

## SOLERNA ENERGIJA I NJEDNO KORIŠĆENJE

### 1. RASPOLOŽIVOST ZRAČENJA SUNCA

#### 1.1 Energija Sunca

Sunce je zajednički izvor svih obnovljivih izvora energije čiji kapacitet možemo smatrati neograničenim. Sunčeva energija je resurs koji je, zavisno od klimatskog područja, u većoj ili manjoj meri dostupan svim ljudima. Snaga Sunca koju prima Zemlja iznosi oko  $1,8 \times 10^{11}$  MW što višestruko prevazilazi sve energetske potrebe. Ova energija se može koristiti kako za proizvodnju električne, tako i toplotne energije. Većina oblika energije na Zemlji nastala je i nastaje djelovanjem Sunčevog zračenja. Korištenjem Sunčeve energije smanjuje se potreba za fosilnim gorivima te se smanjuje i onečišćenje okoline prouzrokovano njihovim izgaranjem. Sunčeva energija ne proizvodi stakleničke plinove koji uzrokuju globalno zatopljenje i radioaktivni otpad.

Toplota koja zračenjem sa Sunca dolazi na Zemlju je najveći izvor energije i njen godišnji teoretski potencijal iznosi  $5,6 \times 10^6$  EJ, pri čemu čovek putem fosilnih goriva raspolaže sa samo vrlo malim delom te energije.

Konverzija sunčeve energije se vrši pomoću termalnih solarnih kolektora i pomoću fotonaponskih ćelija. Termalni solarni kolektori služe za dobivanje tople vode i zagrijavanje prostora, a fotonaponske ćelije se koriste za direktno dobivanje električne struje od sunčeve energije.

Ekspanzija fotonaponskih ćelija omogućena je značajnim tehnološkim napretkom u toku posljednje decenije. Koeficijent korisnog dejstva je udvostručen, sa oko 7% na 15%.

Pomoću solarnih panela sunčeva energija se može koristiti kao neiscrpn izvor energije.

#### 1.2 Solarna konstanta

Na spoljnoj granici Zemljine atmosfere u zavisnosti od aktivnosti Sunca, na površinu upravnu na pravac zračenja, u svakoj sekundi sunce dozrači između  $1307 \text{ W/m}^2$  i  $1393 \text{ W/m}^2$ . Ova dozračena energija u jedinici vremena (ozračenost ili iradijancija) se zove ekstraterestrična, jer je dostupna izvan, odnosno na spoljnoj granici Zemljinog vazdušnog omotača. Prosečna vrednost ove iradijancije naziva se *solarna konstanta*. Prihvaćeno je da je vrednost solarne konstante iznosi  $E_0 = 1353 \pm 21 \text{ W/m}^2$ .

#### 1.3 Godišnja energija globalnog zračenja Sunca

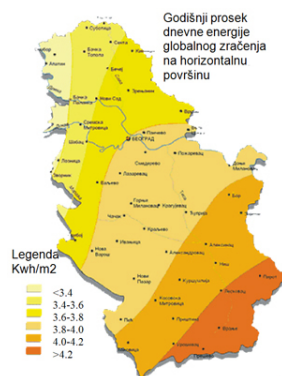
Globalno zračenje Sunca predstavlja energiju ukupnog zračenja Sunca (direktnog i difuznog) koja tokom nekog vremenskog perioda dospe na jediničnu površinu Zemlje. Drugim rečima predstavlja energiju insolacije u nekom vremenskom periodu.

Vrednosti globalnog godišnjeg zračenja Sunca  $G_a$  izražava se u  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{god})$  i obavezno se definiše ugao nagutosti površine za koju se odnosi data vrednost.

Pored godišnjeg, u raznim studijama često se navode prosečne dnevne vrednosti energije zračenje Sunca  $G_d$ , koja se izražavaju u  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{dan})$ .

Osnovni parametar za procenu opravdanosti izgradnje Solarnih grejnih sistema (SGS) na nekoj lokaciji jeste godišnja energija globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan te lokacije  $G_a$ , dakle, ukupna vrednost energije sučevog zračenja koja tokom godine dospe na  $\text{m}^2$  horizontale površi na odgovarajućoj lokaciji.

Postoji opšte mišljenje da je prosečno godišnje globalno zračenje Sunca u Srbiji za 30% veće nego u zemljama zapadne Evrope, pa se na slici 1.1 daje prikaz mapa godišnje energije globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan za teritoriju Republike Srbije, a u tabeli 1.1 su dati podaci o mesečnim i godišnjim energijama globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan za neke gradove u Srbiji, preuzeti iz studije Jeferrson Instituta.



Slici 1.1: Prosečna godišnja energija globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan u Srbiji

Tabela 1.1

Grad	Mesec												Ukupno godišnje
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Beograd	1,4	2,2	335	485	60	645	675	60	465	305	16	1,15	14468
Zrenjanin	13	215	345	49	605	635	655	59	445	295	145	1,05	141945
Kikinda	10	205	355	51	64	655	685	595	445	30	15	1,05	14565
Višac	10	20	335	44	60	64	655	685	46	30	155	1,0	142475
Dobvo	13	205	34	48	585	62	655	60	455	30	155	1,05	141205
Sombor	135	215	335	485	595	63	615	565	42	28	135	14	138735
Pač	13	21	345	50	615	625	635	585	43	285	14	1,15	14074
Vitas	145	235	345	48	59	615	64	57	435	295	145	12	140685
Novi Sad	145	235	32	465	58	62	635	575	44	29	145	12	139264
Čuprija	155	235	35	50	61	615	665	61	515	34	18	13	14954
Kruševac	165	255	35	49	595	605	645	59	51	33	18	135	151985
Niš	175	26	345	50	61	635	67	615	535	345	185	15	15314
Kušumija	215	30	36	505	585	605	655	61	53	35	20	1,75	15505
Peč	185	295	37	485	595	615	675	615	49	365	225	16	154625
Pišina	185	29	37	525	63	66	695	63	51	335	19	16	157825
Varje	17	27	365	515	615	64	65	635	525	345	185	15	15434
K. Palanka	185	28	38	52	62	645	69	63	51	34	20	165	15678
Pizen	15	245	35	48	59	665	72	655	485	315	17	135	151225
Loznica	15	23	305	435	53	575	615	56	43	28	145	12	13335
Ivan Sedo	145	225	305	43	506	585	63	565	435	275	15	12	133226
Krajvo	16	25	335	495	59	62	66	605	465	305	165	135	14584
Kragujevac	15	24	335	48	585	61	645	59	485	33	17	13	144785
Smederevska Palanka	145	23	335	495	60	63	655	595	485	32	17	12	14188
Smederevo	145	225	34	48	57	63	65	595	475	315	165	1,1	143275
Negoin	135	205	325	485	605	66	695	625	475	29	145	12	145335
Orin Vrh	14	215	315	465	57	605	65	585	485	31	16	1,15	13931
Zaječar	15	225	325	48	605	645	695	63	495	295	15	13	149805
Vajvo	145	225	31	44	535	595	635	575	445	295	15	12	13626
Užička Polje	135	215	315	44	52	54	57	51	40	225	145	1,1	126635
Zalbor	15	23	31	435	51	565	59	535	43	275	16	13	13164

Tabela 1.1: Prosečna dnevna i godišnja energija globalnog zračenja Sunca na horizontalnu ravan, kWh/m<sup>2</sup> za neka mesta u Srbiji

## 1.4 Stepen korisnosti prijemnika solarne energije

Stepen korisnosti prijemnika solarne energije (PSE) predstavlja meru sposobnosti PSE da apsorbuje što veću količinu energije zračenja Sunca koja dospe na njegovu površinu i u što većoj meri pretvori u toplotnu energiju kojom će zagrejati grejani fluid. Otuda se i stepen korisnosti PSE ( $\eta_{pse}$ ) definiše kao odnos toplotnog protoka predatog grejanom fluidu, tj. grejne snage PSE ( $\Phi_{gr}$ ) i insolacije (iradijancije zračenja Sunca na površini Zemlje ( $E_z$ )):

$$\eta_{pse} = \Phi_{gr}/E_z \quad (1)$$

S obzirom na krivu zavisnosti stepena korisnosti PSE od razlike srednje temperature radnog fluida u PSE i temperature okolnog vazduha, stepen korisnosti PSE, prema „IZGRADNJA SOLARNIH GREJNIH SISTEMA U REPUBLICI SRBIJI - Vodič za investitore“, obično se izražava po jednačini:

$$\eta_{pse} = n - a_1 (T_{sr} - T_{amb}) / E_z - a_2 (T_{sr} - T_{amb})^2 / E_z \quad (2)$$

Gde je:

- $\eta_{pse}$ : stepen korisnosti PSE [-]
- $n_0$ : maksimalni stepen korisnosti [-]
- $a_1$ : koeficijent gubitaka toplote 1. stepena [ $W/(K \cdot m^2)$ ]
- $a_2$ : koeficijent gubitaka toplote 2. stepena [ $W/(K^2 \cdot m^2)$ ]
- $E_z$ : solarna iradijancija na površini PSE [ $W/m^2$ ]
- $T_{sr}$ : srednja temperatura radnog fluida u PSE [K]
- $T_{amb}$ : temperature okolnog vazduha [K]

U skladu sa EU direktivama, svi proizvođači PSE obavezni su da u listu sa podacima o proiz- vodu daju informacije o vrednostima oba koeficijenta.

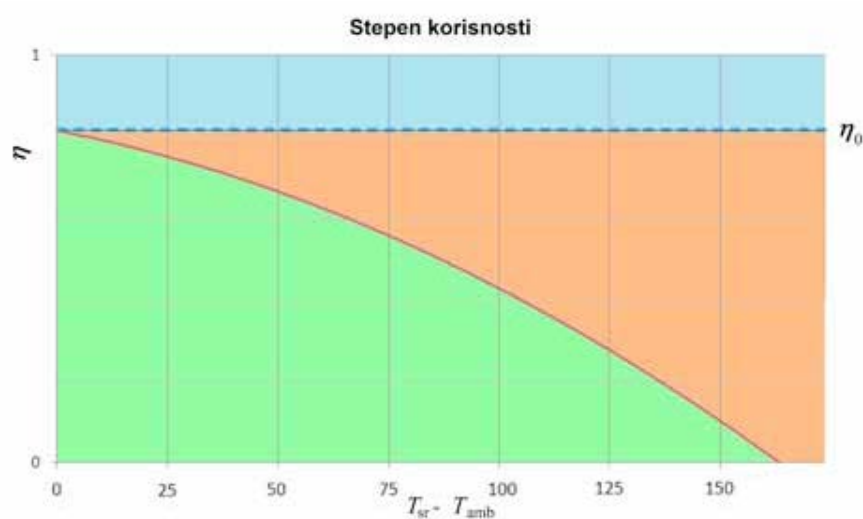
U skladu sa definicijom stepena korisnosti PSE, sledi da se toplotna snaga PSE može izračunati kao:

$$\Phi_{gr} = A_{pse} \cdot E_z \cdot \eta_{pse} \quad (3)$$

gde je:

$P_{pse}$  : grejna snaga PSE [W]

$A_{pse}$ : površina PSE [ $m^2$ ]



Slika 1.2: Tipična promena stepena korisnosti PSE u zavisnosti od temperaturne razlike između srednje temperature PSE i temperature okolnog vazduha.

Boje ukazuju na odnos između optičkih gubitaka (plava), toplotnih gubitaka (narandžasta) i preostale korisne energije (zelena) koja može da se uporedi sa ukupnom količinom energije iz zračenja.

## 1.5 Uticaj upadnog ugla zračenja na stepen korisnosti PSE

Deo dozračene solarne energije koji se reflektuje od prekrivne površi i od apsorbujuće površine nije konstantan. On zavisi od upadnog ugla zračenja Sunca. Da bi se ovaj uticaj obuhvatio proračunom, neophodno je vrednost maksimalnog stepen korisnosti PSE  $\eta_0$  pomnožiti sa korekcionim koeficijentom upadnog ugla zračenja  $k_\theta$  (IAM - incident angle modifier) (jednačina 4).

Vrednost ovog koeficijenta daje se u listu sa podacima o proizvodu i to za upadne uglove od  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  i  $70^\circ$ . Takođe, vrednost ovog koeficijenta može biti definisana i pomoću jednog od dva izraza:

$$k_\theta = 1 - b_0 [ 1 / \cos (\theta) - 1 ] \quad (4)$$

gde su:

$b_0$  : eksperimentalno ustanovljena konstanta, obično navedena u listu sa podacima o proizvodu koju je ustanovio proizvođač PSE i/ili institut koji je vršio ispitivanje [-] i

$\theta$  : upadni ugao zračenja u odnosu na ravan PSE.

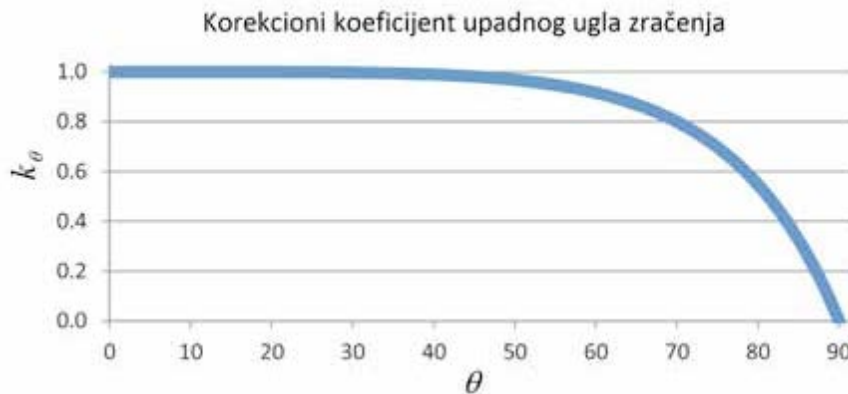
Ili preko izraza:

$$k_\theta = 1 - \tan^p (\theta / 2) \quad (5)$$

gde je:

$p$  : eksperimentalno ustanovljena konstanta, obično navedena u listu sa podacima o proizvodu koju je ustanovio proizvođač PSE i/ili institut koji je vršio ispitivanje [-]

Na slici 1.3 prikazan je primer promene korekcionog koeficijenta upadnog ugla zračenja u zavisnosti od upadnog ugla.



Slika 1.3: Tipične promene korekcionog koeficijenta upadnog ugla zračenja u zavisnosti od upadnog ugla (na osnovu izraza 4).

## 1.6 Pokrivenost solarnom energijom

Zbog malog broja sunčanih dana tokom zimskog perioda, a velikog tokom letnjeg perioda, kada grejanje prostora nije potrebno, a takođe da bi udeo solarne energije u ukupno potrebnoj grejnoj energiji bio što veći, SGS za zagrevanje objekta uvek se izvode u sprezi sa sistemom za zagrevanje PTV.

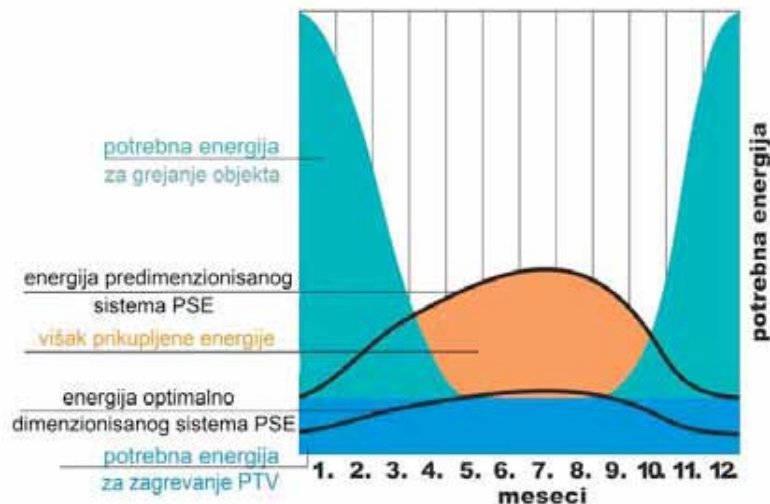
Pogrešna su razmišljanja da će se više solarne energije iskoristiti u dogrevanju ako se višestruko poveća površina PSE. To bi moglo da važi samo za prolećne i jesenje dane (slika 1.4). Veća iskorišćenost i veći udeo solarne energije u ukupno potrebnoj energiji za grejanje postiže se pre svega povećanjem zapremine akumulacionog rezervoara, a ne povećanjem površine PSE.

Prevelike površine PSE stvorile bi ogroman višak toplotne energije tokom letnjih meseci, koja ne bi mogla da se potroši, što bi izazvalo ozbiljna oštećenja SGS.

Grubo se procenjuje da površina PSE u SGS za zagrevanje prostora nikako ne sme da bude veća

od jedne i po površine PSE koji se koriste u SGS samo za zagrevanje PTV.

Na slici 1.4, prikazana je raspodela potrebne energije za zagrevanje prostora i potrošne tople vode tokom godine i mogućnosti njenog obezbeđivanje sa povećanjem površine PSE



Slika 1.4: Raspodela potrebne energije

Optimalno projektovan solarni sistem može zadovoljiti do 80% godišnjih potreba za PTV i oko 30% toplotne energije za zagrevanje prostora.

U Srbiji imamo oko 2200 sunčanih sati godišnje, što znači da se od 600 W/h – 1000 W/h po metru kvadratnom može dobiti od sunca. Ovaj podatak je dovoljan razlog da koristimo energiju sunca.

## 2. SOLARNO TERMALNI SISTEMI I NJIHOVE KOMPONENTE

### 2.1 UPOTREBA SOLARNO TERMALNIH SISTEMA

Kako upotrebiti sunčevu energiju, pitanje je koje često postavljamo sebi. Razvojem savremene tehnike energija se može sve kvalitetnije iskoristiti, a jedan od načina je primenom solarnih kolektora za razne svrhe. Kolektori se, prema nameni, dele na fotonaponske i toplotne. Fotonaponski kolektori proizvode električnu energiju a toplotni, toplotnu energiju. Fotonaponski se dalje dele prema materijalima od kojih su izrađeni (monokristalni, polikristalni,...).

Solarno termalni sistemi se koriste u sledeće svrhe:

- zagrevanje sanitarne, odnosno potrošne vode,
- zagrevanje tehničke vode,
- zagrevanje bazenske vode,
- zagrevanje prostora i/ili podrška grejanju i td.

### 2.2 OSNOVNE KOMPONENTE SOLARNIH SISTEMA

#### Solarni kolektori

Solarni kolektori, kao PSE, primaju sunčevo zračenje i apsorbuju toplotu koju preko radnog fluida prenose do spremnika toplote, u većini slučajeva do bojlera.

Na osnovu naučnih istraživanja za Srbiju, važe sledeći parametri:

- Potpuno vedro, sunčano nebo omogućava nam 1000 W/h po metru kvadratnom,

- Delimično vedro nebo 600 W/h po metru kvadratnom,
- Delimično oblačno 300 W/h po metru kvadratnom,
- Oblačno nebo 100 W/h po metru kvadratnom.

Sunčevo zračenje, bilo da je direktno ili indirektno, kao što se vidi, čak i u maglovitim danima dopire do površine kolektora i izvor je solarne energije. Može se uštedeti na dragocenom gorivu i time sniziti troškove, ali i emisije štetnih sastojaka u okolinu. Kod površine kolektora od samo 6m<sup>2</sup> izbegava se oslobađanje do 1000kg CO<sub>2</sub> godišnje.

### **Rezervoari- spremnici toplote**

Rezervoari u solarnim sistemima služe za akumulaciju toplote i zbog toga se još nazivaju i „Spremnici toplote“, bilo da se koriste kao postojeći rezervoari u sistemu grejanja za pripremu sanitarne vode ili kao posebni rezervoari koji akumuliraju sunčevu energiju tokom dana. Postoji nekoliko tipova ovih spremnika toplote, u zavisnosti koja im je namena (sanitarna topla voda, grejanje, zagrevanje vode u bazenima i njihova kombinacija), sa i bez izmenjivača toplote i električnog grejača.

### **Ostale komponente**

U ostale komponente solarnog sistema sadaju:

- Cirkulaciona pumpa, za potiskivanje vode kroz sistem,
- Ventili za ručnu i/ili automatsku regulaciju protoka vode kroz sistem,
- Senzori/davači temperature u rezervoaru, bazenu i kolektoru
- Kontroler, uređaj za automatsku regulaciju rada sistema.

## **3. TROŠKOVI ULAGANJA I ISPLATIVOST SISTEMA**

Cena opreme solarnog sistema za porodičnu kuću kod klasičnih solarnih kolektora kreće se od 1 500 € pa naviše, a zavisi od namene sistema i postojećeg stanja.

Kod MiniSolar cena okruglih solarnih kolektora je za 1/3 do 2/3 niža od klasičnih ravnih solarnih kolektora, što znatno pojeftinjuje ukupnu cenu solarnog sistema.

Uz trend rasta cene energenata, obračun potrošene energije u domaćinstvu sve više će ići u prilog korišćenju sunčeve energije.

Što se tiče isplativosti sistema, brojke kojima baratamo su od 4 do 8 godina, kod klasičnih kolektora, odnosno 2-3 godine kod ugradnje MS - OSK, pa čak i do 12 meseci kod STV za mala domaćinstva.

Ako se uzme u obzir da je vek trajanja solarnog sistema više od 30 godina, jasno proizlazi da je ugradnja solarnih sistema višestruko isplativa, kako u ekološkom tako i ekonomskom smislu.