

OSCILACIJE TERMIČKOG POLJA U AKUMULATORU TERMOSOLARNE TOPLOTE SA STENOVITOM PODLOGOM *

Ioan LUMINOSU, Dušan POPOV

Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Catedra de Fizică,
Piața Horatiu No. 1, 1900 TIMIȘOARA, ROMANIA,
E-mail: dpopov@edison.et.utt.ro

Abstract

U radu je predstavljen proces oscilacija termičkog polja u akumulatoru termsolarne energije sa stenovitom podlogom. Kao posledica toga, temperatura vazduha koji prolazi kroz akumulator je, takodje, promenljiva. Iz ovih razloga je potrebno da se u sistem uključi jedan dodatni klasični sistem zagrevanja (na primer, električni), da bi se mogla zagrejati jedna klimatizaciona prostorija. U ovom smo radu analizirali uslove ovog procesa. Smatramo da se sistem kaptiranja solarne energije pomoću akumulatora sa stenovitom podlogom može sa uspehom koristiti u izolovanim brdsko-planinskim domaćinstvima (za zagrevanje, ali i u sušarama poljoprivrednih proizvoda), kao i u turističkim kampovima i izolovanim benzinskim pumpama.

Ključne reči: solarna energija, solarni kolektor, akumulator sa stenovitom podlogom, klimatizaciona prostorija

*Izvorni naučni rad (Original scientific paper)

Uvod

Na Univerzitetu "Politehnika" u Temišvaru, Rumunija, na Katedri za fiziku, realizovana je eksperimentalna laboratorija za istraživanje kaptiranja, konverzije i očuvanja solarne energije, u vidu "Solarne kuće". Da bi troškovi bili minimalni, izabrana je konverzija solarne u termičku energiju (De Sabata i Luminosu, 1993). Energetski lanac ove solarne kuće obuhvata: ravne solarne kolektore sa vodom, serijske izrade, veličine 24 m^2 , cevi za prenos topote, menjač topote sa vazduhom, akumulacioni topotni basen sa stenovitom podlogom i klimatizacionu prostoriju. To je, u stvari, jedna dnevna prostorija sa minimalnim termičkim gubicima. Laboratorija omogućuje merenje sledećih fizičkih veličina: intenziteta solarnog zračenja, pomoću solarimetra tipa "Solaris 2", sopstvene izrade; temperature, pomoću elektronskog termometra; protoka vode i vazduha pomoću odgovarajućih debitmetara. Takodje, solarna kuća poseduje i automatizacione elemente koji uključuju rad solarnih kolektora zavisno od nivoa solarnog zračenja.

U toku noći, prostorija se klimatizuje unošenjem toplog vazduha pomoću menjača topote ili električnih radijatora koji se uključuju zavisno od termičkog nivoa vazduha koji dolazi iz akumulatora. Klimatizovanje je potrebno pošto je solarno zračenje fluktuationog karaktera: dan - noć, odnosno vedri - oblačni dani.

Prirodni gubici topote iz basena (akumulatora), kao i njeno crpljenje, procesi koji deluju naizmenično sa procesima punjenja, čine da termičko polje u akumulatoru popravi oscilatorni karakter. Zavisno od nivoa termičkog polja u akumulatoru, klimatizovanje prostorije vrši se solarno, električno, ili kombinovano, solarno i električno.

Princip rada eksperimentalne laboratorije

Shodno stručnoj literaturi (Ilina, Bandrabur i Oancea, 1987), promena nivoa solarnog zračenja i potrošnje energije u toku jednog dana i u toku jedne godine fluktuationog je karaktera, ali se može primetiti i izvesno pravilo njihove promene. U toku jednog vedrog dana, vremenska kriva promene nivoa solarnog zračenja ima otprilike aspekat jedne parabole, sa kracima oko 6 i 18 časova i vrhom (maksimumom) u 12 časova. Energetske potrebe u domaćinstvu, međutim, rastu skoro linearno, u intervalu izmedju 5 i 23 časova, da bi potom naglo opale.

U toku jedne godine, maksimalni nivo solarnog zračenja dostiže se, u našem geografskom području, za vreme meseca juna i jula, da bi u decembru bio najniži, tako da ova kriva ima skoro sinusoidalni oblik. Naprotiv, energetske potrebe u domaćinstvima su obrnute, tako da je ta kriva komplemen-tarna, imajući skoro oblik funkcije kosinus (De Sabata, Marcu i Luminosu, 1993). Naravno da, zbog lokalnih meteoroloških uslova, ima odstupanja od ovih idealizovanih kriva, kao što se dešava sa svim teoretskim modelima.

Jasno je, dakle, da je potrebno akumuliranje solarne toplove da bi se kompenzirali periodi bez sunčevog zračenja, a sve sa ciljem da se u klimati-zacionoj prostoriji održi željeni nivo temperature.

U toku jednog dana, akumulacija termosolarne toplove postaje efikasna ako se toplota dobavlja u sledećim vremenskim intervalima (Dumont, 1978): a) 1-2 časa, protekciona akumulacija; b) 6-8 časova, obezbedjenje maksimalne potrošnje; c) u intervalu od otprilike 8 časova, u toku noći, u tropskim pre-delima; d) u intervalu od otprilike 16 časova, u toku noći, u umereno-toplim predelima.

Termosolarni uredjaj ostvaren na Univerzitetu "Politehnika" u Temišvaru zamišljen je da zadovolji energetske potrebe u uslovima umerene klime, kada su noći blage, to jest da omogući klimatizaciju u kratkim vremenskim inter-valima (3 do 4 dana).

Princip rada solarne kuće je sledeći (Majogan, 1992; Luminosu, 1993):

U toku perioda solarnog zračenja, voda koju zagreva solarni kolektor šalje se pomoću pumpe prema menjaču toplove i zagreva vazduh koji prodire u zoni akumulatora sa stenovitom podlogom. U toku noći, pomoću ventilatora, zagrejani vazduh se šalje u klimatizacionu prostoriju. Postoji mogućnost merenja temperature u sledećim karakterističnim tačkama energetskog lanca: na ulazu (A) i izlazu (B) vode, odnosno ulazu (b) i izlazu (a) vazduha u menjač toplove; na ulazu (C) i izlazu (D) vazduha u akumulator sa stenovitom podlogom i u njegovoj unutrašnjosti (J); na ulazu vazduha u klimatizovanu prostoriju (H), kao i u njenoj unutrašnjosti (F); temperature vazduha u hodniku pored klimatizovane prostorije (I), kao i merenje spoljašnje temperature (G).

Intenzitet solarnog zračenja meri se solarimetrom plasiranim uz sam so-larni kolektor.

Naravno da su cevi za vazduh koje ulaze i izlaze u akumulator i menjač toplove predvidjene odgovarajućim regulacionim ventilima, koji regulišu pro-tok vazduha prema ovim elementima energetskog lanca.

Efikasnost karika energetskog lanca

Sistematska višegodišnja merenja omogućila su procenu efikasnosti raznih karika u energetskom lancu ovog procesa, i to (Luminosu, 1993):

Konvertor solarne u termičku energiju, tipa "Sadu 1" jeste ravni solarni kolektor dimenzija $2 \times 1 \times 0.12$ m, sa prednjom površinom od stakla debljine 4 mm i čeličnom kutijom debljine 0.8 mm. Izolacija je realizovana pomoću meneralne vate debljine 50 mm. Prečnik unutrašnjih cevi iznosi 20 mm, a rastojanje izmedju cevi 150 mm. Termoprovodni agens jeste voda, protoka $0.16 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, čija temperatura pri izlasku iz kolektora iznosi 50°C (a u podne čak 80°C). Radni učinak termokonverzije kod samog kolektora nalazi se u intervalu od 0.35 do 0.45. Prosečna snaga više povezanih kolektora (ukupne površine $12 \times 2 = 24 \text{ m}^2$) u podne nalazi se u intervalu 12-15 kW, pri intenzitetu solarnog zračenja od 700 do 900 Wm^{-2} , dok prosečna dobijena dnevna količina toplice jeste $\langle Q_{AB} \rangle = 145.8 \text{ MJ/dan}$, a prosečni radni učinak kolektora je $\langle \eta \rangle = 0.374$.

Toplotni menjač ostvaren je u vidu vijugave cevi kroz koju prolazi voda kao prenosnik toplice, koja se hlađi od temperature $\langle t_A \rangle$ do temperature $\langle t_B \rangle$ i ustupa u toku 1 s količinu toplice:

$$\frac{dQ_{AB}}{dt} = \frac{dm}{dt} c (\langle t_A \rangle - \langle t_B \rangle). \quad (1)$$

Vazduh koji protiče oko vijugave cevi u menjaču toplice ima protok od $1500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, zagreva se od temperature $\langle t_D \rangle$ do temperature $\langle t_C \rangle$ i u toku od 1 s absorbuje količinu toplice:

$$\frac{dQ_{CD}}{dt} = \frac{dm}{dt} c (\langle t_C \rangle - \langle t_D \rangle). \quad (2)$$

Vazduh preuzima, dakle, deo količine toplice:

$$\langle f_{CD} \rangle = \frac{\langle Q_{CD} \rangle}{\langle Q_{AB} \rangle}, \quad (3)$$

a eksperimentalno je odredjeno da taj odnos iznosi 82 %, pri vrednosti $\langle Q_{CD} \rangle = 119.7 \text{ MJ/dan}$.

Simbol $\langle \dots \rangle$, ovde i u nastavku, označava srednju vrednost u odnosu na varijabilnu vreme t .

Akumulacioni basen, sa stenovitom podlogom (to jest, sa stenovitim termičkim agensom) ima dimenzije $(1.5 \times 1.5 \times 4)$ m i koristi kao materijal rečni šljunak. To je materijal koji sasvim odgovara ovoj nameni, a nalazi se u izobilju skoro u svim rečnim tokovima, što čini da, sa te tačke gledišta, troškovi ne bivaju veliki. Betonski zidovi imaju deblinu 0.4 m, frontalna površina iznosi 2.25 m^2 , a dužina strujne trase je 4 m. Kalorični kapacitet stenovite podlove izračunat je klasičnim metodom i iznosi $C = 16.7 \text{ MJ/K}$ (Luminosu, 1993).

Povišenje temperature u basenu može da dostigne 24°C . Dnevna brzina porasta temperature smanjuje se od dana do dana u toku procesa termičkog punjenja, njena srednja vrednost iznosi $\langle \delta t_J \rangle = 4.5^{\circ}\text{C}/\text{dan}$, a dnevna prosečna akumulovana toplota iznosi $\langle Q_J \rangle = mc \langle \Delta t_J \rangle$; $\langle Q_J \rangle = 75.16 \text{ MJ/dan}$.

Deo toplote koju preuzima stenovita podloga iznosi:

$$\langle f_J \rangle = \frac{\langle Q_J \rangle}{\langle Q_{CD} \rangle} = 63\% \quad (4)$$

Prostorija minimalnih termičkih gubitaka, to jest prostorija gde se šalje akumulisana toplota, jeste dnevna prostorija dimenzija $3.5 \times 3.5 \times 2.8$ m, na spratu solarne kuće. Prosečni koeficijenat termičkih gubitaka iznosi $k=0.58 \text{ W/m}^2\text{C}$. Imajući u vidu gradjevinske elemente i prirodu materijala zidova, količina toplote koja se gubi iznosi (Luminosu, 1993):

$$Q_d = 18.3\Delta t_E + 5.38\Delta t_J + 7.1\Delta t_C, \quad (5)$$

gde indeksi označavaju razliku temperatura u odnosu na: spoljašnjost - E, akumulator sa stenovitom podlogom - J, hodnik - C.

Forsiranjem cirkulacije vazduha od basena (akumulatora) prema klimatizovanoj prostoriji, protoka $860 \text{ m}^3/\text{h}$, ostvareno je klimatizovanje prostorije na temperaturi od 24°C , kada je spoljašnja temperatura iznosila 17°C , u 4 vremenska intervala od po 12 časova, izmedju kojih je bio takozvani "interval čekanja".

Prosečan termički doprinos akumulatora sa stenovitom podlogom prema klimatizovanoj prostoriji iznosio je $\langle Q_H \rangle = \langle Q_d \rangle = 34 \text{ MJ/dan}$. U toku intervala čekanja, stenovita podloga se je prirodno ohladila brzinom od $0.4^{\circ}\text{C}/\text{dan}$, dakle u svakom intervalu klimatizacije od po 12 časova, sa po 3°C . Znači da je stenovita podloga ustupila 50.1 MJ/dan korisne količine toplote.

Deo količine toplote koja se ubrizgava u klimatizovanoj prostoriji iznosi:

$$\langle f_{ex} \rangle = \frac{\langle Q_H \rangle}{\langle Q_{J\uparrow} \rangle} = 68\% \quad (6)$$

i predstavlja deo korisne količine toplote koji se može izvaditi iz akumulatora.

Prosečni ukupni radni učinak ove eksperimentalne laboratorije može se izračunati pomoću obrasca:

$$\langle \eta_{tot} \rangle = \langle \eta \rangle \langle f_{CD} \rangle \langle f_J \rangle \langle f_{ex} \rangle = 13.1\% \quad (7)$$

Oscilacija temperature u stenovitoj podlozi

Režim punjenja i pražnjenja u termičkom akumulatoru sa stenovitom podlogom proučavan je u toku nekoliko godina. Pošto je brzina promene temperature relativno mala, termički ciklus se proteže u periodu od nekoliko dana (u našem slučaju, 19 dana), podeljenih u intervalima od po 12 časova. Posmatranjem promene temperature u akumulatoru mogu se odrediti sledeće zone, dužina intervala od po 12 časova, kao i odgovarajuća promena temperature (u $^{\circ}\text{C}$). Dajemo primer jednog takvog ciklusa promene temperature u akumulatoru: - *zona prirodnog zahladjenja*, 32 int., zahladjenje od 35 do 20.5 ; - *zona termičkog punjenja*, 1 int., zagrevanje od 20.5 do 30 ; - *zona noćnog zahladjenja*, 1 int., zahladjenje od 30 do 29.5 ; - *zona termičkog punjenja*, 1 int., zagrevanje od 29.5 do 34.5 ; - *zona noćne klimatizacije prostorije*, zahladjenje od 34.5 do 30.5 ; - *zona postepenog zahladjenja, zbog prisustva oblaka*, zahladjenje od 30.5 do 30 ; - *zona noćne klimatizacije*, zahladjenje od 30 do 26.5.

Primećuje se da brzina prirodnog zahladjenja iznosi $0.5 \ ^{\circ}\text{C}$ po intervalu, dok je brzina zahladjenja u akumulatoru, pri prinudnom protoku vazduha kroz stenovitu podlogu, u cilju klimatizacije 4 do $5 \ ^{\circ}\text{C}$. Proračuni pokazuju da je, u toku intervala klimatizacije, stenovita podloga otpustila 101 MJ , od kojih je 33 MJ izgubljeno kroz cevi, a 68 MJ je dospelo u klimatizacionu prostoriju. Broj intervala koji se mogu "pokriti" toplotom iz akumulatora jeste 4.

Solarna energija koja je dospela na solarnom kolektoru iznosila je 975 MJ na čas, a to znači da je prosečni radni učinak korišćenja solarne energije bio 0.137 .

ZAKLJUČAK

Korišćenje solarne energije predstavlja jedan stalni izazov, pogotovo u uslovima sve većih troškova koje iziskuje korišćenje konvencionalnih energetskih resursi. Pogotovo je izazovno koristiti sunčevu energiju u uslovima brdsko-planinskog područja, iz sledećih specifičnih razloga: - što se geografsko-klimatskih uslova tiče, ova područja imaju dovoljan broj sunčanih dana da bi bilo opravданo korišćenje solarne energije; - brdsko-planinski predeli obezbedjuju dovoljnu, jевtinu i kvalitetnu količinu materijala za stenovitu podlogu, za model solarne stanice koji u radu predlažemo; - to su predeli sa relativno malim brojem atmosferskih zagadjivača (velika industrijska postrojenja), koji bi prouzrokovali da atmosferske padavine bitnije utiču na radni učinak solarne stanice.

Iz ovih ali i drugih razloga, može se zaključiti da je u ovim predelima preporučljivo korišćenje solarne energije kao komplementarni izvor energije, pored onih konvencionalnih. U radu je pokazano da je rentabilno koristiti ovu energiju u cilju klimatizacije nekih prostorija. Sa tačke gledišta efikasnijeg iskorisćavanja poljoprivrednih resursi iz ovih područja, ove prostorije mogu biti, na primer, sušare za razne poljoprivredne proizvode, zatim staklenici i slično. Takodje, nije bez interesa montiranje takvih solarnih stanica u brdsko-planinskim turističkim kampovima ili, pak, u izolovanim benzinskim pumpama. Vrednost radnog učinka takvih solarnih uredjaja u potpunosti opravdava njihovo korišćenje.

LITERATURA

De Sabata, C., Luminosu, I. (1993): Complex Experimental Base for the Study of Heat Conversion and Solar Energy Storage. Solar Energy in Romania, v. 2, no. 1-2, 115-116.

De Sabata, C., Marcu, C., Luminosu, I. (1994): Some Industrial Utilization of Solar Energy in South West Romania. Renewable Energy, World Ren. En. Congress, Sept. 1994, Reading, UK, 387-389.

Dumon, R. (1978): Energie solaire et stockage d'énergie. Ed. Masson, Paris 1978, 19-20.

Ilina, M., Bandrabur, C., Oancea, N. (1987): Energii neconvenționale utilizate în instalațiile din construcții, Ed. Tehnică, București 1987, 58-64.

Luminosu, I. (1993): Constant Temperature Maintenance within an Enclosure with Small Losses by Applying Solar Energy Stored up and Electric Power. *Solar Energy in Romania*, v. 2, No. 1-2, 113-114.

Luminosu, I. (1993): Povećavanje radnog učinka ravnih solarnih kolektora proučavanjem fizičkih pojava implikovanih u termokonverziji. Doktorska dizertacija (neobjavljena, na rumunskom), Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 1993.

Majogan, V. (1992): U vezi obezbedjenja energetske nezavisnosti nekih naselja pomoću korišćenja solarne energije. Doktorska dizertacija (na rumunskom, neobjavljena), Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 1992.

OSCILLATIONS OF THE THERMAL FIELD IN THE THERMOSOLAR ACCUMULATOR WITH THE SUPPORT OF STONE

LUMINOSU I., POPOV D.

SUMMARY

In the paper we have pointed out the process of oscillation of the thermal field in the thermosolar heat accumulator with the support of stone. As a consequence, the temperature of air which passes through the accumulator is, also, variable. For this reasons, it is necessary to introduce in addition a classical heating system (i.e. electrical) for heating a climatized room. In the paper we have analized the conditions for this process. We consider that the solar energy collection by an accumulator with the support of stone may be successfully used in the isolated mountain houses (for heating, but also for the agricultural products drying rooms), as well as in the tourist's campings and in the isolated gas stations.

Key words: *Solar energy, solar collectors, accumulator with the support of stone, climatized room*