

SOLARNI POTENCIJALI GRADA KRAGUJEVCA

Sažetak: Šira naučna oblast ovog rada su obnovljivi izvori energije. U užem smislu, rad se ograničava na mogućnosti iskorišćenja solarne energije u gradu Kragujevcu i u suštini daje odgovore na sljedeća pitanje:

(1) zašto su važne i koje su teoretske a koje praktične mogućnosti iskorišćenja solarne energije u ovom gradu; (2) kolike bi, u slučaju maksimalnog iskorišćenja solarne energije, mogle biti materijalne i finansijske uštede u tečnim naftnim derivatima, prirodnom gasu i uglju na teritoriji grada Kragujevca; (3) za koliko bi se, u gradu, smanjile emisije opasnih i štetnih produkata sagorijevanja fosilnih pogonskih goriva i na koji način i za koja ulaganja dao konkretan doprinos poboljšanju životne sredine grada i šire; (4) kako bi mogla da glasi definicija i na koji način bi se mogao računati stepen solarne efikasnosti grada Kragujevca (η_{sekg}); (5) koje su mogućnosti da se ovi parametri o solarnoj efikasnosti definišu i u drugim gradovima Srbije, EU i svijeta i koriste kao uporedni pokazatelj kvaliteta konverzije solarne u toplotnu i (ili) električnu energiju.

Bazu podataka rada čine meteorološke, geografske i etnografske karakteristike grada Kragujevca i potrošnja električne struje, tečnih naftnih derivata, prirodnog gasa, uglja i *sani tarne vode*, za dvadeset najvećih potrošača na teritoriji grada Kragujevca: Kliničkog centra, studentskih domova, Zavoda za zbrinjavanje odraslih, svih hotela, Doma za stare, svih obdaništa, Gerontološkog centra, Sportskog centra, domova srednjih škola, privatnih kuća, itd.

1. UVOD

INSOLACIJA U SVIJETU I SRBIJI

Insolacija je količina energije koju prima Zemlja sa sunčevim zracima. Ova ukupna energija iznosi oko 175 milijardi megavata. To premašuje za 100.000 puta snagu svih izgrađenih elektrana na zemlji, a veća je i za oko 170 puta nego sva energija u ukupnim rezervama uglja u svijetu. Dotok energije Sunčevim zračenjem naziva se i solarna konstanta. Ovaj solarni parametar iznosi 1353 W/m^2 pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca, uz upadni ugao od 90 stepeni.

¹ Dr Marin A. Ivošev, dipl. inž. maš. „Energetika” d. o. o, Kragujevac

² Srđan Vesović, dipl. inž. maš., „Energetika” d. o. o, Kragujevac

Pri prolasku kroz atmosferu oko 1/3 energije se troši u složenim procesima, pa dotok energije do površine Zemlje iznosi prosječno 920 W/m^2 .

Vrijeme trajanja insolacije za našu zemlju iznosi 15 h ljeti i 9 h zimi. Ova stvarna vremena traju kraće. Npr. ukupno, realno, trajanje insolacije za Beograd (na horizontalnu površinu) iznosi 2071 h godišnje. Od toga 70.5% u periodu od aprila do septembra mjeseca i 29.5% u periodu od oktobra do marta. Za Podgoricu je to vrijeme 2442 h. Iz tih razloga je stvarna energija zračenja koja dođe do površine u Srbiji u prosjeku oko 3.5 kWh/m^2 na dan, a u primorju Crne Gore oko 4 kWh/m^2 dnevno [1].

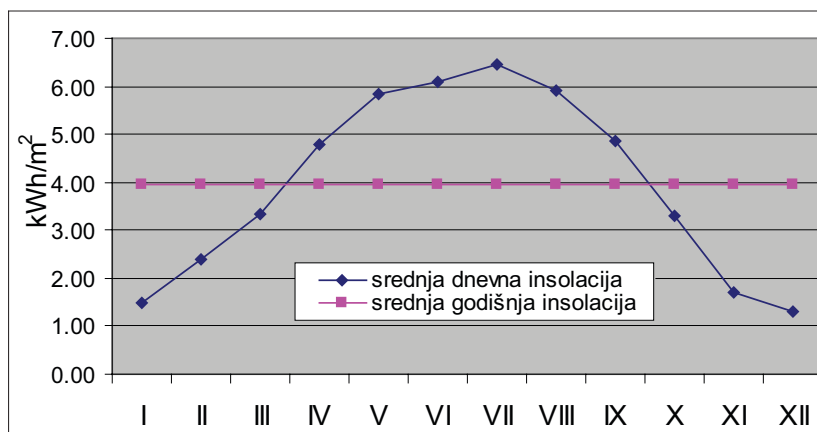
U principu postoje dvije mogućnosti za energetska iskorišćavanje Sunčevog zračenja:

- 1) pretvaranje solarne energije u toplotnu i
- 2) direktno pretvaranje u el. energiju.

INSOLACIJA U KRAGUJEVCU

Tabela 1. Srednja dnevna i godišnja insolacija (kWh/m^2) za grad Kragujevac /2/

mjesec												sred. god.	Σ
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30	3,96	1447,80



Slika 1. Srednja dnevna i godišnja insolacija za grad Kragujevac

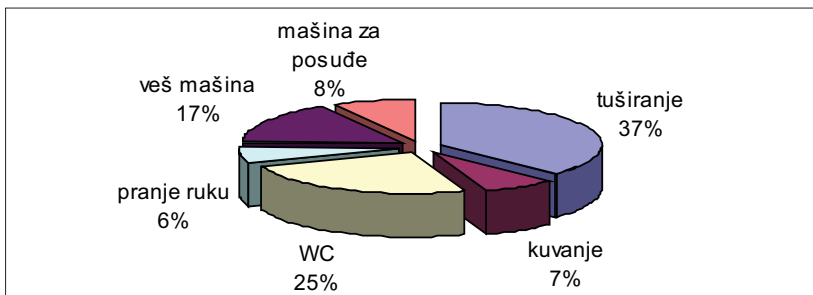
STATISTIČKI PODACI

Na području grada Kragujevca živi 180.252 stanovnika. Od toga u gradu živi 147.473, a na selu 32.779. Broj domaćinstava u gradu iznosi 60.000. Broj domaćin-

stava priključen na vrelvodni sistem daljinskog grijanja iznosi 19.547, a ukupna grijna zapremina oko 3.870.000 metara kubnih. Gradsko područje Kragujevca obuhvata oko 2.700 ha. Godišnje trajanje insolacije u Kragujevcu iznosi 2095 časova [3].

2. PRETPOSTAVKE

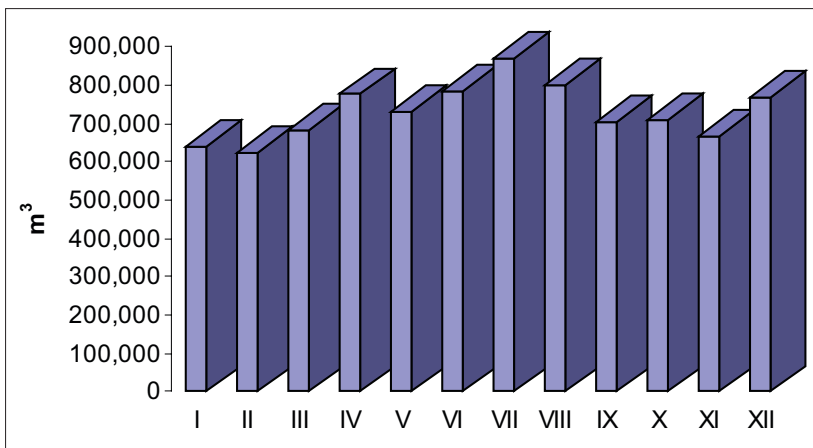
Polazne pretpostavke su udio opšte potrošnje sanitarne vode [4] prikazano na Slici 2.



Slika 2. Udio potrošnje sanitarne vode /4/

Drugu pretpostavku čine podaci za opštu mjesečnu potrošnju vode u gradu Kragujevcu u 2008, 2009. i 2010. godini [5], sistematizovani i prikazani u Tabeli 2.

Na osnovu navedenih podataka, prosječna potrošnja vode Kragujevčana iznosi 4.05 m³/mjesec. Slika 3 ilustruje prosječne ukupne mjesečne količine potrošnje vode u Kragujevcu, tokom 2008, 2009. i 2010. godine.



Slika 3. Srednja mjesečna trogodišnja potrošnja vode

Tabela 2. Potrošnja vode za opšte namjene građanstva (m³)

godina/mjeseč	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno za opštu namjenu građani	Ukupna potrošnja grad
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2008.	704,203	635,686	669,467	784,008	780,528	830,319	950,477	821,864	725,557	738,007	634,457	805,219	9,079,792	13,262,827
2009.	610,189	620,636	665,859	843,392	742,614	757,613	817,871	796,298	715,636	727,580	695,325	727,641	8,720,654	12,462,206
2010.	613,849	608,844	715,450	703,637	676,107	764,073	849,653	785,266	677,914	661,664	673,469	768,800	8,498,726	12,053,493
srednja trogodišnja vrijednost	642,747	621,722	683,592	777,012	733,083	784,002	872,667	801,143	706,369	709,084	667,750	767,220	8,766,391	12,592,842

3. PRORAČUNI

3.1.1. Potrebna količina toplote (Q) za zagrijavanje sanitarne vode, pod pretpostavkom da se cjelokupna količina u gradu Kragujevcu zagrijeva solarnom energijom, izračunava se na osnovu jednačine:

$$Q = G \times c \times \Delta t \text{ (kWh/god.)} \dots \dots \dots (2.1);$$

G – količina sanitarne vode koja se zagrijava sa 10 °C na 55°C za potrebe kupatila, mašine za pranje veša, mašine za posude i pranje ruku, (180.252 x 0,05 x 365=3.289.599 m³/god.; 9.012.600 litara/dan);

c – specifična toplota vode 4.18 kJ/kg °K;

Δt – temperaturna razlika hladne i zagrijane vode 45 °C;

$$Q = 9.012.600 \text{ (litara/dan)} \times 4.18 \text{ (kJ/lit. } ^\circ\text{C)} \times 45 \text{ (} ^\circ\text{C)} = 1.695.270.060 \text{ (kJ/dan)} = 470.908 \text{ (kWh/dan);}$$

$$Q = 172.126.174 \text{ (kWh/god.)}$$

Ekvivalentne količine fosilnih goriva:

- uglja, $H_d=15.000$ (kJ/kg), $G_u=114.750$ (kg/dan), odnosno 41.884.035 (kg/god.) ili
- mazuta, $H_d=42.000$ kJ/kg, $G_m=40363$ (kg/dan), odnosno 14.732.704 (kg/god.) ili
- prirodnog gasa, $H_d=33.000$ kJ/nm³, $V_{pg}=51.371$ (nm³/dan), odnosno 18.750.714 (nm³/god.).

3.1.2. Potrebna količina toplote pod pretpostavkom da se zagrijavanje sanitarne vode vrši iz jednog centra za sve korisnike daljinskog centralnog vrelodnog grijanja Kragujevačke toplane, odnosno „Energetike” d. o. o. Kragujevac:

$$Q_1 = G_1 \times c \times \Delta t \text{ (kWh/god.)} \dots \dots \dots (2.2);$$

G_1 – količina sanitarne vode koja se zagrijava sa 10 °C na 55 °C za potrebe kupatila, mašine za pranje veša, mašine za posuđe i pranje ruku (19.547 x 4 x 0,05 x 365 = 3.909.400 (litara/dan);

c – specifična toplota vode 4.18 kJ/kg 0 K;

Δt – temperaturska razlika hladne i zagrijane vode 45 0 C;

$$Q = 3.909.400 \text{ (litara/dan)} \times 4.18 \text{ (kJ/lit. 0 C)} \times 45 \text{ (0 C)} = 735.358.140 \text{ (kJ/dan)} = 204.266 \text{ (kWh/dan);}$$

$$Q_1 = 74.557.144 \text{ (kWh/god.)}.$$

Ekvivalentne količine fosilnih goriva:

- uglja, $H_d=15.000$ (kJ/kg), $G_{u1}=49.023$ (kg/dan), odnosno 17.893.714 (kg/god.) ili
- mazuta, $H_d=42.000$ kJ/kg, $G_{m1}=17.508$ (kg/dan), odnosno 6.390.612 (kg/god.) ili
- prirodnog gasa, $H_d=33.000$ kJ/nm³, $V_{pg1}=22.283$ (nm³/dan), odnosno 8.133.513 (nm³/god.).

3.2.0. Postoji više načina za određivanje ukupne površine i broja solarnih kolektora. U svakom proračunu je osnova potrebna količina toplote za zagrijavanje sanitarne vode. Prije toga stoje nekolike pretpostavke: o stvarnoj potrošnji sanitarne vode, pretpostavke o solarnoj pokrivenosti itd. Osnovu proračuna solarnih parametara u ovom radu čini jedan urađen konkretan primjer iz literature [1]:

– broj članova domaćinstva: 4;

– potrošnja sanitarne vode po članu domaćinstva: 50 litara/dnevno;

– količina potrebne toplote za domaćinstvo:

$$Q = G \times c \times \Delta t \text{ kWh} = 200 \text{ (l/dan)} \times 4,18 \text{ (kJ/kg, } ^\circ\text{K)} \times 45 \text{ (} ^\circ\text{K)} = 37.674 \text{ (kJ/dan)}$$

$$Q = 10,5 \text{ (kWh);}$$

– ako se za nagib solarnog kolektora od 45 ° uzme da na 1 m² dolazi 4.590.000 kJ, ili 4.590.000/183 (kJ/m², dan), odnosno 25.081 (kJ/m², dan), zatim da se od

ovog iznosa iskoristi samo 40% ove energije, to sve iznosi 37.674 (kJ/dan)/10.000 (kJ/m², dan), ili oko 3,7 m² solarnih kolektora na četiri čovjeka, odnosno jedno domaćinstvo, ili 0,925 m² solarnih kolektora po jednoj osobi.

3.2.1. Površina i broj kolektora ukoliko bi se sanitarna voda zagrijavala za sve građane grada Kragujevca: $180.252 \times 0,925 \text{ (m}^2\text{)} = 166.733 \text{ (m}^2\text{)}$, odnosno $166.733 / 2.3 = 72.492$ kolektora (pretpostavke za kolektore, Tip „Vitosol 200”, Viessmann, 2,3 m² [7]).

3.2.2. Površina i broj solarnih kolektora, ako bi se njima zagrijavala sanitarna vode za potrebe samo domaćinstava koja se griju sa vrelovodnog centralnog sistema daljinskog grejanja iz Kragujevačke toplane, odnosno „ENERGETIKE” d. o. o, Kragujevac, za ovih 19.547 domaćinstava i 3,7 m² kolektora po domaćinstvu, iznosi: ukupna površina 72.324 (m²), odnosno 31.445 solarnih kolektora, istog tipa i modela kao u prethodnom poglavlju.

4. EKOLOŠKI ASPEKT

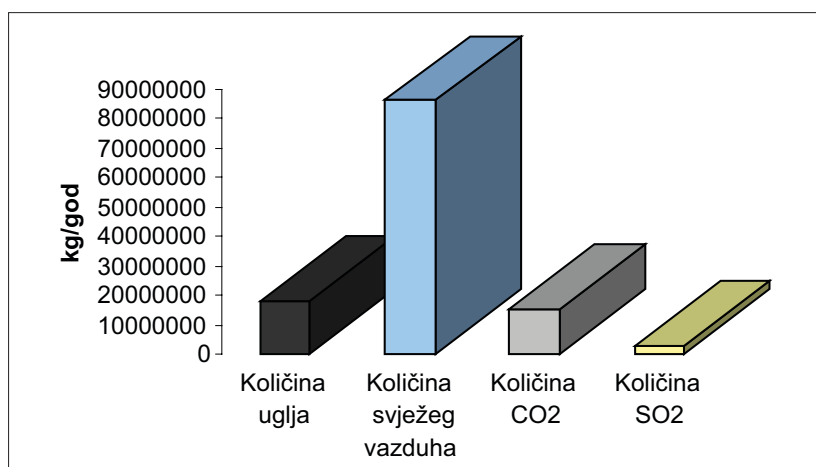
Osnovu ovog poglavlja čine podaci o količinama opasnih i štetnih produkata sagorijevanja, za koje bi se smanjile emisije u slučaju da se sanitarna voda u Kragujevcu zagrijava solarnom energijom. Kao pokazatelji su uzete emisije ugljen dioksida (CO₂), sumpor-dioksida (SO₂) i količina čistog vazduha koja se troši za potrebe sagorijevanja, a za čije izračunavanje su korišćene stehijometrijske jednačine sagorijevanja uglja, mazuta i prirodnog gasa [8, 9].

Tabela 3. Smanjene količine produkata sagorevanja (kg/god.)

	Naziv energenta	Parametar produkata sagorevanja	Jedinica	Vazduh potreban za sagorijevanje	CO ₂	SO ₂
1	2	3	4	5	6	7
1	Ugalj	Količina po jedinici goriva	nm ³ /kg	3.7	0.45	0.056
		Godišnja količina goriva	kg/god.	17919399	17919399	17919399
		Spec. težina	kg/nm ³	1.3	1.9	2.8
		God. količina prod. sagorijevanja	kg/god.*	86192309	15321086	2809762
2	Mazut	Količina po jedinici goriva	nm ³ /kg	8.4	0.884	0.0348
		Godišnja količina goriva	kg/god.	6399786	6399786	6399786
		Spec. težina	kg/nm ³	1.3	1.9	2.8
		God. količina prod. sagorijevanja	kg/god.*	69885663	10749081	623595
3	Prirodni gas	Količina po jedinici goriva	nm ³ /nm ³	9.6	1	0
		Godišnja količina goriva	nm ³ /god.	8145182	8145182	8145182
		Spec. težina	kg/nm ³	1.3	1.9	2.8
		God. količina prod. sagorijevanja	kg/god.*	101651871	15475846	0

Tabela 3. sadrži više pokazatelja. Direktnih i indirektnih. Direktne pokazatelje čine količine produkata sagorijevanja. Ovi podaci ukazuju da se za sagorijevanja fosilnih goriva, prije svega, troše velike količine čistog vazduha (!), a zatim da se kao produkti sagorijevanja javljaju emisije opasnih i štetnih sastojaka dimnih gasova, prije svega onih navedenih u tabeli, a poslije njih i azotovih oksida (NO_x), čestica pepela i čađi, ugljen-monoksida (CO) itd.

Direktni podaci, na primjer, ukazuju da količine pojedinih produkata sagorijevanja, najčešće prevazilaze količine osnovnih enegenata, Slika 4, a indirektni pokazatelji mogli bi biti ekološke takse na emisije ovih produkata sagorijevanja, ali i zdravstveni aspekti, s obzirom na to da se produkti sagorijevanja smatraju trećim na listi, od svih savremenih zdravstvenih rizika.



Slika 4. Uporedne količine produkata sagorijevanja

5. UŠTEDE, ULAGANJA, STEPEN OTPLATE

Da bi ovaj rad imao klasičnu inženjersku fizionomiju, prethodnim poglavljima nedostaje: (1) aspekt finansijskih ušteta koje bi se dobile uvođenjem zagrijavanja sanitarne vode solarnom energijom, (2) aspekt visine finansijskih ulaganja u ovakve solarne projekte i (3) aspekt stepena otplate ovakvih projekata.

Uporedni pregled godišnjih ušteta ilustruje Tabela 4, a proizilazi iz godišnjih ušteta količina pojedinih energenata i njihovih sadašnjih jediničnih cijena.

Tabela 4. Uporedni pregled godišnjih ušteta

Ugalj	17919399	kg/god.	40	din/kg	716775960	din/god.	6762037	€/god.
Mazut	6399786	kg/god.	60	din/kg	383987160	din/god.	3622520	€/god.
Pr. gas	8145182	nm ³ /god.	33	din/nm ³	268791006	din/god.	2535764	€/god.

Polazni podatak za visinu finansijskih ulaganja u projekat grijanja sanitarne vode, za slučaj kada bi se grijanje solarnom energijom vršilo za korisnike centralnog daljinskog vrelovodnog grijanja iz „Energetike” d. o. o. Kragujevac, je broj potrebnih solarnih kolektora, poglavlje 3.2.2. (31.445 komada) i sadašnja cijena jednog kolektora (oko 500 €). Sve to iznosi oko 15.722.500 €, kao troškovi samo solarnih kolektora.

Na osnovu iskustvenih podataka kompanije „Viessmann” Beograd, u troškovima ukupne izgradnje velikih solarnih sistema, udio solarnih kolektora iznosi, približno, 1/3 [7].

To znači da bi ukupni troškovi (T_r) izgradnje solarnog sistema za zagrijavanje sanitarne vode svih građana koji ovog trenutka koriste daljinsko centralno vrelovodno grijanje iznosili:

$$T_r = 3 \times 15.722.500 = 47.167.500 \text{ €}.$$

Na osnovu navedenih podataka u tabeli 5, sistematizovani su podaci o stepenu otplativosti solarnog postrojenja, u poređenju sa sadašnjim cijenama uglja, mazuta ili prirodnog gasa.

Tabela 5. Stepenu otplativosti solarnih postrojenja

Energent	Visina ulaganja (€)	God. uštede (€/god.)	Stepen otplate
Ugalj	47.167.500	6.762.037.4	7.0
Mazut	47.167.500	3.622.520.4	13.0
Pr. gas	47.167.500	2.535.764.2	18.6

7. STEPEN SOLARNE EFIKASNOSTI GRADA KRAGUJEVCA (η_{sekg})

Definicija Stepenu solarne efikasnosti u gradu Kragujevcu (i svakom drugom gradu), pokazuje udio instalisane snage solarnih panela na teritoriji grada, u odnosu na realne snage solarnih panela koje je moguće ugraditi na objektima grada.

$$\eta_{\text{sekg}} = 100 \times P_{\text{inst}} / P_{\text{real}} \dots \dots \dots (7.1);$$

P_{inst} – ukupna površina instaliranih kolektora u gradu (m^2);

P_{real} – ukupna površina solarnih kolektora koje je realno moguće instalirati u gradu (m^2).

8. POGLAVLJE BEZ KOMENTARA

Fond za zdravstveno osiguranje, Filijala Kragujevac, godišnje izdvoji oko 60 miliona dinara (oko 700.000 evra) za troškove pregleda i hospitalnog liječenja pacijenata, samo sa astmom, opstruktivnim bronhitisom i alergijskim rinitisom. Na osnovu činjenice da Šumadijski region ima oko 400.000 stanovnika, a grad Kragujevac blizu 200.000, procjena godišnjih troškova u Kragujevcu data je u Tabeli 6 [10].

Tabela 6. Godišnji troškovi u Kragujevcu

Red. br.	Godišnji trošak	din / €	%
1	Hospitalizacija stanovnika	12	4,2
2	Opstruktivni bronhitis	10	3,5
3	Alergiski rinitis	1,8	0,0
4	Troškovi doma zdravlja	8	2,8
5	Služba hitne pomoći	1,5	0,5
6	Banjsko liječenje	2,5	0,9
7	Troškovi lijekova	250	87,5
8	UKUPNO DINARA x 10 ⁶	285,8	100,0
9	UKUPNO €	3.362.352,941	100,0
10	€/stanovniku	16,8	

Ovi godišnji troškovi u Evropskoj uniji iznose oko 25 €/stanovniku [11].

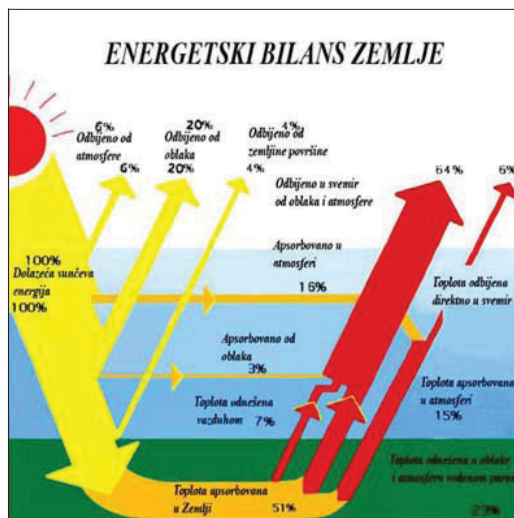
9. ZAKLJUČAK

I dalja analiza navedenih poglavlja dala bi potvrde svih (do sada), navedenih pretpostavki. Osim toga, dolazi se do novih činjenica u oblasti energetske efikasnosti, ekonomske isplativosti, ekološke opravdanosti i zdravstvenih neminovnosti, a vezanih za korišćenje obnovljivih vidova energije u budućnosti.

Korišćenje solarne energije je samo jedan segment sprečavanja ostvarivanja apokaliptične vizije stanja životne sredine u budućosti. I u Srbiji i svijetu. I kaže da je imperativ održivi razvoj. To znači da se kao ključni regulatori budućeg razvoja čovječanstva, na Zemlji, moraju uzimati i ekološka ograničenja.

LITERATURA

- [1] B. Lalović, *Nasušno sunce*, Nolit, Beograd, 1982.
- [2] Nebojša LUKIĆ, Milun Babić, *Solarna energija*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2008.
- [3] ***Zvanični sajt Skupštine grada Kragujevca, 2010.
- [4] ***<http://www.bvk.rs/>
- [5] ***Interni podaci JKP VIK Kragujevac
- [6] ***<http://sr.wikipedia.org/>, www.arion.gete.com
- [7] ***www.viessmann.rs
- [8] M. Ivošev, *Ekološki aspekti sagorevanja energenata na primeru „Zastava Energetike” KG*, magistarska teza, 2002.
- [9] M. Ivošev, *Ekološki aspekti grejanja gradova Srbije*, Kongres KGH, Beograd, 2004.
- [10] *** Analitička studija „1988–2008 – Zdravlje stanovništva šumadijskog okruga”, Institut za javno zdravlje Kragujevac, 2009.
- [11] N. Ilić, D. Baskić, *Kad porastem, biću zdrav*, Projekat, Institut za javno zdravlje, Kragujevac, 2009.



SOLAR POTENTIAL OF THE CITY OF KRAGUJEVAC

Abstract: Wider scientific area of this paper is renewable energy sources. Closely, paper is limited to possibilities of exploitation of solar energy in city of Kragujevac and basically gives answers at following questions:

(1) What for are important and which are theoretical and which are practical possibilities of exploitation of solar energy in this city, (2) how much could be, in the case of maximum exploitation of solar energy, material and financial savings in liquid oil fuels, natural gas and coal at area of city of Kragujevac, (3) for how much would be, in the city, reduced emissions of hazardous and dangerous combustion products of fossil fuels and in which way would give concrete contribution of environmental improvement of the city and wider area, (4) how could read definition and in which way could be counted level of solar efficiency of the city of Kragujevac (ηsekg), (5) which are possibilities that these parameters of solar efficiency define in other Serbian cities, EU and World and use as comparative measure of quality of solar energy conversion into heat energy and (or) electric.

Data base for this paper are meteorological, geographical and ethnographic characteristics of city of Kragujevac and electricity, liquid oil fuels, natural gas, coal and sanitary water consumption for twenty largest consumers at city of Kragujevac area: Clinic center, student dorms, children shelter, all kindergartens, all hotels, senior citizens shelter, sport center, high school dorms, private households, etc.