

SISTEMI KORIŠĆENJA ENERGIJE SUNČEVOG ZRAČENJA

Velimir Šćekić¹, Saša Pušica², Sanja Marković¹
smajsoft@yahoo.com

¹ *Fakultet za Industrijski Menadžment, Majke Jugovića 4, 37000 Kruševac, Srbija*

² *Agencija Smaj Business, Crnovrških brigada 6/1, 19210 Bor, Srbija,*

Izvod

Energija je danas jedna od najvažnijih komponenti razvoja i funkcionisanja privrede i društva uopšte. Razvoj civilizacije "doneo" je nove izvore energije - fosilna goriva ali i druge izvore energije poput vode i vetra koji su se koristili za pogon vetrenjača, vodenica i plovila. Mnoge države započinju racionalizaciju u sferi potrošnje energije, istovremeno sve više primenjujući alternativne izvore energije (sunčevog zračenja, vetra itd.) nebi li umanjile svoju energetska zavisnost. U skladu sa time, ovaj rad daje pregled sistema korišćenja energije sunčevog zračenja kao jedan od vidova racionalizacije potrošnje energije.

Ključne riječi: *Energija, zračenje, grejanje.*

1. UVOD

Energetika ima ključni geopolitički značaj, pri čemu dominantan doprinos ovakvom stanju stvaraju klimatske promene i sigurnost snabdevanja energentima, uzimajući u obzir pre svega činjenicu, da su rezerve nafte i prirodnog gasa ograničene i koncentrisane u malom broju država. Borbe oko pristupa energetske izvorima, tokom istorije često su dovodile do energetske krize, koje su prouzrokovale poremećaje u snabdevanju energijom na tržištu, a njihovo produbljivanje često i do brojnih sukoba uključujući i ratove.

Sa industrijskom revolucijom i pronalaskom: parne mašine, motora sa unutrašnjim sagorevanjem, a kasnije i električne energije, dolazi do nagle ekspanzije korišćenja fosilnih goriva. Potrošnja svih oblika energije (uključujući i nuklearnu) se intenzivira nakon II svetskog rata, što se odrazilo na povećanje cene nafte i njenih derivata koje su prema ostalim gorivima tokom predhodnog perioda bile veoma niske. Verovalo se da je reč o čistom i neiscrpnom izvoru energije, tako da se nafta, uostalom kao i svi drugi oblici fosilnih goriva, nekontrolisano koristila. Trend intenzivne potrošnje fosilnih goriva se zadržao sve do energetske krize 1973 god., kada je izbio i treći izraelsko-arapski rat, tokom kojeg zemlje Srednjeg istoka koriste naftu "kao oružje" protiv industrijski razvijenih država Zapada (koje su direktno i indirektno pomagale Izrael). Cena sirove nafte je znatno povećana, a nekim državama (npr. Holandiji) nafta uopšte

nije bila isporučivana, što je dovelo do poremećaja u snabdevanju energijom. Tokom naftne krize, mnoge države počinju istraživati sopstvene izvore sirove nafte, započinju racionalizaciju u sferi potrošnje energije, istovremeno sve više primenjujući alternativne izvore energije vetra, sunčevog zračenja sa ciljem smanjenja energetske zavisnosti.

2. PODELA SISTEMA ZA KORIŠĆENJE ENERGIJE SUNČEVOG ZRAČENJA

Sistemi za korišćenje energije sunčevog zračenja mogu se klasifikovati na:

- prijemnike sunčeve energije (PSE)
- solarne energetske sisteme

Solarni energetske sistemi predstavljaju zaokružene instalacije za definisani vid korišćenja solarne energije [1]. Toplotna konverzija sunčevog zračenja vrši se u:

- pasivnim i
- aktivnim solarnim sistemima

Aktivnim solarnim sistemima pripadaju: ravni, fokusirajući i termoelektrični kolektori, a pasivnim solarnim sistemima: solarne kuće, staklenici, itd. Osnovna prednost pasivnih sistema grejanja u odnosu na aktivne leži u neposrednijem prenosu toplote dobijene zračenjem Sunca prostoru koji se greje, što se postiže integracijom dela grejanog objekta i prijemnika sunčeve energije. U tabeli 1 je data podela PSE na osnovu pokretljivosti panela.

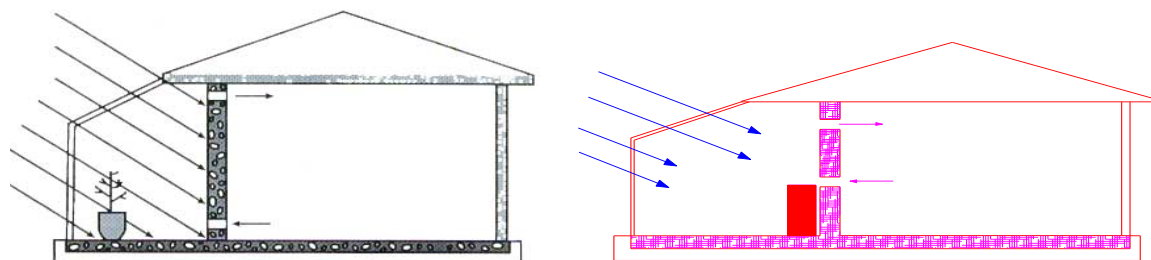
Tabela 1. Podela PSE na osnovu pokretljivosti panela [2]

Pokretljivost	Tip kolektora	Koncentracioni odnos	Radne temperature
Sa nepokretnim panelom	Ravni niskotemperaturni kolektor	1	30-80
	Vakuumski vodeni kolektori	1	50-200
	Višedelni parabolični kolektor	5-15	60-300
sa pokretnim panelom oko jedne ose	Linerani Freshnel-ov reflektor	10-40	60-250
	Parabolični kolektor	10-85	60-400
sa pokretnim panelom oko jedne ose	Parabolični koncentrador	100-1500	600-2000
	Centralni prijemnik sa poljem heliostata	300-1500	150-2000

3. PASIVNI SISTEMI GREJANJA OBJEKATA SUNČEVOM ENERGIJOM

Pasivni sistemi grejanja objekata sunčevom energijom su poznati od prvih ljudskih naselja do danas. Grčki filozof Sokrat opisao je način orjentisanja objekata u skladu sa principima pasivnog grejanja: "U kućama koje gledaju prema jugu, zimi Sunce sija u tremove, a leti se kreće iznad nas i iznad krovova, te čini hladovinu. Prema tome, ako je lepo tako da bude, ne treba li južnu stranu kuće podizati više, da se ne odbije zimsko Sunce, a severnu stranu niže, da ne udaraju studeni vetrovi?" ("Uspomene o Sokratu" Ksenofont). Rimski senator Plinije Mlađi, je početkom nove ere, u jednoj od soba kuće u severnoj Italiji, na prozore postavio transparentne liskune kao termoizolatore [3].

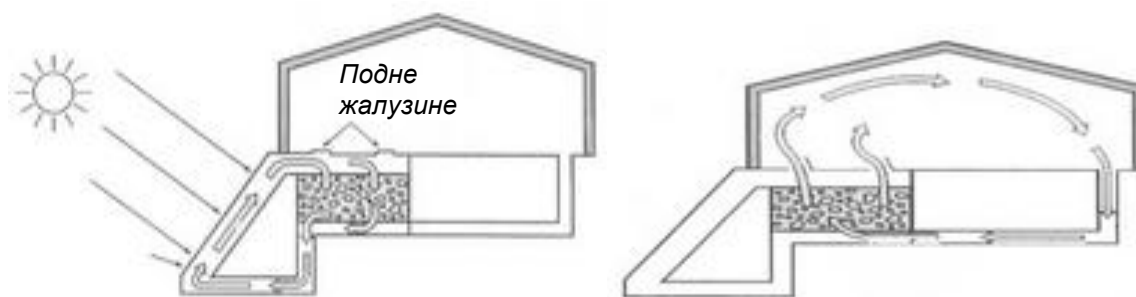
Danas, sa gledišta investicionih ulaganja, pasivni sistemi grejanja objekata sunčevom energijom predstavljaju najekonomičniji i najjednostavniji način grejanja objekata. Reč je o veoma jednostavnim sistemima (sam objekat predstavlja PSE) koji neposrednim prijemom sunčevog zračenja (južno orjentisanim površinama), obezbeđuju zagrevanje objekata: intenziviranjem ulaska sunčevih zraka u prostorije objekta (postavljanjem većih prozorskih površina na južnoj strani objekta), prilagođavanjem delova površina južnih fasada i krovova vršenju funkcije prijemnika sunčeve energije (bojenjem površina tamnom bojom i njihovim zastakljivanjem transparentnom pločom), pravilnim rasporedom prostorija u objektu (dnevna soba treba biti orjentisana prema južnoj strani) ili postavljanjem staklene bašte na zidove objekata koji su orjentisani prema jugu, slika 1.



Slika 1. Pasivno solarno grejanje sa staklenikom na južnoj strani objekta i akumulatorom toplote prislonjenim uz osunčani zid objekta [4]

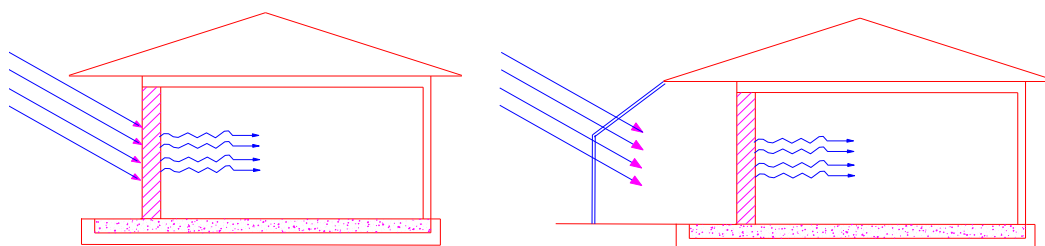
Prema načina prelaza toplote pasivni sistemi grejanja objekata sunčevom energijom mogu biti:

- sistemi sa neposrednim upadom sunčevih zraka u grejanu prostoriju objekta,
- sistemi kod kojih postoji cirkulacija vazduha iz kolektorskog prostora u grejani prostor objekta, slika 2.
- sistemi kod kojih ne postoji cirkulacija vazduha iz kolektorskog prostora u grejani prostor objekta, već se prostorija zagreva prolazom toplote kroz zid, slika 3.



Slika 2. Pasivno solarno grejanje prostora sa akumulatorom toplote ispod grejanog objekta [5]

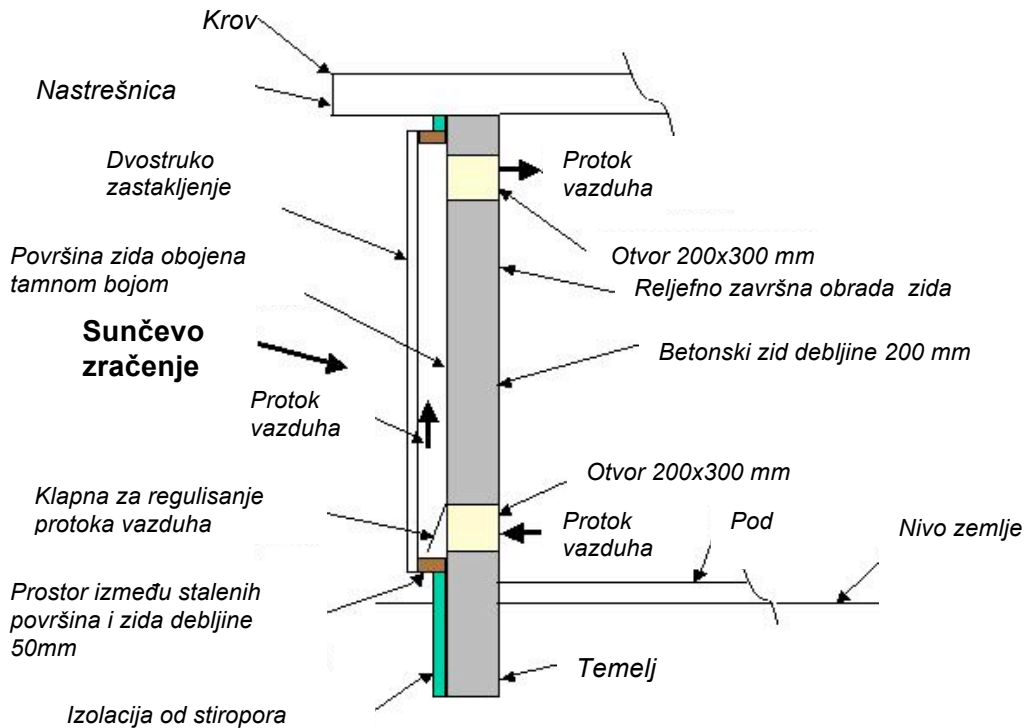
Postavljanjem velikih prozorskih površina na južne fasade objekta, intenzivira se upad sunčevih zraka u prostoriju, što obezbeđuje veću količinu svetlosti tokom dana, ali je tokom letnjih meseci (zbog višeg položaja Sunca na nebeskoj sferi), neophodno postavljanje nastrešnice ili zastora, kako bi se sprečilo termičko opterećenje prostorije. Zastorima se sprečava prijem neželjenog kratkotalasnog zračenja leti, dok se noću sprečava gubitak dugotalasnog zračenja. Efikasan način prijema energije sunčevog zračenja se u praksi ostvaruje tamno obojenim i zastakljenim Trombeovim zidom (znatno masivniji od običnog zida). Trombeovim zidom se osim apsorbovanja toplote obezbeđuje i duže akumulisanje toplote.



Slika 3. Pasivni sistem bez cirkulacije vazduha iz kolektorskog prostora u prostor koji se greje

3.1 TROMBEOV ZID

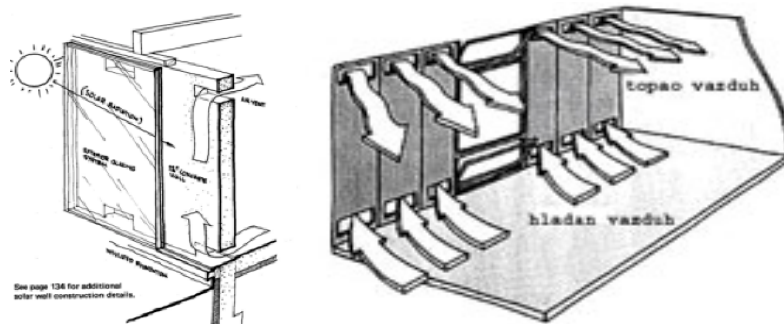
Ideju o korišćenju masivnog zida za apsorbovanje energije Sunca razvio je francuski inženjer Feliks Trombe, 1956 god. Iako je reč o relativno novoj tehnologiji, Trombeov zid je od prvobitne konstrukcije doživeo niz poboljšanja i modifikacija, slika 4. Trombeov zid je zid od građevinskog materijala velikog toplotnog kapaciteta (kamen, cigla, beton), najčešće obojen apsorbujućom tamnom ili mat crnom bojom, zastakljen sa jednim ili više staklenih površina na rastojanju od 20 do 100 mm, čime se stvara prostor tzv. "zarobljenog vazduha". Trombeov zid apsorbuje toplotu na strani orjentisanoj prema Suncu, što dovodi do postepenog povećanja temperature zida, koja rezultira provođenjem toplote ka unutrašnjoj najčešće reljefno obrađenoj strani zida. Reljefno obrađenom površinom unutrašnjeg zida se intenzivira razmena toplote, kondukcijom i zračenjem prema vazduhu u unutrašnjosti prostorije.



Slika 4. Modifikovan Trombeov zid

Savremen Trombeov zid predstavlja istovremeno PSE, akumulator toplote i grejno telo. Direktni prodor sunčevog zračenja u prostoriju se podstiče postavljanjem prozora na južnoj strani zida, a strujanje vazduha u zagrevanoj prostoriji se obezbeđuje otvorima koji su postavljeni na dnu i vrhu prostorije, celom dužinom zida, slika 5. Postavljanjem ventilatora u jedan od otvora intenzivira se strujanje vazduha. U toku letnjih meseci, termičko opterećenje prostorije se sprečava hlađenjem Trombeovog zida - postavljanjem zastora, nastrešnice ili postavljanjem spoljašnjih klapni.

Lepljenjem selektivnih površina (specijalne metalne folije) na prijemnu površinu Trombeovog zida, se smanjuje količina reflektovanog infracrvenog zračenja, a samim tim i toplotni gubici tokom noći. Selektivna površina naime, apsorbira skoro celokupnu količinu zračenja iz vidljivog spektra i emituje veoma male količine infracrvenog zračenja. Količina apsorbovane toplote zavisi od debljine zida (deblji zid akumulira više toplote).



Slika 5. Trombeov zid sa otvorima pri dnu i vrhu zida

Debljina zida δ se određuje prema [6]:

$$\delta = \frac{m'}{\rho} \quad (1)$$

gde je : $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ - specifična gustina materijala zida,

$m' [kg]$ - masa zida

Masa zida se određuje na osnovu količine sunčeve energije koja prolazi kroz jednostruko ili dvostruko zastakljenje. Na porast temperature zida utiče količina apsorbirane energije (toplote)

Q_z prema $\Delta T = \frac{Q_z}{mc}$ (gde je : c - specifični toplotni kapacitet materijala zida).

Kod nekih proračuna uzima se u obzira da je oko 2/3 energije nije predato okolini, tj. ostalo je akumulirano u zidu.

$$m' = \frac{2I_s}{3c\Delta T} \quad (2)$$

odnosno $m' = \frac{m}{A}$

gde je: $I_s \left[\frac{J}{m^2} \right]$ - dozračena količina energije po $1 m^2$,

$m [kg]$ - ukupna masa zida,

$A [m^2]$ - ukupna prijemna površina zida

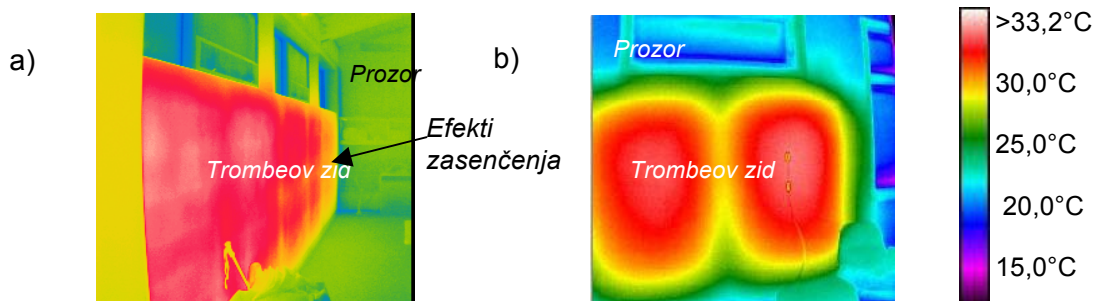
Toplota sa prijemne površine zida od 20 cm do unutrašnje površine zida (i obrnuto) dospeva za 8-10 časova (tabela 2.).

Tabela 2. Temperaturni otklon i čas temperaturnog maksimuma za masivne betonske zidove raznih debljina

Debljina zida [cm]	Temperaturni otklon ΔT [K]	Čas temperaturnog maksimuma t [h]
20	8	18
30	4	20
40	2	22.30
50	1	0.30
60	0,4	4.30

To znači da se prostorija postepeno zagreva, čak i više časova nakon zalaska Sunca, što u velikoj meri smanjuje potrebu za konvencionalnim grejanjem. Kako bi se obezbedilo nesmetano zračenje zida u prostoriju, neophodno je ukloniti prepreke u vidu nameštaja sa unutrašnje strane Trombeovog zida, jer u suprotnom, efikasnost može biti smanjenja čak za 40%. Tokom grejne

sezona 2001.-2002. god. ispitivane su vrednosti temperaturnog gradijenta u zgradama Nacionalnog parka Zion (Juta, SAD) i laboratorije OIE (Kolorado, SAD), gde Trombeov zid pokriva 34% ukupne površine južno orjentisanog zida. Na slici 6 je prikazan snimak Trombeovog zida infracrvenom kamerom, na obe lokacije. Maksimalne vrednosti temperatura u zidu 32-36°C se postižu u vremenskom intervalu od 20:00 - 21:00 [7]. Na slici 6 prikazano je smanjenje temperature Trombeovog zida usled zasenčenja zgrade u posle podnevnim časovima.



Slika 6. Snimak Trombeovog zida infracrvenom kamerom a) zid zgrade Nacionalnog parka Zion, Juta, Sad, 16.12.2000.god. u 20:30; b) zid zgrade laboratorije OIE -za istraživanje energije vetra u Koloradu 21.01.2002.u 20:00. [7]

Slabe kondukcione karakteristike zidova, kao i činjenica da ujutru nakon izlaska Sunca, treba da prođe izvestan vremenski period do zagrevanja zida (do temperature veće od temperature vazduha u prostoriji) su glavni nedostaci ovog vida grejanja sunčevom energijom.

4. AKTIVNI SISTEMI KORIŠĆENJA ENERGIJE SUNČEVOG ZRAČENJA

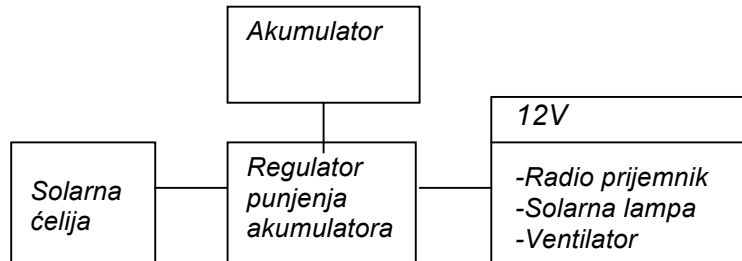
Aktivni solarni energetske sistemi se koriste za: pripremu tople (sanitarne i tehnološke) vode, zagrevanje i hlađenje prostora, proizvodnju električne energije, desalinizaciju vode, procese sušenja poljoprivrednih i industrijskih proizvoda, kao i u ostalim tehnološkim procesima (pasterizacije, sterilizacije). Obavezan deo solarnog sistema predstavlja PSE, a ostali delovi zavise od namene aktivnog solarnog sistema i vrste radnog fluida kao nosioca toplote, pa postoje:

- solarni sistemi sa tečnošću kao nosiocem toplote i
- solarni sistemi sa vazduhom kao nosiocem toplote.

Osim PSE, sastavni delovi aktivnih sistema sa tečnošću kao nosiocem toplote su: bojler, razmenjivači toplote, diferencijalni termostati sa temperaturnim senzorima, ekspanzion posuda (zatvorenog ili otvorenog tipa), cirkulaciona pumpa, sistem cevi i jedinica za praćenje i kontrolu sistema. Sastavni delovi sistema sa vazduhom kao nosiocem toplote su: takođe PSE, bojler, razmenjivači toplote, diferencijalni termostati sa temperaturnim senzorima, cevovodi sa termičkom izolacijom, cirkulacione pumpe ili ventilatori i dr.

Ukoliko je prijemnik solarnog sistema FN ćelija, reč je o **FN sistemima za proizvodnju (i akumulaciju) električne energije**, pomoću koga se vrši snabdevanje potrošača jednosmernom i naizmeničnom strujom.

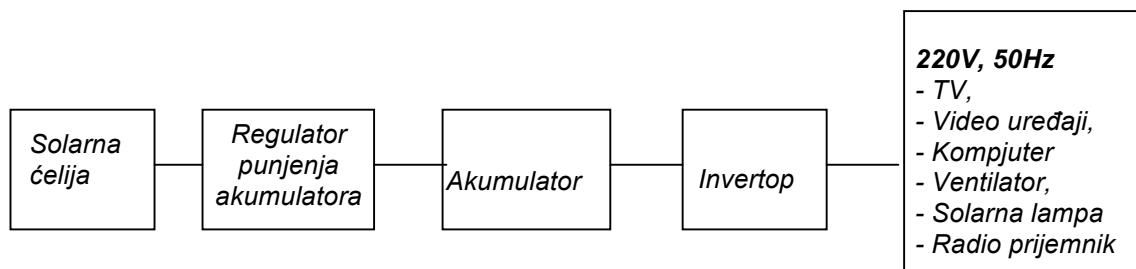
Fotonaponski sistem za snabdevanje potrošača električnom strujom sastoji se od FN ćelija, regulatora punjenja akumulatora, invertora i akumulatora. Koje od komponenti FN sistema će biti korišćene zavisi od potrebe potrošača za snabdevanjem jednosmernom strujom, slika 7 ili naizmjeničnom, slika 8.



Slika 7. Fotonaponski sistem za snabdevanje potrošača jednosmernom strujom [5]

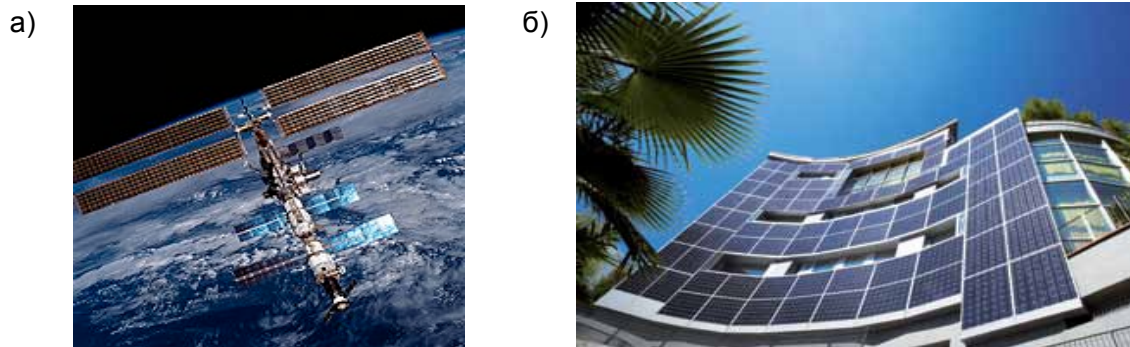
Prema načinu ugradnje solarni fotonaponski sistemi mogu biti:

- samostalni (autonomni) – izdvojeni od objekta,
- integrisani u objekat- kao deo solarne arhitekture,
- kao sistemi za naknadnu ugradnju u objekat



Slika 8. Fotonaponski sistem za snabdevanje potrošača naizmjeničnom strujom [5]

Samostalni fotonaponski sistemi nisu povezani na elektro - distributivnu mrežu, upotrebljavaju se samostalno, i najčešće se koriste u udaljenim oblastima za napajanje: ruralnih objekata, signalizacije, svetonika, istraživačkih platformi na moru, ali i telekomunikacione opreme ili npr.svemirskih stanica, slika 9a. Mogu da proizvode od električnu energiju u rasponu od nekoliko μW do MW.



Slika 9. Fotonaponski sistemi: a) FN ćelije napajaju Međunarodnu svemirsku stanicu električnom energijom b) FN ćelije kao deo solarne arhitekture

Solarna arhitektura podrazumeva integraciju fotonaponskih ćelija u deo fasade zgrade, slika 9b, a sistemi za ugradnju se postavljaju na željeno mesto nakon izgradnje objekta.

Prema načinu skaladištenja energije FN sistemi se dele na:

- direktne, samostalne solarne FN sisteme (*off-grid sistemi*) - koji se koriste tamo gde ne postoji mogućnost snabdevanja električnom energijom iz sistema za proizvodnju i distribuciju. Ovi sistemi ne akumuliraju proizvedenu energiju, već je odmah troše,
- baterijske samostalne sisteme - akumuliraju višak proizvedene električne energije u akumulatore, koji kasnije, po potrebi troše,
- umrežene FN sisteme (*on-grid sistemi*) - koji su povezani i sinhronizovani sa javnim sistemom za proizvodnju i distribuciju električne energije

Prema veličini fotonaponske sisteme možemo podeliti na [8]:

- solarne aplikacije
- energetske fotonaponske sisteme i
- FN solarne elektrane

Solarne aplikacije su mali proizvođači i potrošači električne energije (npr. svetiljke, kalkulatori, solarni ventilatori).

Energetski fotonaponski sistemi proizvode električnu energiju za potrebe izdvojenih većih stambenih objekata ili potrošača. Tokom 2007. god. u zemljama u razvoju više od 2,5 miliona domaćinstava je koristilo električnu energiju proizvedenu na ovaj način [8].

U FN solarnim elektranama se vrši konverzija sunčeve energije u električnu energiju. Utabeli 3. je dat pregled najvećih realizovanih FN solarnih elektrana u svetu. Trenutno najveća solarna elektrana na svetu je *Olmedilla de Alarcón* u Španiji (prikazana na sl. 10.).

Tabela 3. Najveće realizovane FN solarne elektrane u svetu (april 2010. godine) (izvor: PV Resources)

	Snaga [MW_p]	Lokacija	Opis	Realiz.	Proizvodnja [GWh]
1.	60	Španija, Olmedilla (Castilla-La Mancha)	Parque Fotovoltaico Olmedilla de Alarcón	2008	85
2.	54	Nemačka, Straßkirchen	Solarpark Straßkirchen	2009	57
3.	53	Nemačka, Turnow-Preilack	Solarpark Lieberose	2009	
4.	50	Španija, Puertollano* (Castila-La Mancha)	Puertollano	2008	
5.	46	Portugal, Moura **	Moura photovoltaic power plant	2008	
6.	45	Nemačka, Köthen	Solarpark Köthen	2010	
7.	42	Nemačka, Finsterwalde	Solarpark Finsterwalde	2009	
8.	40	Nemačka, Brandis***	Solarpark Waldpolenz	2007- 2008	
9.	34,5	Španija, Trujillo	Planta Solar La Magascona & La Magasquila	2008	
10.	34	Španija, Arnedo	Planta Solar Arnedo	2008	

* Planirano je povećanje snage elektrane na 70 MW

** Planirano je povećanje snage elektrane na 62 MW

*** Najveća FN solarna elektrana sa FN ćelijama nanosenim u vidu tankog filma (CdTe) [9]



Slika 10. Najveća realizovana FN solarna elektrana na svetu - Olmedilla de Alarcón u Huerta Solar Citruenigo u Španiji (izvor: Acciona Energia)

5. ZAKLJUČAK

Živimo u svetu energije i sve što nas okružuje zasnovano je na korišćenju energije. Energija se danas u velikom procentu dobijaju iz neobnovljivih izvora energije (nafta, uglja, gasa i dr.) kojih je sve manje tako da je u svetu neophodna globalna racionalizacija potrošnje energije. Obnovljivi

izvori energije predstavljaju neiscrpan prirodan vid energije koja se nalazi svuda oko nas. Jedna od njih je sunčeva (solarna) energija i ovim radom dat je pregled mogućnosti praktičnog korišćenja energije sunčevog zračenja u cilju racionalizacije potrošnje energije.

LITERATURA

- [1] T. Lipman, J. Edwards, D. Kammen, D., Fuel cell system economics: comparing the costs of generating power with stationary and motor vehicle PEM fuel cell, Elsevier (2004)pp.101-125, <http://www.its.ucdavis.edu/publications/2004/UCD-ITS-RP-04-21.pdf>
- [2] S.A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, 1-st edition, Elsevier Inc., London, 2009.
- [3] J. Randolph, G. Masters, Energy for Sustainability, Technology, Planning, Policy, Island Press, Washington, 2008.
- [4] N. Harris, C. Miller, Solar Energy Systems Design, John Wiley, New York, 1985.
- [5] M. Pagliaro, G. Palmisano, R. Ciriminna, Flexible Solar Cells, Willey-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 2008.
- [6] M. Lambić, D. Stojićević, Solarna tehnika, Srbija Solar, Zrenjanin, 2004.
- [7] M. Tešić, S. Igić, D. Adamović, Proizvodnja energije – novi zadatak i izvor prihoda za poljoprivredu, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol.32, Novi Sad, (2006)No.1-2.
- [8] Official Journal of the European Union, DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC , L140/16 (2009)str.0016-0062.
- [9] N. Harris, C. Miller, Solar Energy Systems Design, John Wiley, New York, 1985.

SYSTEMS USING ENERGY SOLAR RADIATION

Velimir Šćekić¹, Saša Pušica², Sanja Marković¹
smajsoft@yahoo.com

¹ *Fakultet za Industrijski Menadžment, Majke Jugovića 4, 37000 Kruševac, Srbija*

² *Agencija Smaj Business, Crnovrških brigada 6/1, 19210 Bor, Srbija,*

Abstract

Energy is now one of the most important components of development and functioning of the economy and society in general. The development of civilization use different energy sources – fossil fuels and other energy sources like wind and water that are used to drive windmills, water mills and boats. Many countries begin the rationalization of energy consumption in the field, while applying more and more alternative energy sources (solar radiation, wind, etc.) would reduce its energy dependence. In line with this, this paper provides an overview of the system energy use sunlight as an aspect of rationalization of energy consumption.

Key words: *Energy, Heating, Radiation.*