

ENERGETSKI POTENCIJAL SUNCA U ZEMLJAMA BALKANSKOG REGIONA

Branko Radičević¹, Dušan Mikičić²

SAŽETAK:

Na osnovu meteoroloških podataka, kao i izvršenih dodatnih mnogobrojnih merenja u radu je procenjen energetska potencijal Sunca u Balkanskom regionu, sa posebnim osvrtom na Srbiju i Crnu Goru. Rad je deo aktivnosti autora tokom izrade naučno-istraživačkog projekta *Atlas energetskeg potencijala Sunca i vetra u Srbiji*. Većina zemalja Balkanskog regiona ima ekonomske i ekološke probleme zbog uvoza energije (ugalj, nafta, gas), koja je sve skuplja i ugrožava vazduh, vodu i zemljište. Zemlje u Balkanskom regionu su dobro osunčane i moraće svoje energetske potrebe u budućnosti sve više da zadovoljavaju Sunčevom energijom.

Ključne reči: *energetski potencijal Sunca, atlas osunčanosti, električna energija, ekologija*

1. UVOD

Ekonomski i ekološki problemi nas svakim danom sve više prisiljavaju da se okrenemo Suncu kao najvećem energetskeg izvoru u prirodi. Zemlje Balkanskog regiona su uglavnom dobro osunčane i moraće deo svojih energetskeg potreba u sve većoj meri da zadovolje Sunčevom energijom koje imaju u dovoljnim količinama, [2]. Za tu situaciju se treba u narednom periodu (10-20 godina) pripremiti upoznavanjem, kako sa karakteristikama Sunca kao izvora energije tako i sa uređajima za konverziju njegove energije u električnu, mehaničku, toplotnu ili neku drugu vrstu energije koja nam nedostaje.

Sunce je energetskeg izvor sa najvećim energetskeg potencijalom – rezervoarom toplotne i svetlosne energije. Snaga Sunčevog zračenja je:

¹ Mr Branko M. Radičević, dipl. inž. el., Poljoprivredni fakultet, Katedra za tehničke nauke, Nemanjina 6, 11081 Beograd – Zemun, branko@agrif.bg.ac.rs

² Prof. dr Dušan Mikičić, Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

$$P(S) = L = 3,83 \times 10^{26} \text{ W} = 3,83 \times 10^{14} \text{ TW} \quad (1)$$

i ovu snagu će imati bar još 5×10^9 godina, [3]. Sunce oslobodi godišnje u okolni prostor toplotu i svetlost u iznosu od:

$$E_N(S/\text{god}) = 3,36 \times 10^{30} \text{ Wh/god} = 3,36 \times 10^{18} \text{ TWh/god.} \quad (2)$$

Prema našoj planeti Zemlji je usmereno samo $0,5 \times 10^{-9} P(S)$, tako da je Zemljina atmosfera osvetljena snagom:

$$P(S \rightarrow A, Z) = 1,74 \times 10^{17} \text{ W} = 1,74 \times 10^5 \text{ TW} \quad (3)$$

Oko 35% ove energije se reflektuje od atmosfere nazad u svemirski prostor. Atmosfera apsorbuje oko 18%, a preostalih 47% apsorbuje Zemljina površina (kopno i more). Energija koju apsorbuju Zemlja i njena atmosfera predstavlja energetski izvor koji održava konstantnu temperaturu Zemljine površine na oko 15° C , održava ciklus kruženja vode (kiša i ostale padavine), održava vazдушna i vodena strujanja i omogućava sve biološke procese na Zemlji, [1].

Intenzitet Sunčevog zračenja opada sa kvadratom rastojanja od Sunca i vrednost solarnog fluksa koji stiže do gornje granice Zemljine atmosfere iznosi približno $S = 1370 \text{ W/m}^2$ i naziva se solarna konstanta. Ova snaga se zbog Zemljine rotacije raspodeljuje po celoj njenoj površini koja iznosi $510 \times 10^6 \text{ km}^2$. Zbog loptastog oblika Zemlje i zbog činjenice da je u svakom trenutku samo polovina Zemljine površine usmerena ka Suncu (pri čemu raspodela Sunčeve energije zavisi od geografske širine, godišnjeg doba, doba dana, orografskih uslova i oblačnosti) prosečna vrednost Sunčevog fluksa u gornjim slojevima atmosfere iznosi oko 342 W/m^2 . Pri prolazu kroz Zemljinu atmosferu intenzitet Sunčevih zraka slabi usled apsorpcije i raspršivanja elektromagnetnih talasa na molekulama vazduha i drugim česticama u atmosferi, pa je zbog toga direktno Sunčevo zračenje veoma oslabljeno. Pri čistoj atmosferi i vedrom danu, kada je Sunce u zenitu, do površine Zemlje dozrači se u vidu direktnog zračenja oko $2/3$ snage koja je dostigla spoljnu granicu atmosfere, odnosno u optimalnim uslovima oko 1000 W/m^2 . Prosečna vrednost Sunčevog fluksa koji se dozrači do same površine Zemlje je 230 W/m^2 , [8].

Zemlja i njena atmosfera prihvataju od Sunca godišnje:

$$E(S \rightarrow A, Z) = 10^{21} \text{ Wh/god} = 10^{18} \text{ kWh/god.} \quad (4)$$

Približno ista količina energije se u toku noći emituje (vrati) u svemir u obliku IC zračenja. Na taj način se održava termodinamička ravnoteža sa približno konstantnom temperaturom na površini Zemlje (oko 15° C).

2. GLOBALNI ENERGETSKI BILANS

Oko 50% energije koju Zemlja i njena atmosfera dobiju od Sunca je toplotna energija mora i kopna, 25% je energija vodenog ciklusa, ostalo otpada na vetar, morske struje, proizvodnju hrane i dr. Energija Sunca (izraz 4) zadovoljava više od 99,9% naših energetskih potreba (tj. omogućava kompletan život na Zemlji), i besplatna je. Osim ove energije čovek koristi još i fosilna goriva, nuklearno gorivo i geotermalnu energiju. Ukupna potrošnja u svetu u 2008. godini bila je:

$$E (fg, ng, gt) \approx 10^{17} \text{ Wh/god.} \quad (5)$$

Uporedimo sada energije date izrazima (4) i (5):

$$E (S \rightarrow A, Z) \approx 10000 E (fg, ng, gt) \quad (6)$$

Dakle, energija koju Zemlja i njena atmosfera dobijaju od Sunca za jednu godinu je 10000 puta veća od energije dobijene sagorevanjem fosilnih goriva (fg), nuklearnim procesima (ng) i iz geotermalnih izvora (gt) zajedno. To znači da od energije Sunca (4), koju je prihvatila Zemlja zajedno sa atmosferom, treba uzeti privremeno samo 0,1 promil i konvertovati je u električnu ili neku drugu energiju. Tako bismo zamenili energiju datu izrazom (5), uz povoljne ekološke efekte. Ova energija se nakon nekoliko sati ili dana ponovo vraća u toplotu i ne remeti energetski bilans Zemlje. Ovo je moguće izvesti tehnički i ekonomski, što pokazuju iskustva većine zemalja koje intenzivno koriste energiju Sunca. Snaga Sunčevog zračenja na površini Zemlje zavisi od više faktora, između ostalog od: geografske širine, oblačnosti, godišnjeg doba, doba dana i dr. Kada se uzmu u obzir svi ovi faktori, realna slika prosečne godišnje snage (W/m^2) na površini Zemlje je prikazana na slici 1. Odgovarajuća godišnja energija Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini Zemlje (kWh/m^2) data je na slici 2.

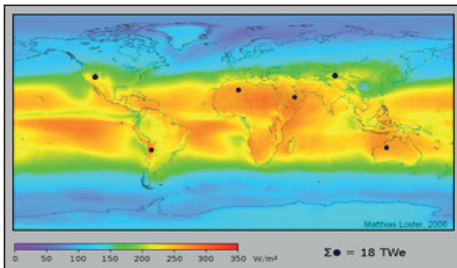
Crne tačke na slici 1 predstavljaju približnu veličinu horizontalne površine solarnih fotonaponskih modula (PV), ukupne instalisane električne snage oko 18 TWp, koji bi bili potrebni za godišnju proizvodnju celokupne svetske električne energije (prosek za period 2000-2008. godina oko 16000 TWh). Današnji moderni PV (fotonaponski) moduli na dobrim lokacijama mogu proizvesti bar 160 kWh/m^2 god. električne energije, [4] [5]. To su lokacije blizu ekvatora, gde je prosečna snaga Sunčeve radijacije 250 W/m^2 ili više (oko 2200 kWh/m^2 god.). Za godišnju proizvodnju od 16000 TWh električne energije potrebna površina PV modula je:

$$A (PV) = (16000 \text{ TWh/god.}) / (160 \text{ kWh/m}^2 \text{ god.}) = 10^{11} \text{ m}^2 \quad (7)$$

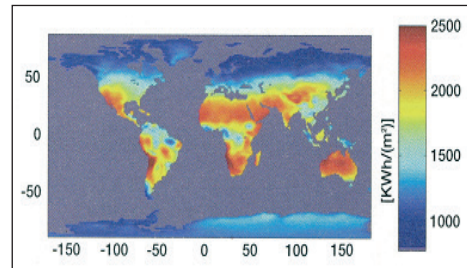
To je površina od 100000 km² (oko 0,2 promila površine Zemlje), odnosno površina kvadrata stranice 316 km, ili kruga prečnika 357 km. Na slici 1 je to prikazano kao šest krugova, prečnika po 146 km. Instalirana snaga svih modula bila bi:

$$P_p = 10 P_{sr} = 10 (16000 \text{ TWh}/8760 \text{ h}) \approx 18 \text{ TWp} \quad (8)$$

Cena ovako grandioznog projekta iznosila bi: $C_l = 2000 \text{ €} / \text{kWp}$, odnosno ukupno za 18 TWp = $18 \times 10^9 \text{ kWp}$, $C = 36 \cdot 10^3 \cdot 10^9 \text{ €}$.



Slika 1. Srednja snaga Sunčevog zračenja za različite geografske širine u W/m²



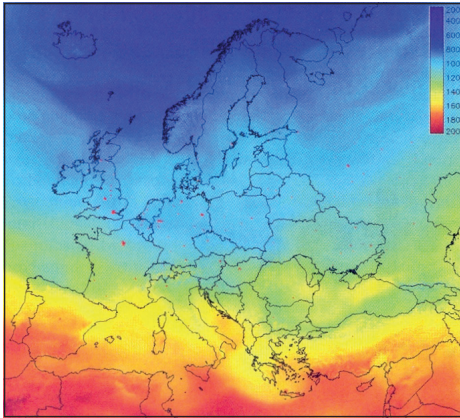
Slika 2. Atlas godišnje energije Sunčevog zračenja za različite geografske širine na Zemlji u kWh/(m² god.)

3. ENERGETSKI POTENCIJAL SUNČEVOG ZRAČENJA U SVETU I EVROPI

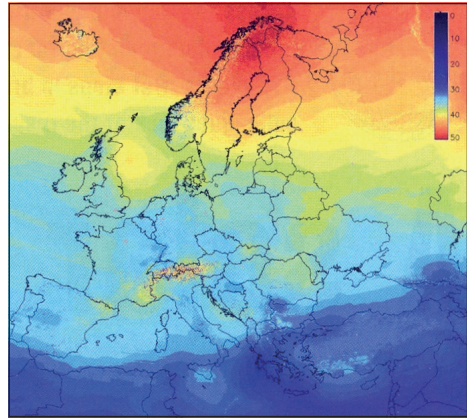
Solarna energija pretvorena u električnu energiju pomoću fotonaponskih (PV) modula pokriva tek mali deo od 1% potrošnje električne energije u svetu. Realno se očekuje da će ovaj procenat do 2020. godine porasti na više od 5%. Španija, Nemačka, Japan i USA su svetski lideri u ovom sektoru. Početkom 2009. godine od Sunca npr. Nemačka proizvodi dovoljno struje da podmiri potrebe domaćinstva jednog grada od oko 650000 stanovnika.

Ako se uzmu u obzir svi geografski i meteorološki faktori, navedeni ranije, onda je realna slika dozračene Sunčeve energije za evropske zemlje prikazana na slikama 3 i 4. Slika 3 pokazuje količinu energije Sunčevog zračenja (kWh/m² god.) na horizontalnoj površini u regionu Evrope. Sa slike 3 se vidi da Srbiji odgovara vrednost oko 1450 kWh/m² god., a Crnoj Gori oko 1550 kWh/m² god. Takođe se može uočiti da ukoliko su solarni sistemi postavljeni na pogodnim lokacijama (kao što su lokacije u Španiji, Malti, na jugu Italije i Turske itd.), mogu proizvesti dvostruko više električne energije nego u zemljama na severu Evrope (Škotska, Skandinavske zemlje, Rusija itd.).

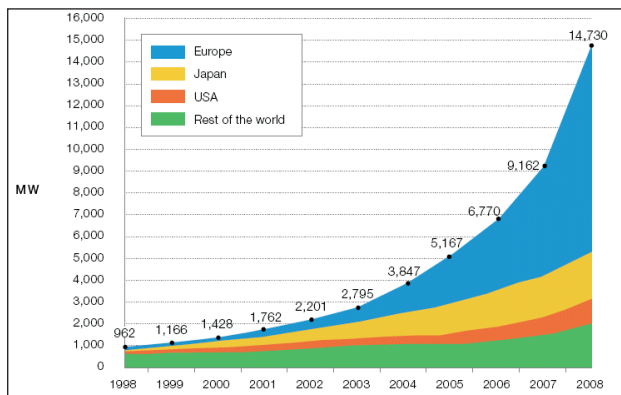
Na slici 4 prikazan je optimalni ugao kolektora ili fotonaponskog modula prema horizontu (ugao inklinacije) za prihvatanje maksimalne energije Sunčevog zračenja. Geografskom položaju Srbije odgovara ugao inklinacije od oko 35°.



Slika 3. Količina energije Sunčevog zračenja (kWh/m^2 god.) na horizontalnoj površini u regionu Evrope



Slika 4. Optimalni ugao kolektora ili fotonaponskog modula prema horizontu (ugao inklinacije), za prihvatanje maksimalne energije Sunčevog zračenja



Slika 5. Porast ukupne instalisane snage PV modula po regionima u svetu

Kada se Srbija i Crna Gora uporede sa ostalim zemljama Evrope, na osnovu slike 3, može se uočiti da su prilično bogate energijom Sunca. Primera radi, Nemačka ima prosečno samo $1050 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje, što je 38% manje nego Srbija. U Evropi su Grčka, Turska, Italija, Španija (južna Evropa) bogate energijom Sunca, sa više od $1600 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje. Zato su ove zemlje instalirale veliki broj solarnih kolektora za pripremu tople vode. Ovi uređaji se isplate za (5 do 9) godina u turističkim mestima južne Evrope, gde je potrošnja tople vode (oko 40°C) velika u letnjim mesecima (više od 60 l po stanovniku na dan), [6]. Čak i Nemačka,

sa 1050 kWh/m² godišnje, ima veliki broj firmi koje proizvode solarne kolektore i PV module. Osim toga, Nemačka je pokazala da i na njenoj geografskoj širini moderni kolektori mogu izvući (500 do 600) kWh/m² toplotne energije godišnje. Fotonaponski moduli su manje efikasni, sa godišnjom produkcijom u Nemačkoj od oko 120 kWh/m². I pored toga, Nemačka je druga zemlja u svetu sa 1500 MW instaliranih PV modula (stanje iz 2008. godine), sa nepoznatim rokom isplativosti. Početkom 2009. godine u svetu je bilo ukupno instalirano oko 14,8 GW u PV modulima (slika 5) – u evropskim zemljama oko 81%. Španija je prva zemlja u svetu kada je u pitanju instalirana snaga PV modula (oko 2510 MW). Slede USA (342 MW), Južna Koreja (274 MW), Italija (258 MW), Japan (230 MW) itd.

Zemlje EU generalno posvećuju veliku pažnju obnovljivoj (Sunčevoj) energiji. Samo Nemačka ulaže godišnje oko 5 milijardi evra u cilju što brže primene energije Sunca. Na brojnim kongresima i sajmovima prikazuju se praktični primeri solarnih kolektora, PV modula, vetrogeneratora, peći i motora koji koriste čvrstu i tečnu biomasu, kao i drugi uređaji za korišćenje energije Sunca. Iskustva Nemačke, Austrije, Španije i drugih zemalja mogu nam koristiti u razvoju strategije korišćenja energije Sunca, uzimajući u obzir da je osunčanost Srbije, Crne Gore i drugih zemlja u Balkanskom regionu jako dobra (slike 3, 4).

4. ENERGETSKI POTENCIJAL SUNCA U ZEMLJAMA BALKANA

U Srbiji i Crnoj Gori solarna energija se uglavnom koristi za stvaranje toplotne energije, gde je vrlo isplativa. Zato su solarni kolektori postali relativno popularni u domaćinstvima za grejanje vode. Korišćenje Sunčeve energije za dobijanje električne energije i upotreba fotonaponskih modula je simbolična, iako za to postoje svi uslovi. Npr. broj sunčanih dana u Srbiji je, prema podacima Ministarstva energetike Srbije, veći od 2000 h. To je veća vrednost nego u većini evropskih zemalja, ali je solarni potencijal sasvim neiskorišćen. Intenzivnije sveobuhvatno korišćenje solarne energije zavisice od razvoja i sprovođenja nacionalnog programa obnovljivih izvora energije.

Autori ovog rada već više godina analiziraju korišćenje energije Sunca u Evropi, Srbiji i okolnim zemljama Balkanskog regiona. Naše iskustvo nam daje slobodu da prikazemo jedan mogući scenario korišćenja Sunčeve energije u Srbiji, koja je smeštena u južnoj Evropi između (42° N – 46° N) geografske širine (slika 6).

Na slici 6 se vidi da je $P_{sr}(12 h) = 530 \text{ W/m}^2$, što znači da je $P_{sr}(24 h) = 265 \text{ W/m}^2$, na horizontalnoj površini tla, za tri letnja meseca. Na gornjoj granici atmosfere, na horizontalnu površinu iznad Srbije, godišnje stigne 2768 kWh/m² Sunčeve energije (tabela 1, kolona E₁). To znači da je prosečna snaga ekstraterestričnog zračenja Sunca iznad Srbije $S_2 = 0,316 \text{ kW/m}^2$. Površina Srbije je $A(Sr)$

= 88361 km², tako da je godišnji prinos Sunčeve energije za teritoriju Srbije i sloj atmosfere iznad nje:

$$E_1(Sr) = E_1 A(Sr) = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh/god.} \quad (9)$$

Ovu energiju delimično apsorbuje atmosfera, a ostatak preuzme kopno. Ona zadovoljava 99,9% naših energetskih potreba (toplota, vodeni ciklus, proizvodnja hrane, vetar i dr.). Mi želimo da procenimo koliko je od ove energije (izraz 9) dostupno čoveku u budućnosti kada nestanu fosilna goriva. Nakon prolaska kroz atmosferu energija (9) pada u smanjenom obimu na tle Srbije. Realni podaci o količini Sunčeve energije koja stigne do tla dati su u koloni E₃ tabele 1.

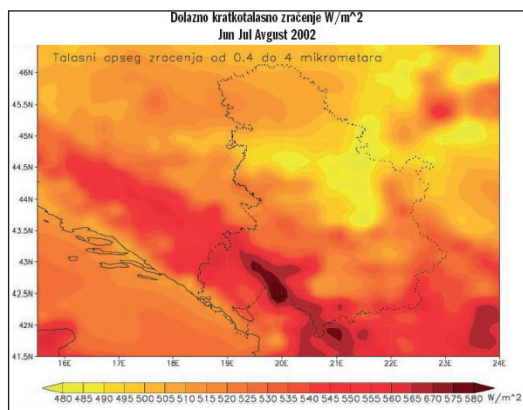
Na horizontalnu površinu Srbije godišnje stiže (1320 do 1600) kWh/m² Sunčeve energije, odnosno prosečno:

$$E_3 = 1460 \text{ kWh/(m}^2 \text{ god.)} = 4 \text{ kWh/(m}^2 \text{ dan)} \quad (10)$$

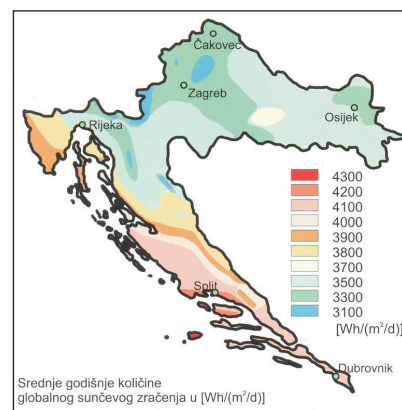
To znači da, nakon prolaska kroz atmosferu, na tle Srbije stiže ukupno:

$$E_3(hpSr) = E_3 \cdot A(Sr) = 1,3 \cdot 10^{14} \text{ kWh/god.} \quad (11)$$

Za buduće proračune i procene konverzije Sunčeve energije u električnu i toplotnu energiju biće merodavna vrednost data izrazom (10). U cilju kontrole podataka navedenih u literaturi, osim atlasa (slika 6) i tabele 1, prikazan je i atlas energetskog potencijala Sunca za Hrvatsku (slika 7), jer su Srbija i Hrvatska na približno istoj geografskoj širini, sa skoro jednakom Sunčevom radijacijom.



Slika 6. Atlas srednje 12-časovne snage Sunčevog zračenja za teritoriju Srbije za tri letnja meseca



Slika 7. Energetski potencijal Sunca za Hrvatsku (Čakovec – 46,3°N, Dubrovnik – 42,6°N)

Sa slike 7 se vidi da su srednje količine globalnog (zbir direktnog i difuznog) Sunčevog zračenja u Hrvatskoj između (3,1 – 4,3) kWh/(m² dan) = (1132 – 1570) kWh/(m² god.), odnosno prosečno 1351 kWh/(m² god.), [7]. Ovo je oko 8% manje nego za Srbiju (izraz 10).

Tabela 1. Energetski potencijal Sunca u Srbiji u kWh/(m² god.)

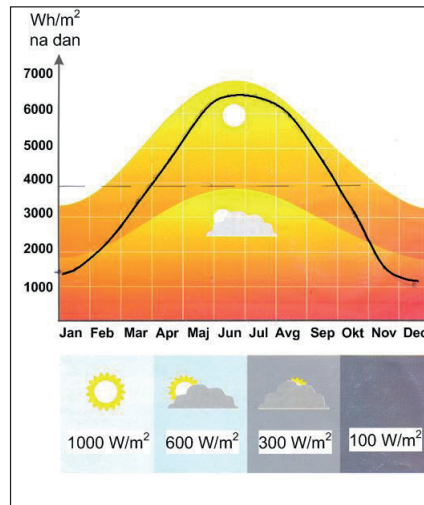
Geografska širina [°N]	Mesto	E_1	E_2	E_3
46	Subotica	2691	2350	1350
45	Vršac	2721	2373	1405
44	Kragujevac	2768	2430	1460
43	Leskovac	2791	2466	1515
42	Prizren	2860	2535	1570

gde je:

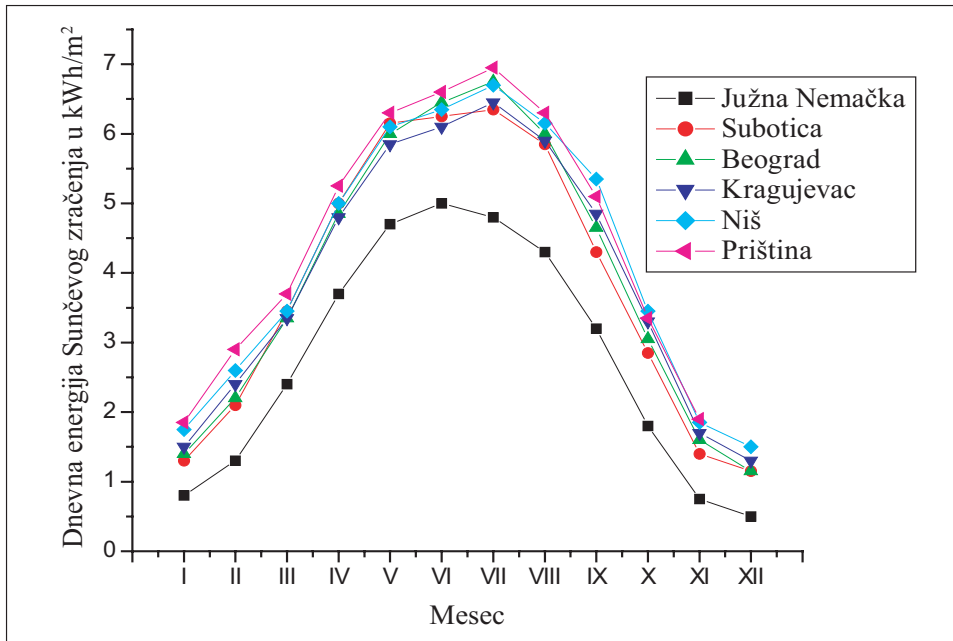
E_1 – Ekstraterestrično zračenje Sunca na horizontalnoj površini pre ulaska u atmosferu iznad Srbije, računato prema Milankovićevoj formuli;

E_2 – Energija Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini na donjoj granici atmosfere (površina mora), uvek vedro i čisto nebo – Rayleigheva atmosfera;

E_3 – Realna energija Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini na donjoj granici atmosfere.



Slika 8. Energetski potencijal Sunca u Srbiji za različite mesece. Gornja kriva predstavlja teorijski potencijal bez oblaka. Donja kriva daje teorijski potencijal za slučaj osunčanosti 60%. Kriva nacrtana crnom linijom predstavlja dnevni energetski potencijal Sunca za Beograd (44,7°N), meren tokom jedne godine



Slika 9. Osunčanost gradova u Srbiji u odnosu na južnu Nemačku

Energetski potencijal Sunca za svaki mesec u godini prikazan je na slikama 8 i 9 i tabeli 2. Izabrano je pet gradova u Srbiji raspoređenih između 42° N i 46° N, jer se vrednosti Sunčeve radijacije za ostala mesta mogu interpolirati. Napominjemo da prikazani dijagrami nisu ulazili u detalje, kao što su lokalna oblačnost i lokali vetrovi. Ovo je moguće prilikom određivanja globalnog potencijala na nivou godine ili meseca.

Ukupna godišnja Sunčeva radijacija u južnoj Nemačkoj je, prema tabeli 2, 1015 kWh/m^2 , što je slično vrednosti iz atlasa na slikama 3 i 4. Ukupna godišnja Sunčeva radijacija u centralnoj Srbiji – Kragujevac je 1448 kWh/m^2 . Ovo pokazuje da je osunčanost Srbije znatno veća nego osunčanost južne Nemačke (40%).

Tabela 2. Srednje dnevne količine energije globalnog (direktnog i difuznog) Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini tla u $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ dan})$

	G. širina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Juž. Nemačka	48°N	0,8	1,3	2,4	3,7	4,7	5,0	4,8	4,3	3,2	1,8	0,75	0,5
Subotica	46°N	1,30	2,10	3,45	5,00	6,15	6,25	6,35	5,85	4,30	2,85	1,40	1,15
Beograd	$44,7^{\circ}\text{N}$	1,40	2,20	3,35	4,85	6,00	6,45	6,75	6,00	4,65	3,05	1,60	1,15
Kragujevac	44°N	1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30
Niš	$43,2^{\circ}\text{N}$	1,75	2,60	3,45	5,00	6,10	6,35	6,70	6,15	5,35	3,45	1,85	1,50
Priština	$42,3^{\circ}\text{N}$	1,85	2,90	3,70	5,25	6,30	6,60	6,95	6,30	5,10	3,35	1,90	1,60

U toku vegetacionog perioda (april – septembar) količina dobijene energije od Sunca se kreće od 4,9 kWh/m² na zapadu, do 5,7 kWh/m² na jugoistoku Srbije. Najniže vrednosti u Srbiji podudaraju se sa najvećim vrednostima u Austriji i Nemačkoj, koje intenzivno koriste Sunčevu energiju. Identifikovana je činjenica da su vrednosti ove energije u brdskim krajevima Zapadne Srbije niske. To je posledica povećane dnevne oblačnosti u tim krajevima u letnjem periodu. Poznavanje količina Sunčeve energije u vegetacionom periodu je važno i zbog izračunavanja potencijalne produkcije biomase, tj. utvrđivanja potencijalne mogućnosti plantažne proizvodnje biomase.

5. ENERGETSKI POTENCIJAL SUNCA U PRIMENI

U svetu postoje raznovrsni pokušaji primene energije Sunca u cilju uštede fosilnih goriva i zbog ekoloških razloga. Evropska unija, USA, Južna Koreja i Japan su vodeće zemlje u praktičnom korišćenju energije Sunca. Dosadašnja teorija i praksa konverzije Sunčeve energije u toplu vodu, električnu energiju, bio-dizel i dr. pokazuje da će, u relativno bliskoj budućnosti (50 do 100) godina, čovek uspeti da sve svoje energetske potrebe zadovolji energijom Sunca. Svetske energetske potrebe danas Sunce zadovoljava, sa više od 99,9%, a preostalih 0,1% fosilna goriva, nuklearno gorivo i geotermalna energija. Autori ovog rada su pokušali da procene, da li se i preostalih 0,1% može zadovoljiti energijom Sunca i tako izbaciti iz upotrebe fosilna i nuklearno gorivo, koja su ekološki štetna a uskoro će biti iscrpljena.

Od svih obnovljivih izvora energije, a to je Sunčeva energija, za Srbiju su najvažniji:

a) HIDROENERGIJA, sa danas instalisanih 3200 MW (sa produkcijom od 12 TWh/god. električne energije). Potencijalno, u Srbiji se može instalirati još 2000 MW (8 TWh/god.).

b) BIOMASA – čvrsta (drvo i svi ostaci), tečna (biodizel, alkohol). Energetski potencijal biomase u Srbiji je toliko veliki da bi mogao zameniti oko 50% sadašnje potrošnje uglja (35·10⁶ tona godišnje). Osim toga, korišćenjem biomase štedimo strateško gorivo – ugalj, uz pozitivne ekološke efekte. Biomasa je ekološko i obnovljivo gorivo, koje ne remeti količinu CO₂ u atmosferi, jer se u prirodi stvara istom brzinom kao što se troši. Cena ovog goriva je već prihvatljiva (0,1–0,2) evra po kWh toplotne energije.

c) DIREKTNO I DIFUZNO ZRAČENJE SUNCA pretvoreno u toplotu pomoću solarnih kolektora. Ovaj način konverzije energije Sunca se danas pokazao kao brzo isplativ (5-10) godina, uz pozitivne ekološke efekte. Energetski potencijal primene solarnih kolektora u Srbiji je oko 500 kWh/(m² god.). Ako se proračun izvrši sa ukupnom površinom kolektora $A_k = 40 \text{ km}^2 = 40 \times 10^6 \text{ m}^2$, onda bi sa

ove površine moglo da se dobije 20×10^9 kWh/god. toplotne energije. Ovo bi moglo da se uradi u narednom vremenskom periodu od oko 50 godina, uz cenu od oko 250 €/m², ili ukupno 10 milijardi €.

d) VETAR – je izvor energije koji se nameće kao ozbiljan konkurent fosilnim gorivima u produkciji električne energije. Tehnički i ekonomski mogući potencijal vetra za Srbiju je: $P_{ot}(W) = (10 \pm 5)$ GW u snazi, odnosno, ako se usvoji skroman koeficijent kapaciteta 0,23, vetroelektrane bi u Srbiji mogle proizvoditi 20 milijardi kWh/god. el. energije, [9].

e) DIREKTNO SUNČEVO ZRAČENJE – konvertovano u jednosmernu struju pomoću PV modula je takođe dobar izvor energije. Srbija gotovo da nije ništa uradila u vezi sa primenom PV tehnologije, jer je ovakav način konvertovanja energije Sunca u električnu energiju skup (0,5–0,8) €/kWh. U bliskoj budućnosti, ovakav način korišćenja Sunčeve energije neće imati veći uticaj na ukupnu produkciju električne energije u Srbiji. Međutim, primena PV tehnologija je neminovna u svemirskim istraživanjima, novim tehnologijama, a pokazale su se uspešno i kod potrošača malih snaga (0,1–100) W.

6. ZAKLJUČAK

U većini zemalja Balkanskog regiona solarni potencijal je jako malo iskorišćen. Solarna energija se uglavnom koristi za stvaranje toplotne energije u solarnim kolektorima za grejanje vode. Korišćenje Sunčeve energije za dobijanje električne energije i upotreba fotonaponskih modula je simbolična, iako za to postoje svi uslovi. Intenzivnije sveobuhvatno korišćenje solarne energije zavisice od razvoja i sprovođenja nacionalnog programa obnovljivih izvora energije.

Energetski potencijal Sunca za Srbiju je definisan prosečnom količinom globalnog zračenja na horizontalnoj površini od 1460 kWh/(m² god.). Ova energija zadovoljava danas energetske potrebe Srbije sa 99,9%. Preostalih 0,1% svojih energetskih potreba Srbija zadovoljava sagorevanjem fosilnih goriva i geotermalnom energijom. Energetski potencijal Sunca u Srbiji je dovoljno velik, pa se u budućnosti preostalih 0,1% može dobiti korišćenjem energije Sunca i to: 1) hidroenergijom sa oko 20 TWh/god. električne energije, 2) biomasom sa oko 40 TWh/god. toplotne energije, 3) solarnim kolektorima sa oko 40 TWh/god. toplotne energije, 4) vetroelektranama sa oko 20 TWh/god. električne energije i 5) PV modulima sa oko 4 TWh/god. električne energije. U zbiru, to iznosi (44 TWh/god. električne energije, plus 80 TWh/god. toplotne energije), što je približno 0,1 % energije koju Srbija dobija od Sunca (izraz 11). Ovo znači da se konverzijom samo jednog promila energije Sunca mogu zameniti sva fosilna goriva koja se danas troše u Srbiji.

U radu je pokazano da energije Sunca, kao glavnog obnovljivog (klimatskog) resursa, ima dovoljno za potpuno napuštanje korišćenja fosilnih i nuklearnih rezervi kao energetske resursa. Potrebno je odabrati najbolju strategiju na putu što većeg korišćenja energije Sunca, koja jedino garantuje dugoročni održivi razvoj i opstanak života na planeti Zemlji.

7. LITERATURA

- [1] Wayne C. Turner, Steve Doty, *Energy Management Handbook*, CRC Press, 2006.
- [2] M. Benišek, M. Milivojević, Lj. Stamenić, M. Lambić, D. Mikičić, F. Kosi, D. Radivojević, M. Rajković, *Liber Perpetuum, Potencijali obnovljivih izvora energije u Srbiji i Crnoj Gori*, OSCE Mission to Serbia and Montenegro, 2004., ISBN 86-903283-8-6
- [3] Tomas Markvart, *Solar Electricity*, Wiley, 2 edition, 2000
- [4] Tom Markvart, Luis Castaner, *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*, Elsevier Science; 1 edition, 2005
- [5] Lj. Stamenić, G. W. Ingham, *Solar Photovoltaic Revolution*, Sunology International Inc., Vancouver, B. C., 1995., ISBN 0-9680062-0-5
- [6] A. K. Athienitis, M. Santamouris, *Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings*, James and James, 2002
- [7] I. Penzar, *Maksimalna snaga Sunčevog zračenja na području Jugoslavije, Sunčeva energija*, Hrvatsko društvo za Sunčevu energiju, Rijeka, 1/1979, str. 6-9
- [8] NASA – National American Scientific Association, *Surface Meteorology and Wind & Solar Energy, 2004.*
- [9] B. Radičević, D. Mikičić, *Komparacija metoda za procenu vetroenergetskog potencijala i pretvaranje energije vetra u električnu energiju*, Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Crnogorska Akademija nauka i umjetnosti, Vol. 84, Zbornik radova, Vol. 11, pp. 157-173, Podgorica, 2008.

SOLAR ENERGY POTENTIAL IN THE BALKAN REGION

ABSTRACT:

On the basis of meteorological data, as well as on the performed additional measurements, in the paper is estimated the solar energy potential of Serbia, Montenegro and some other Balkan region countries. This paper represents a part of author's activities in the course of work on the scientific research project „Atlas of the energy potential of Sun and wind in Serbia”. Most of the Balkan region countries have economic and ecological problems which are caused by the import of energy (coal, oil, gas) which becomes more and more expensive and also pollutes air, water and soil. Balkan region countries are well irradiated by Sun and because of that they are bound to meet their energy needs in future by using solar energy more.

Keywords: *solar energy potential, solar atlas, electrical energy, ecology*