebne toplotne hladnja unutrašnjeg klimatizovanog prostora u kWh/m², za Rusandu u periodu od jula do septembra meseca. Ako bi se količina od 72.000l hladne otpadne vode (temperature 8°C koja odgovara temperaturi vode na izlazu iz hladnjaka klima komore), posle prolaza kroz isparivač toplotne pumpe, upotrebila za klimatizaciju, na raspolaganju bi bio rashladni kapacitet snage 33,5 kW, kojim bi za 10 sati rada dnevno moglo da se klimatizuje 948m² prostora (/7). Odgovarajuća supstitucija FN strujom potrošnje električne energije bi bila 160 kWh dnevno, a od

juna do septembra bi bila približno 19.500 kWh, a PPP bi se spustio na 5,48, što je niža vrednost od vrednosti najekonomičnijeg sistema sa toplotnim PSE-ima.

Tabela 2. Dnevne sume toplote hlađenja/m²

	Min	Max
	[kWh/m ²]	
Juni	0.3050	0.9761
Juli	0.3548	0.9859
Avgust	0.3412	0.8855
Septembar	0.1706	0.7552
□	1.1716	3.6026

Konačni osnovni zaključak je da je uspešno postignut cilj studije: definisano je i predloženo racionalno, u pogledu troškova i energetski efikasno, tehničko rešenje, tačno dva jednako vredna rešenja za zamenu fosilnih goriva i električne energije solarnom energijom za zagrevanje vode za različite svrhe (za bazene, sanitarnu vodu, za pranje) u Specijalnoj bolnici banje Rusanda – Melenci: jedno uz primenu PSE-a i drugo uz primenu FN panela. S tim u vezi, smanjenje emisije SO₂, SO₂ i NO_x u dva scenarija najboljih rešenja dato je u tablama 4 i 5 i svedoči o veoma značajnom smanjenju emisije ugljen-dioksida koja se može ostvariti.

6. LITERATURA

- [1] *About experimenting, evaluation and optimization of solar thermal systems*, International conference "Solar 85", Beograd, Zbornik, str. 31-40, 1985.
- [2] *Long Term Performances (LTP) of Solar Water Heating Systems*, CNRE SWHS Workshop, Zbornik, str.84-96, Naxos, Greece, 1988.
- [3] *The Research Basis for LTP SWHS's Method Development, Air - Conditioning, Refrigeration and Heating Congress – KGH Zbornik*, str. 333-345, Beograd, 1988.
- [4] *Optimisation of solar HVAC systems by modelling - investigation of the trnsys sensitivity*, Yugoslav Journal for Air - Conditioning, Refrigeration and Heating - KGH, No. 3, str. 33-42, SMEITS, Beograd, 1998, (sa N. Surlan).
- [5] *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.

- [6] *Studija izvodljivosti sa preliminarnim projektom za korišćenje solarne energije za grejanje u Specijalnoj bolnici banje Rusanda*, Srpska agencija za energetska efikasnost, Studija izvodljivosti i preliminarni projekat (sa Z. Vasiljević, O. Ećim, B. Dimitrijević i I. Zlatanović), Beograd, 2006.
- [7] *Building Integrated PV Air Conditioning and Water Heating in Special Hospital of SPA Rusanda*, Passive and Low Energy Cooling Conference, Creta, 2007.

ENERGETIC AND ECONOMICAL OPTIMIZATION OF THERMAL AND PHOTOVOLTAIC SYSTEM OF SOLAR ENERGY UTILIZATION IN SPECIAL HOSPITAL OF THE SPA RUSANDA

ABSTRACT:

In this paper are presented results of the optimization of thermal and photovoltaic system of solar energy utilization aimed to reduce CO₂ emission by energy efficient and cost-effective replacing fossil fuel and electricity with solar energy for heating of water for different purposes (for pools, sanitary water, washing) in the Special hospital of the Spa Rusanda – Melenci. Crucial for the study success is understanding and prediction of solar water heating systems dynamic behaviour and synergetic relations between energy efficiency, solar radiation intensity and sanitary water consumption dynamics. Although, the solar water heating has much higher efficiency (thermal – 4 to 5 times higher than PV) the evaluation of given new technical solution (combination of waste water heat recovery and heat pump assisted PV electricity supply) did show system's high energy efficiency and cost effectiveness.

Key words: CO₂ emission reduction, system dynamic behaviour, thermal energy storage, system energy efficiency, waste water heat recovery, PV powered heat pump