

Određivanje snage sunčevog zračenja

U ovom radu je određivana snaga sunčevog zračenja korišćenjem posebno napravljenog detektora koji predstavlja model apsolutno crnog tela. Metoda se zasniva na određivanju snage zračenja izvora u zavisnosti od temperature ravnotežnog stanja detektora. Dobijen rezultat za snagu sunčevog zračenja za vreme vedrog letnjeg dana koji, uz relativnu grešku od 10 procenata (koja je posledica grube kalibracije), iznosi 660 ± 70 W. Korišćeni instrument i metoda se mogu upotrebiti i za merenja prozračnosti oblaka i atmosfere, kao i za procenu meteoroloških uslova.

Uvod

Uzimajući za prosečnu udaljenost Sunca od Zemlje 150 miliona kilometara, spoljašnji deo atmosfere Zemlje prima približno 1360 W/m^2 u svakoj sekundi. Ova vrednost varira ($\pm 2\%$) zbog fluktuacija u emisiji zračenja samog Sunca, kao i ($\pm 3.5\%$) zbog sezonskih promena u položaju Zemlje u odnosu na Sunce. Samo deo tog zračenja dospeva do Zemljine površine u zavisnosti od uslova u atmosferi. Prosečna transparentnost atmosfere se procenjuje na 60%.

U ovom radu je za određivanje snage sunčevog zračenja kao model apsolutno crnog tela korišćen posebno konstruisan uređaj da bi ispunjavao sledeće uslove:

1. Dovoljno veliki otvor za prijem sunčevog zračenja
2. Dobra izolacija od spoljašnjih faktora
3. Kratko vreme postizanja termodinamičke ravnoteže
4. Višestruka refleksija upadnih sunčevih zraka
5. Dobra termička provodljivost

Detektor se direktno izlaže sunčevom zračenju. Merenje se vrši kontinuirano u toku celog dana dok se temperatura, pomoću koje se dobija snaga sunčevog zračenja, očitava na svakih deset minuta. 17. i 18. avgusta 2001. po vedrom, sunčanom danu ispitano je funkcionisanje detektora.

*Aleksandar Petrović
(1985), Leskovac,
Mlinska 40, učenik 1.
razreda Gimnazije
"Stanimir Veljković
Zeke" u Leskovcu*

*Marko Simonović
(1985), Leskovac, 28.
marta 1E/22, učenik
1. razreda Gimnazije
"Stanimir Veljković
Zeke" u Leskovcu*

Konstrukcija uređaja

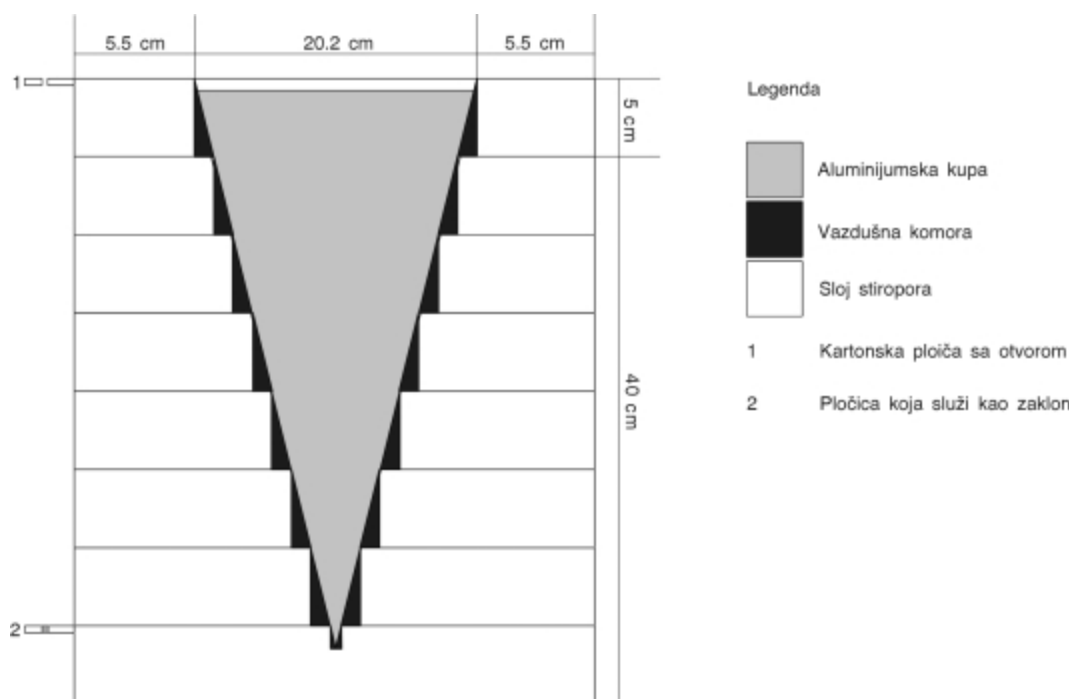
Detektor čini šuplja kupa od aluminijumskog lima debljine 1.2 mm. Prečnik otvora kupa je 20.2 cm, dok je njena visina 35 cm. Kako je ugao pri vrhu modela kupa približno 30°, omogućava se višestruka refleksija svetlosti što je neophodno zbog bolje apsorpcije zračenja.

Aluminijum od koga je kupa napravljena obezbeđuje njeno relativno brzo zagrevanje, samim tim i hlađenje. Radi bolje apsorpcije upadnog zračenja, kupa je iznutra ofarbana tankim slojem crne mat farbe na koju je naneta fina čađ pre nego što se boja osušila. Sloj ovakvog apsorpcionog materijala nije deblji od 0.3 mm, što doprinosi boljoj termičkoj provodljivosti. Ovakav sistem može da izdrži temperature do 120°C.

Kako bi se detektor izolovao od spoljašnjih uticaja (vetar, prašina, spoljašnja kolebanja temperature) i gubitaka energije kupa je obložena stiroporom debljine 5 cm sa svih strana kao što je prikazano na slici 1. U stiroporu je načinjena uzana šupljina koja vodi do sredine spoljašnje strane modela. U ovaj takođe izolovan prerez smešten je instrument za merenje temperature kupa. Kako bi se što preciznije odredilo da li sunčevi zraci padaju pod pravim uglom na bazu kupa, na gornjoj i donjoj ivici izolacije nalepljene su dve kartonske pločice. Na slobodnom kraju gornje pločice napravljen je otvor prečnika 3 mm kroz koji mogu da prolaze sunčevi zraci. Na donjoj pločici je pomoću viska i labela obeleženo mesto na ko-

Slika 1.
Skica uzdužnog preseka detektora sa izolacijom i mernim instrumentom

Figure 1.
Vertical intersection of the detector with isolating material and instrument for measuring temperature

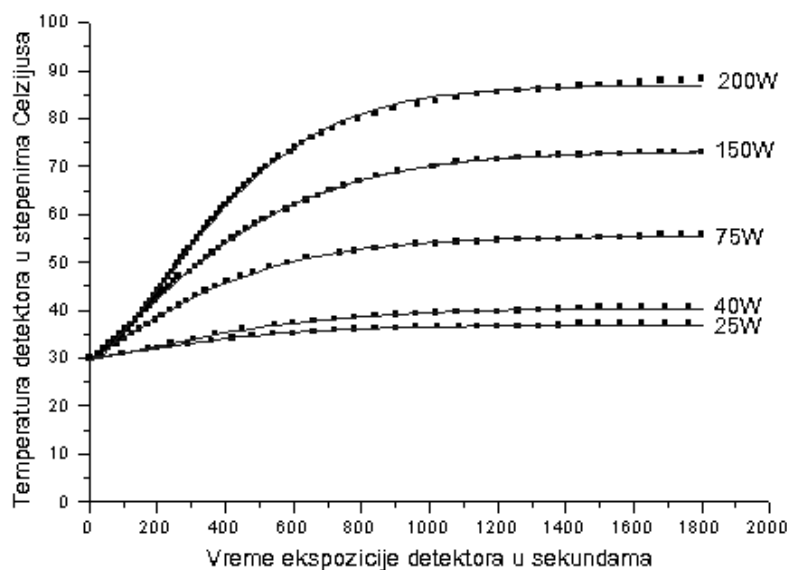


jem bi se videla svetla mrlja ukoliko bi zraci padali normalno na bazu kupe. Sve vreme merenja detektor je postavljen tako da sunčevi zraci koji prolaze kroz otvor na gornjoj pločici padaju na obeleženo mesto.

Kalibracija instrumenta

Kalibracijom instrumenta određena je temperatura detektora u stanju termodinamičke ravnoteže u zavisnosti od snage zračenja izvora.

Sijalica se korišćenjem stativa i kleme podesi tako da približno jedna polovina njenog zračenja odlazi u otvor metalnog konusa, a druga polovina u okolni prostor. Pod uticajem zračenja dolazi do zagrevanja kupe. Promenu temperature očitavamo na digitalnom meraču temperature. Pri promeni od 1°C vrši se beleženje vremena ekspozicije. Detektor se izlaže zračenju sve dok ne uđe u stanje termodinamičke ravnoteže. Ovaj postupak ponavljamo više puta za svaku sijalicu radi što tačnijeg određivanja temperature ravnotežnog stanja.



Slika 2.
Zavisnost temperature detektora od vremena za sijalice različite snage

Figure 2.
Temperature of the detector depending on time of exposition for lightbulbs of different powers

Obradom dobijenih rezultata za svaku sijalicu, dobijamo grafik temperature kupe u zavisnosti od vremena. Na slici 2 vidi se da je temperatura detektora na početku svakog merenja 30°C i da sa vremenom raste zavisno od snage sijalice.

Na osnovu ovog grafika dolazi se do zaključka da većoj snazi sijalice odgovara viša temperatura detektora u stanju termodinamičke ravnoteže. Kako koeficijent emisivnosti volframa iznosi 0.45, snaga ulaznog zračenja se dobija kada se polovina snage struje koju koristi sijalica po-

množi ovom vrednošću. Korišćenjem dobijenih podatka može se utvrditi temperatura detektora u ravnotežnom stanju zavisno od snage zračenja izvora. Ova zavisnost nije linearna zbog toga što je hlađenje konvekcijom (koje se ne može zanemariti u ovom slučaju) srazmerno razlici temperatura detektora i okoline, pa je za veću snagu izvora na višoj temperaturi hlađenje veće. Kod detektora, koji je korišćen u istraživanju, ovaj efekat je jasno izražen zbog njegove nesavršenosti.

Utvrđena je linearna zavisnost logaritma temperature T_{\max} od logaritma snage zračenja izvora P :

$$T_{\max} = a P^b \quad (1)$$

gde je $a = 0.42 \pm 0.04$, $b = 0.85 \pm 0.03$. Vrednost T_{\max} predstavlja razliku temperature ravnotežnog stanja detektora i temperature okoline. P predstavlja snagu upadnog zračenja sijalice i iznosi:

$$P = \frac{1}{2} e P_s \quad (2)$$

gde je P_s snaga struje koju troši sijalica, a e koeficijent emisivnosti volframa.

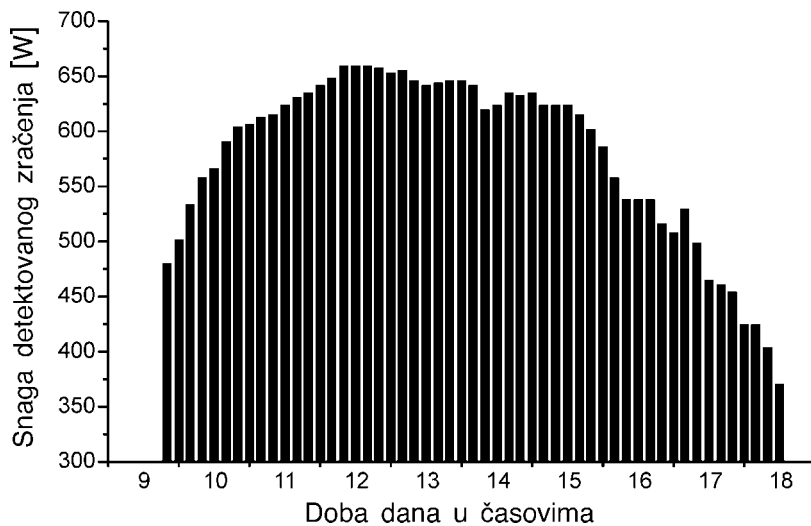
Rezultati merenja

Kako se sa slike 3 vidi, snaga sunčevog zračenja je polako rasla sve do dvanaest časova, kada je kulminirala, a zatim gotovo simetrično porastu opadala. Ovakvi rezultati su očekivani, jer je prirodno da pri prolasku kroz deblji sloj atmosfere dolazi do veće apsorpcije zračenja. Maksimalna snaga sunčevog zračenja na histogramu iznosi 660 W. Uz relativnu grešku od 10 procenata (koja je posledica grube kalibracije) konačni rezultat iznosi 660 ± 70 W.

Na osnovu dobijenih vrednosti za snagu sunčevog zračenja odredili smo koliko je zračenja atmosfera propustila na površinu Zemlje u trenutku kulminacije Sunca na dan merenja. Ako je P_{\max} maksimalna snaga zabeležena u toku merenja, P_0 snaga zračenja Sunca u jediničnom vremenu na jediničnu površinu van atmosfere, tada odnos ove dve veličine predstavlja procenat transparentnosti atmosfere i on iznosi $49 \pm 5\%$.

Takođe je moguće vršiti procenu stabilnosti vremenskih uslova u toku merenja. Poznato je da se odnos osvetljenosti koja dolazi sa dva nebeska tela može izraziti preko njihovih prividnih veličina. Kako je osvetljenost proporcionalna snazi zračenja može se pisati:

$$\frac{P_2}{P_1} = C^{m_1 - m_2} \quad (3)$$



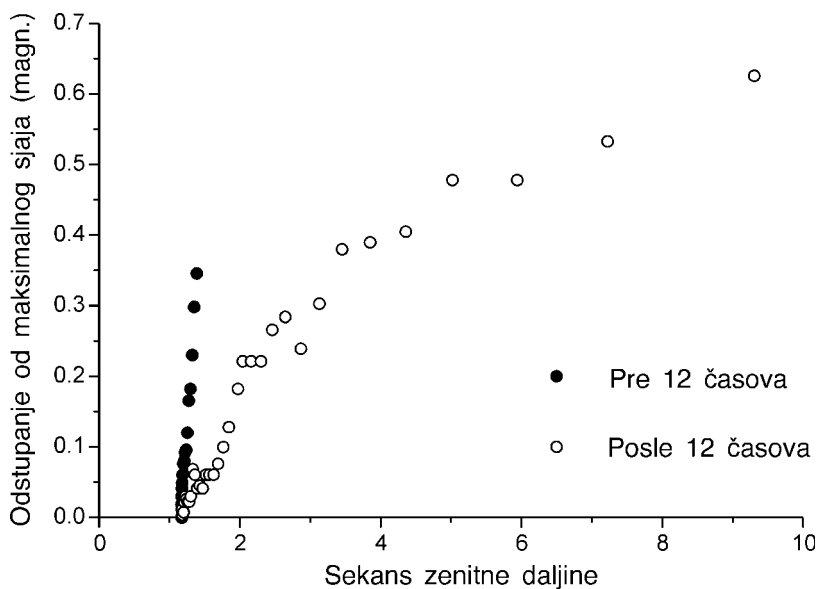
Slika 3.
Snaga detektovanog zračenja u zavisnosti od doba dana 18. avgusta 2001.

Figure 3.
Power of detected Sun's radiation between 9 and 18 hours on August 18th 2001

Ako je P_{\max} maksimalna snaga zabeležena u toku merenja, P snaga zračenja u datom trenutku, a Δm razlika prividnih veličina Sunca u ta dva položaja, tada očigledno važi:

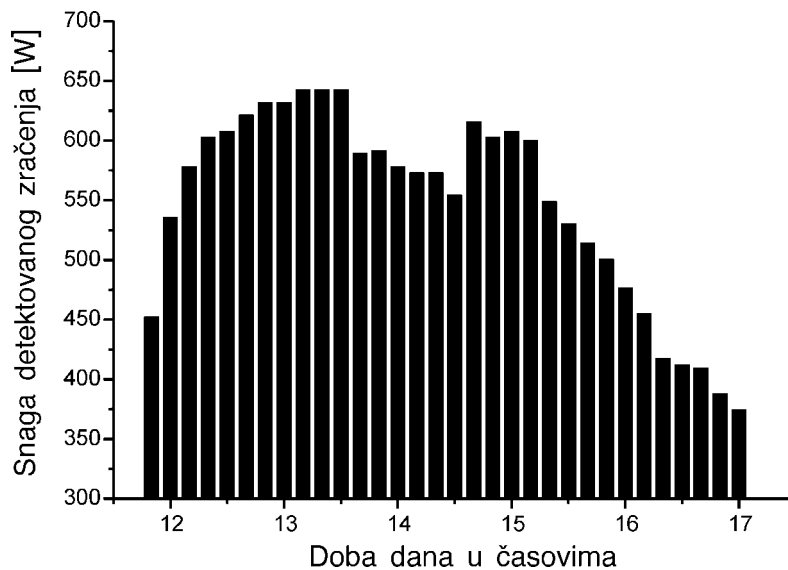
$$\Delta m = \frac{\log P_{\max} - \log P}{0.4} \quad (4)$$

Za svako merenje smo odredili razliku prividne veličine Sunca i zenitnu daljinu na osnovu zabeleženog doba dana. Zavisnost promene prividne



Slika 4.
Odstupanja snage sunčevog zračenja od maksimalne merene snage sunčevog zračenja u zavisnosti od zenitne daljine

Figure 4.
Varying of Sun's radiation power in comparison with the maximal measured power as a function of zenith distance



Slika 5.
Grafik detektovanog zračenja prilikom prelaska oblaka preko sunčevog diska 17. avgusta 2001.

Figure 5.
Radiation detected during the passing of a cloud over the Sun's disk

veličine od sekansa zenitne daljine je linearna funkcija pa na osnovu odstupanja dobijenih vrednosti od ove funkcije može se govoriti o stabilnosti meteoroloških uslova. Za merenja 18. avgusta dobijen je grafik na slici 4.

Može se uočiti da su do podneva vremenski uslovi bili stabilniji nego posle podneva. Ova vremenska nestabilnost se može videti i na slici 3 gde je očigledno variranje zabeležene snage u popodnevnom časovima.

Ukoliko za vreme merenja preko sunčevog diska pređe oblak, detektuje se pad snage sunčevog zračenja. Razlog je veća apsorpcija zračenja u oblaku. Na slici 5 vidi se pad u snazi sunčevog zračenja od 13^h30^{min} do 14^h40^{min}. Na osnovu zabeležene snage neposredno pre prolaska oblaka, odredili smo njegov stepen prozračnosti. U konkretnom slučaju za oblak iz grupe cirusa, stepen prozračnosti je iznosio 90%.

Zaključak

Konstruisani detektor sunčevog zračenja se pokazao vrlo pogodnim, pre svega za merenja na terenu. Njegova konstrukcija je jednostavna, što doprinosi lakom rukovanju. Detektor se može koristiti i u meteorološkim ispitivanjima, pre svega kada je potrebno određivati veličine koje zavise od snage sunčevog zračenja na površini Zemlje.

Aleksandar Petrović and Marko Simonović

Determination of Sun's Radiation Power

In this project we determined the power of the Sun's radiation by using a specially designed detector, a version of the black body model. The method is based on the relation between radiation power and temperature of the detector in thermal equilibrium. The detector can be used for measuring the transparency of atmosphere clouds, as well as for estimating the stability of weather conditions. Simplicity of construction makes this detector easy-to-use and suitable for fieldwork.

