



UNIVERZITET U NOVOM ŠADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Analiza empirijskih formula za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja

- diplomski rad -

Mentori:
prof. Darko Kapor
doc. Branislava Lalić

Kandidat:
Aleksandar Janković

Novi Sad, 2009.

Sadržaj

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| <u>1</u> | <u>Uvod</u> | 3 |
| 1.1 | O Sunčevom zračenju u atmosferi | 3 |
| 1.2 | Merenje globalnog zračenja | 10 |
| 1.3 | Modeliranje Sunčevog zračenja | 12 |
| 1.4 | Statističko modeliranje i empirijske formule za procenu globalnog zračenja | 13 |
| 1.4.1 | Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu trajanja Sunčevog sjaja | 13 |
| 1.4.2 | Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu oblačnosti | 14 |
| 1.4.3 | Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih dnevnih temperatura vazduha i suma padavina | 15 |
| 1.4.4 | Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih temperatura vazduha | 15 |
| 1.4.5 | Procena dnevnog globalnog zračenja koristeći podatke sa drugih met. stanica | 16 |
| <u>2</u> | <u>Materijal i metod</u> | 17 |
| 2.1 | Opis lokaliteta i setova podataka | 17 |
| 2.1.1 | Novi Sad (Poljoprivredni fakultet) | 17 |
| 2.1.2 | Zeleno Brdo | 17 |
| 2.1.3 | Košutnjak | 18 |
| 2.1.4 | Pančevo | 18 |
| 2.1.5 | Podaci o oblačnosti, trajanju Sunčevog sjaja i dnevnim sumama globalnog zračenja na vrhu atmosfere | 18 |
| 2.2 | Obrada podataka | 18 |
| <u>3</u> | <u>Rezultati</u> | 21 |
| 3.1 | Angstrom-Preskotov metod | 21 |
| 3.2 | Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja | 24 |
| <u>4</u> | <u>Zaključak</u> | 31 |

1 Uvod

1.1 O Sunčevom zračenju u atmosferi

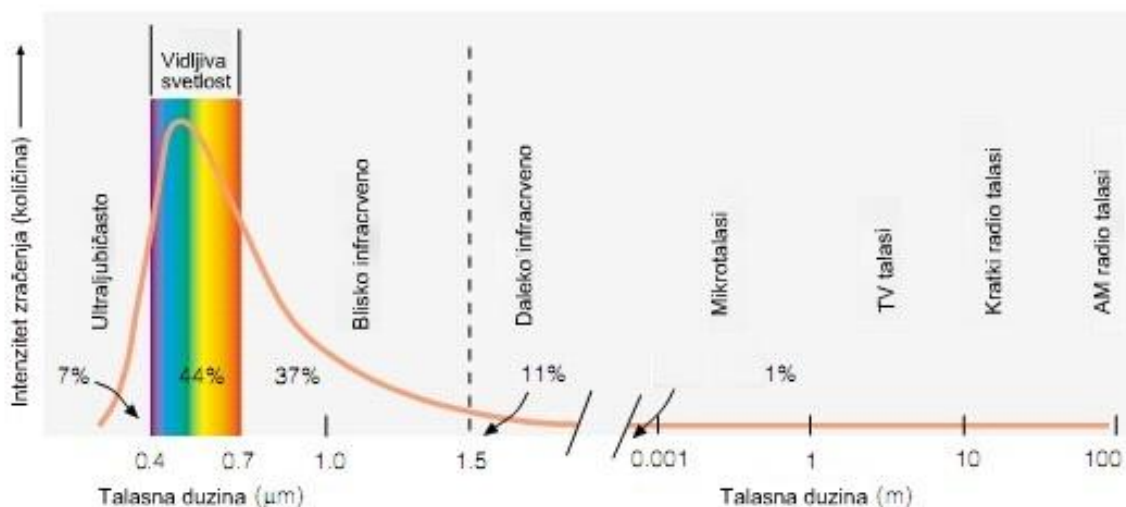
Skoro čitava razmena energije između Zemlje i vasionkog prostora odvija se putem zračenja. Svako telo, pa tako i Zemlja i Sunce, emituju zračenje. Zemlja i njena atmosfera apsorbuju Sunčevo zračenje, a sa druge strane neprekidno emituju zračenje u Svemir.

Emitovano elektromagnetno zračenje, kako Zemlje, tako i Sunca se kreće brzinom svetlosti. Energiju ovog zračenja nose talasi. Talasna dužina emitovanog zračenja najviše zavisi od temperature tela. Prema Vinovom (Wien) zakonu, talasna dužina koja odgovara maksimalnom intenzitetu u spektru emitovanog zračenja će biti kraća ukoliko je viša temperatura tela. Tela više temperature emitovaće zračenje većeg intenziteta nego tela niže temperature, što je opet opisano Štefan-Bolcmanovim (Stefan i Boltzmann) zakonom. Raspodela energije elektromagnetnog zračenja po talasnim dužinama naziva se elektromagnetni spektar. Njega sačinjavaju: gama zraci, rentgenski zraci, ultraljubičasti zraci, vidljiva svetlost, infracrveno zračenje, mikro-radio talasi, TV talasi i radio talasi

Sva energija koju Zemlja prima iz Svemira i koja je pokretač atmosferskih kretanja potiče od Sunca. Sunce je udaljeno od Zemlje oko 149.5 miliona kilometara i zvezda je prosečnih dimenzija i temperature. Ono spada u zvezde sa izrazito stabilnim režimom zračenja tako da se njeno zračenje može smatrati konstantnim. Sačinjena je uglavnom od vodonika (H) i helijuma (He), pored njih su приметni u manjim količinama gvožđe (Fe), silicijum (Si), neon (Ne) i ugljenik (C). Najveći deo energije Sunca se generiše u procesima nuklearne fuzije, koja se odvija samo pri visokim temperaturama (reda miliona K) u unutrašnjim slojevima Sunca.

Najveći deo elektromagnetnog zračenja koje stiže na Zemlju, se generiše u fotosferi, koja se smatra površinom Sunca. Temperatura fotosfere varira od 4000 K do 8000 K, a za prosečnu se smatra negde oko 5800 K. Zračenje Sunca se u velikoj meri podvrgava Stefan - Bolcmanovom zakonu zračenja crnog tela i može se smatrati da se ponaša kao crno telo. Kao što se može videti i iz ovog zakona, maksimum Sunčevog zračenja je na $0,476 \mu m$. Naše oči su osetljive na elektromagnetno zračenje između $0,4 \mu m$ i $0,76 \mu m$, pa stoga ta oblast elektromagnetnog zračenja se naziva vidljivom svetlošću. Elektromagnetno zračenje ispod $0,4 \mu m$ se naziva ultraljubičasto, ultravioletno ili UV zračenje, a iznad $0,76 \mu m$ infracrveno. Od

ukupne energije koja se generiše na Suncu, 48 % odlazi na infracrvenu, 44 % na vidljivu i 7 % na ultraljubičastu oblast (Sl. 1.1).



Slika 1.1 Spektar Sunčevog elektromagnetnog zračenja (Ahrens, 2007).

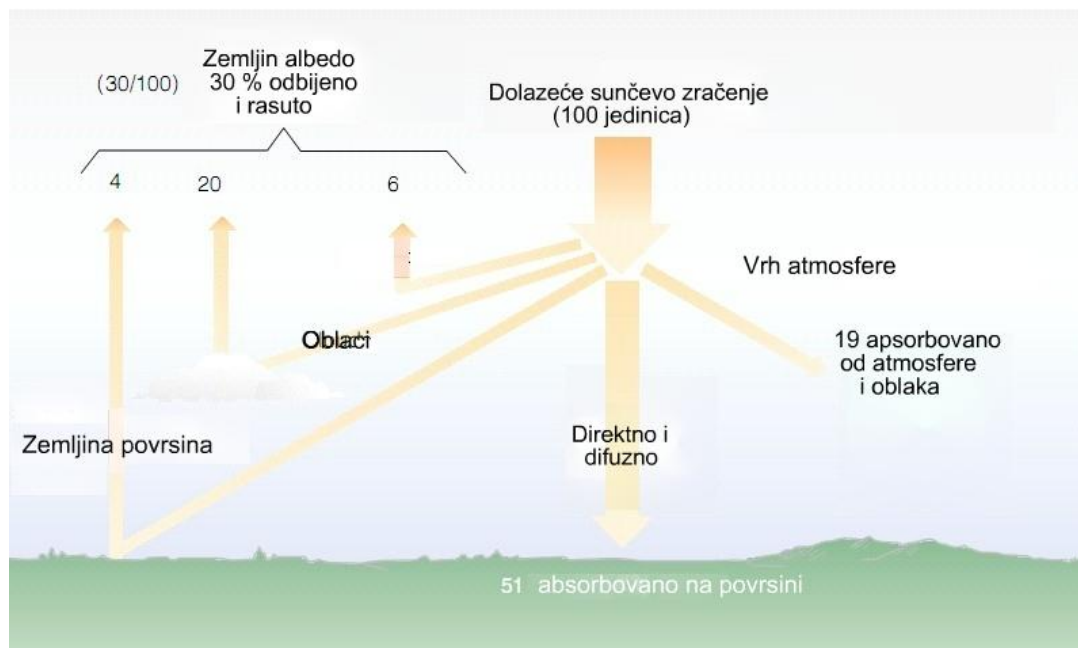
Bilans kratkotalasnog zračenja. Solarna konstanta S_0 je veličina koja karakteriše ukupnu količinu Sunčeve energije koja stiže do gornje granice atmosfere. Definiše se kao fluks Sunčeve energije koji prolazi kroz jediničnu površinu koja leži normalno na pravac prostiranja Sunčevih zraka pri srednjem rastojanju Zemlje od Sunca od 149.5 miliona kilometara. Prihvaćena vrednost solarne konstante je 1368 W/m^2 , dok vrednost osrednjena za celokupnu površinu Zemljine sfere iznosi 342 W/m^2 . U slučaju odsustva atmosfere količina zračenja koja dospe na jediničnu površinu Zemlje u jedinici vremena, ili insolacija, definisana je preko formule:

$$S = S_0 \left(\frac{d_s}{d_t} \right)^2 \cos \xi \quad (1.1.)$$

gde član $(d_s/d_t)^2$ predstavlja varijaciju udaljenosti Zemlje od Sunca, a ξ zenitni ugao. Ovako izračunati iznos energije zračenja ne dospeva i na jediničnu površinu Zemlje. Koliki iznos energije će dospeti na Zemljinu površinu određeno je različitim faktorima koji dovode do slabljenja intenziteta zračenja pri prolasku kroz atmosferu. U meteorologiji uobičajeno je da se za gustinu fluksa energije koristi izraz "intenzitet zračenja", što će i nadalje biti korišćeno u ovom tekstu. Postoje tri grupe faktora koje određuju interakciju Sunčevog zračenja sa Zemljinom atmosferom i njenom površinom:

- A) geometrija Zemlje, revolucija i rotacija (deklinacija, geografska širina i zenitni ugao)
- B) karakteristike zemljišta (nadmorska visina, albedo, nagib, orijentacija i senka)
- C) sastav atmosfere koji dovodi do difuzije i apsorpcije zračenja od strane:
 - 1) gasova (molekula vazduha, ozona (O_3), ugljendioksida (CO_2) i molekula kiseonika (O_2))
 - 2) čvrstih i tečnih čestica (aerosoli, kao i nekondenzovana voda)
 - 3) oblaka (kondenzovana voda)

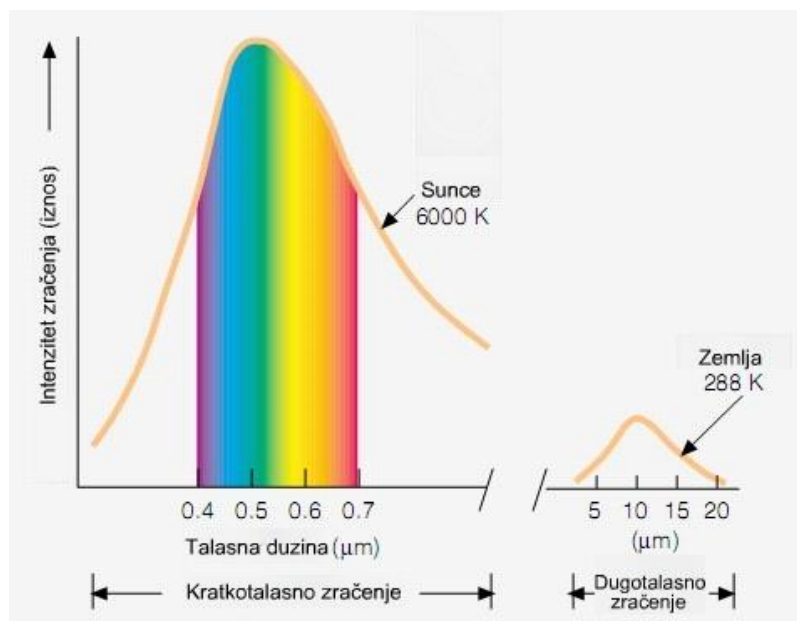
Atmosfera se sastoji od 78,08 % azota (N), 20,95 % kiseonika (O), 0,93 % argona (Ar), zatim u veoma malim količinama ugljendioksida (CO_2), vodonika (H), metana (CH_4) i ugljenmonoksida (CO). Atmosferu još čine i promenljive komponente od kojih su za zračenje najbitnije vodena para (H_2O) i ozon (O_3). Rasejanje predstavlja fizičku pojavu pri kojoj čestica koja se nalazi na putu elektromagnetnog zračenja postaje izvor zračenja koje se rasejava u svim pravcima. Svetlost se kreće umanjenom brzinom u nekoj sredini zbog interakcije njenog električnog polja sa elektronima molekula (atoma) te sredine. Molekuli atmosfere postaju izvor, tako što njihovi elektroni uzimaju energiju električnog polja zračenja za svoje pojačano oscilovanje, a zatim je reemituju u svim pravcima, ali u manjem iznosu zbog apsorpcije. Količina i smer rasejanog zračenja zavisi isključivo od veličine čestice i talasne dužine zračenja koje dospeva na nju. Male čestice rasejavaju zračenje podjednako i napred i nazad, dok kod velikih dolazi do rasejanja energije uglavnom unapred. Postoje dve granične vrste rasejanja, Rejljevo i Mi rasejanje. Ako se zračenje rasejava na česticama čije su dimenzije manje od talasne dužine upadnog zračenja, onda se ovakvo rasejanje naziva Rejljevo. Upravo zbog Rejljevog rasejanja je i nebo plavo jer mali molekuli vazduha najbolje rasejavaju kraće talasne dužine - najbolje plavu boju iz vidljivog dela spektra. Sunčevo zračenje, kao što je pomenuto, može biti i apsorbovano u atmosferi. Sa druge strane Mi rasejanje se odvija na česticama čije su dimenzije iste ili veće od dimenzija talasne dužine upadnog zračenja. Najčešće je uzrokuju prašina, polen, dim i vodena para u nižim slojevima troposfere, gde je koncentracija krupnijih čestica viša. Mi rasejanje dominira kada je prekrivenost neba oblacima velika.



Slika 1.2 Bilans kratkotalsnog zračenja na površini Zemlje i u atmosferi. (Ahrens, 2007)

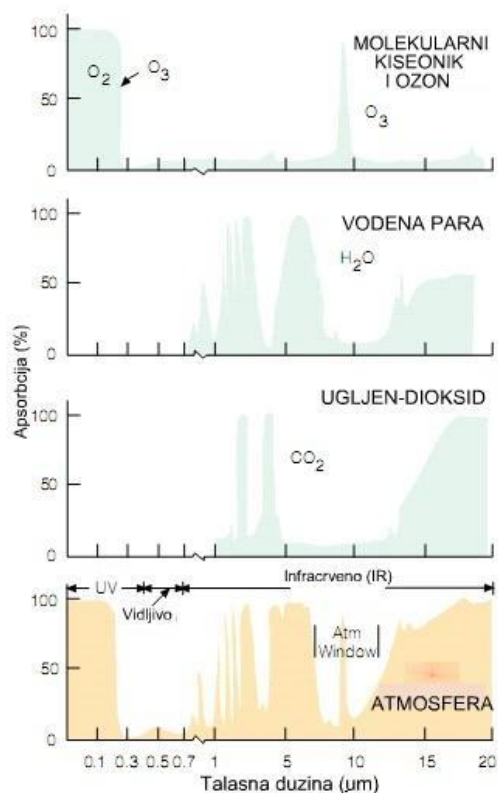
Kao važnog apsorbera kratkotalsnog zračenja treba pomenuti ozon. Ozon je veoma bitan kao dobar apsorber ultraljubičastog Sunčevog zračenja, koje je štetno za živi svet na Zemlji. Najveće količine ozona mogu se naći u stratosferi.

Sunčevo zračenje dospeva od Sunca do vrha atmosfere u nepromenjenom obliku. Ako kao takvo stigne i do Zemljine površine, izbegavši apsopciju, rasejanje ili refleksiju, onda govorimo o direktnom zračenju, dok se u suprotnom radi o difuznom zračenju. Suma direktnog i difuznog zračenja je globalno zračenje, a udeo ove dve komponente u globalnom zračenju zavisi od prozračnosti atmosfere, oblačnosti i položaja Sunca. Veća oblačnost, manja prozračnost atmosfere i niži položaj Sunca, dovodi do povećanja difuznog zračenja i smanjenja direktnog. U proseku, od ukupnog iznosa Sunčeve energije koja dolazi do vrha atmosfere, oko 30 % biva reflektovano nazad u Svemir, dok 19 % apsorbuju atmosfera i oblaci, a 51 % Zemljina površina (Sl. 1.2). S obzirom da se albedo površine izračunava kao odnos intenziteta globalnog i reflektovanog zračenja sa te površine, proizilazi da je albedo Zemlje 0,3.



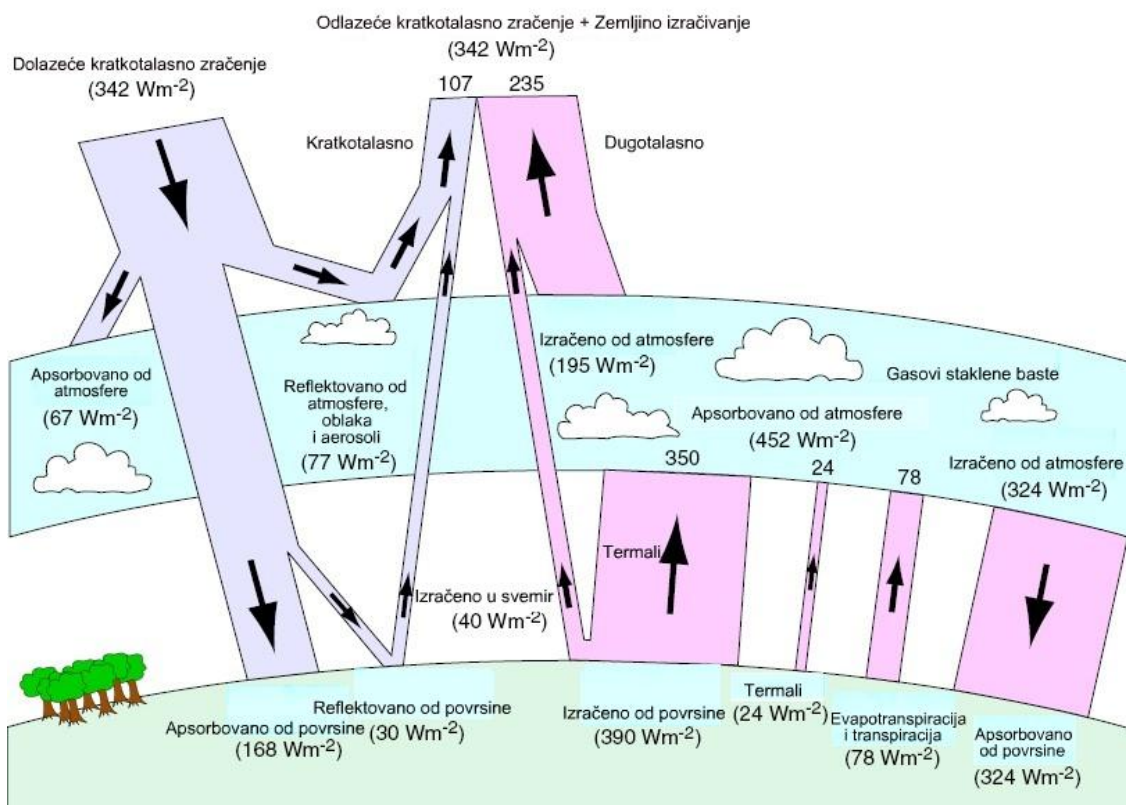
Slika 1.3 Energetski spektar zračenja Sunca i Zemlje (Ahrens, 2007)

Bilans dugotalasnog zračenja. Zemlja sa svojom prosečnom površinskom temperaturom od oko 288 K, emituje energiju u vidu dugotalasnog zračenja talasnih dužina u intervalu od $5 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$, sa maksimumom na $10 \mu\text{m}$ (Sl. 1.3). Zahvaljujući specifičnom sastavu atmosfere, a pre svega prisustvu ugljendioksida (CO_2), vodene pare (H_2O) i ozona (O_3), površinska temperatura Zemlje iznosi, u proseku, 15°C (288 K), umesto -18°C (255 K) kolika bi bila u odsustvu atmosfere, što čini planetu pogodnim mestom za život. Uzroci ove pojave leže u karakteristikama apsorpcionih spektara pomenutih gasova (Sl. 1.4).



Slika 1.4 Propustljivost atmosfere i njenih komponenata za Sunčevu zračenje. (Ahrens, 2007)

Naime, vodena para (H_2O) i ugljendioksid (CO_2) su dobri apsorberi infracrvenog, a slabi vidljivog Sunčevog zračenja (Slika 1.4). Kako ovi gasovi apsorbuju infracrveno zračenje emitovano sa Zemlje, srednja kinetička energija njihovih molekula se povećava. Ovu energiju oni delimično predaju u sudarima sa susednim molekulima kiseonika i azota, povećavajući srednju kinetičku energiju, a time i temperaturu vazduha. Pored toga što apsorbuju infracrveno zračenje, molekuli ugljen dioksida (CO_2) i emituju infracrveno zračenje. Ovo zračenje putuje u svim pravcima. Jedan deo zračenja se vraća ka Zemlji, gde ga površina apsorbuje povećavajući svoju temperaturu. Površina Zemlje ponovo zrači dugotalasno infracrveno zračenje na gore, gde opet dolazi do njegove apsorpcije i zagrevanja troposfere. Tako se može zaključiti da vodena para (H_2O) i ugljendioksid (CO_2) apsorbuju i emituju infracrveno zračenje ponašajući se kao sloj gasa oko Zemlje, koji ne dozvaljava istom tom



Slika 1.5 Energetski bilans Zemlje i atmosfere. (Kirkby, 1998)

zračenju da napusti atmosferu, što dovodi do povećavanja srednje temperature Zemljine površine za čak 33 C^0 .

Bilans zračenja u sistemu Zemlja-atmosfera. Raspodela intenziteta dugotalasnog i kratkotalasnog zračenja na površini Zemlje i u atmosferi detaljno je prikazana na Slici 1.5. Sa slike se vidi da od 342 W/m^2 koje dođe na vrh atmosfere, 67 W/m^2 biva apsorbovano u atmosferi (19 %), 77 W/m^2 se reflektuje od atmosfere i oblaka, a 30 W/m^2 se reflektuje od Zemlje, što daje ukupnu vrednost zračenja od 107 W/m^2 koje se vraća nazad u Svemir, odnosno 30% od ukupnog dolazećeg kratkotalasnog zračenja. Ostatak od 168 W/m^2 apsorbuje Zemljina površina i ovo zračenje registruju instrumenti kao globalno Sunčevo zračenje. Sa druge strane, ako se pogleda dugotalasno izračivanje zemljine površine ono iznosi 390 W/m^2 , na to se dodaje još 24 W/m^2 koje se izgubi kondukcijom i konvekcijom i 78 W/m^2 koje se gubi evapotranspiracijom. Od izračenih 390 W/m^2 sa Zemljine površine, 40 W/m^2 odlazi nepovratno u Svemir, što znači da 350 W/m^2 apsorbuje atmosfera. Na to sve se još dodaje 67 W/m^2 od dolaznog kratkotalasnog zračenja i dobija se iznos od 519 W/m^2 koje apsorbuje atmosfera. Deo ovog se izrači u svemir kao dugotalasno zračenje (195 W/m^2), a deo se vrati nazad na Zemlju protivzračenjem atmosfere (324 W/m^2).

Na kraju, ako se pogleda koliko zračenja ulazi u sistem Zemlja-atmosfera, a koliko izlazi, vidi se da je to isti iznos, što dovodi do zaključka da su u balansu dolazeće Sunčevo zračenje i odlazeće dugotalasno Zemljino izračivanje, što je preduslov za stabilnu klimu. U slučaju da postoji energetska višak, tj. ukoliko bi Zemlja primala više energije no što bi izračivala, svake godine bi postajala sve toplija. Ovo je problem sa kojim se suočavamo poslednjih decenija. Naime, nekontrolisan porast sadržaja ugljendioksida (CO₂), vodene pare (H₂O) i ozona (O₃), tzv. gasova „staklene bašte”, doveo je do povećanja iznosa dugotalasnog zračenja koje ovi apsorbuju u atmosferi, a samim tim i do porasta temperature atmosfere.

1.2 Merenje globalnog zračenja

Intenzitet direktnog Sunčevog zračenja meri se instrumentima pirheliometrima, dok se intenzitet difuznog, globalnog i reflektovanog zračenja meri piranometrima. Najčešće su u upotrebi instrumenti koji funkcionišu na principu termoelemenata.

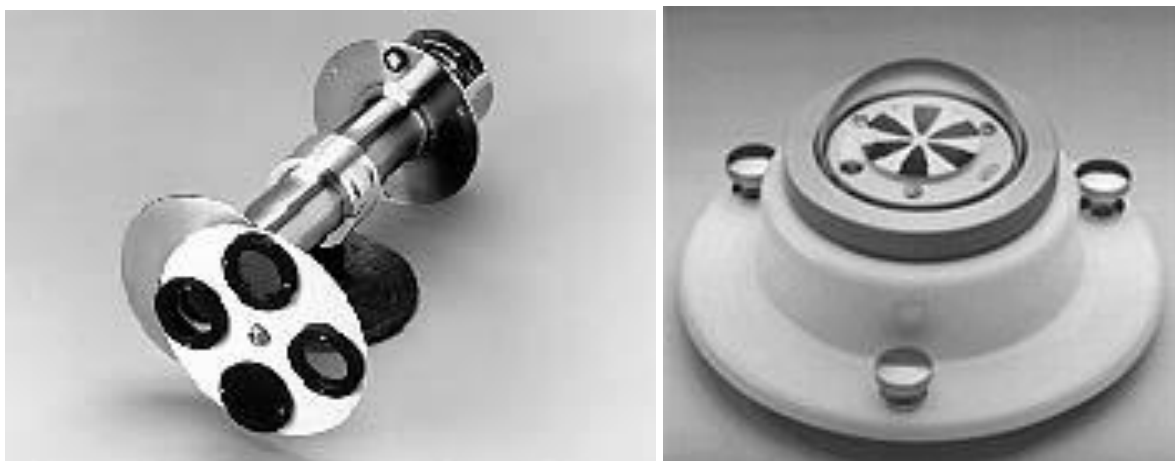
Termoelement je jednostavan sistem u kom se vrši transformacija toplotne u električnu energiju pa se može smatrati generatorom jednosmerne struje. To je spoj dva različita metala kroz koji teče jednosmerna električna struja ako se spojevi drže na različitim temperaturama. Nju generiše termoelektromotorna sila, koja je veoma mala, svega nekoliko desetina mikrovolti po jednom temperaturnom stepenu razlike. Zbog toga se termoelement ne koristi kao generator, nego za merenje razlike temperatura koja predstavlja meru nekog toplotnog efekta.

Uglavnom se kod piranometara i pirheliometara, prijemnik sastoji od više termoelemenata koji sačinjavaju termobateriju. Jedan spoj termoelementa, u termobateriji zagreva se pod uticajem zračenja, dok se drugi spoj održava na konstantnoj temperaturi.

Pirheliometar Epli (Eply). Zračenje pada na dva koncentrična srebrna prstena (Sl. 2.1). Spoljašni je prekriven magnezijum-oksikom, a unutrašnji čađu. Termobaterija meri razliku temperatura između dva prstena. S obzirom da je namenjen za merenje direktnog Sunčevog zračenja, instrument uvek mora biti okrenut prema Suncu. Osetljiv je na talasne dužine u opsegu od 0,28 do 3 μm .

Piranometar Mol-Gorčinski (Moll-Gorczyński). Termospojevi su napravljeni od veoma tankih zacrnjenih traka mangana i konstantana zalemljenih kalajem u sredini, a krajevima za bakarne priključke. Izdignuti priključci su zalepljeni za masivnu mesinganu ploču. Tanka presvlaka, između priključaka i ploče, obezbeđuje električnu izolaciju bez

narušavanja termičkog kontakta. Aktivni spojevi, tj. oni koji primaju zračenje su poređani duž mesingane ploče, dok se neaktivni spojevi nalaze na vrhu priključka. Termobaterije smeštene su ispod dve staklene kupole, veća prečnika 50 mm i manja prečnika 30 mm, koje prijemnu površinu štite od mehaničkih oštećenja. Horizontalni položaj prijemnika obezbeđuje sa libelom. Ispod prijemnika nalazi se posuda sa higroskopnom materijom koja omogućuje da što manja količina vlage bude prisutna ispod kupola. Za merenje intenziteta Sunčevog zračenja uz ovaj prijemnik koristi se ili milivoltmetar ili galvanograf, zbog čega je potrebno odrediti instrumentalnu konstantu. Ovim piranometrom meri se intenzitet globalnog Sunčevog zračenja, zatim difuznog i reflektovanog zračenja. Difuzno zračenje se meri tako što se stavlja poseban metalni poluprsten iznad prijemnika (Mihailović, 1988).



Slika 2.1. Pirheliometar Epli i piranometar Janiševskij

Piranometar Janiševski (Janiševskij). Upotrebljava se za merenje intenziteta difuznog, globalnog i zračenja reflektovanog od površine Zemlje. Prijemnik se sastoji od crnih i belih kvadratnih polja raspoređenih u vidu šahovskog polja ili od crnih i belih ugaonih segmenata koji su radijalno raspoređeni. Termoelementi su napravljeni od uskih traka mangana i konstantana. Aktivni spojevi su presvučeni čađu, dok su neaktivni spojevi presvučeni magnezijumom. Prijemni deo je zaštićen staklenom kupolom koja propušta zračenje u opsegu talasnih dužina od $0,3 \mu m$ do $100 \mu m$. On se postavlja na otvorenom prostoru i priključuje se za galvanometar ili galvanograf.

1.3 Modeliranje Sunčevog zračenja

Kao što je već ranije pomenuto postoje tri grupe faktora koje određuju interakciju Sunčevog zračenja sa Zemljinom atmosferom i njenom površinom. Ukoliko se Sunčevo zračenje želi modelirati, potrebno je što više ovih procesa uključiti u model. Svi modeli koji se bave modeliranjem interakcije Sunčevog zračenja sa atmosferom za potrebe atmosferskih modela mogu da se podele u dve grupe.

Prva grupa se bazira na astrofizičkim svojstvima Zemlje, fizici atmosfere i geometriji mesta za koju se procenjuje zračenje i takvo modeliranje se naziva fizičkim modeliranjem. Uobičajeno je da se modeliraju odvojeno kratkotalasno i dugotalasno zračenje.

Kada je u pitanju modeliranje kratkotalasnog zračenja, ono se obično podeli u dva dela – apsorbovani i rasejani. U višim slojevima atmosfere, dolazeće kratkotalasno zračenje interaguje sa komponentama atmosfere, kao što su molekuli gasa, aerosoli, vodena para i oblaci. Deo ovog zračenja usled refleksije se vraća nazad u svemir, a drugi deo nastavlja niz interakcija u atmosferi, kao što su rasejanje, apsorpcija ili refleksija. Koji od ovih procesa će biti razmotren, i na kojim komponentama atmosfere zavisi od modela. Npr. veliki broj modela ne uključuje rasejanje na aerosolima, jer je previše komplikovano, kao i refleksiju kratkotalasnog zračenja od baze oblaka.

Kod modeliranja dugotalasnog zračenja se koriste razna pojednostavljenja, kako bi se izbegla velika potrošnja računskog vremena. Oblaci se tretiraju kao jedna beskonačna izotermna atmosfera koja zrači kao crno telo, a površina Zemlje se takođe tretira kao površina koja zrači kao apsolutno crno telo. Pretpostavlja se da je atmosfera sastavljena od planparalelnih slojeva homogenih u horizontalnom pravcu, i da može da se zanemari rasejanje na molekulima vazduha uz pretpostavku da je atmosfera izotropna.

Drugu grupu modela čine oni koji se baziraju na statističkim podacima ili podacima dobijenim satelitskim osmatranjima. Ovakav pristup se naziva statističkim modeliranjem. Ovakvu metodologiju možemo podeliti na sledeće teme:

- A) opisna statistička analiza za svako mesto i period godine i statističko modeliranje osmotrene empirijske raspodele učestalosti;
- B) istraživanje statističke veze između komponenata Sunčevog zračenja, u ovom slučaju globalnog zračenja i drugih dostupnih meteoroloških parametara, kao što su trajanje Sunčevog sjaja, oblačnosti i temperature vazduha;

- C) prognoze vrednosti Sunčevog zračenja za dato mesto bazirano na istorijskim podacima.

1.4 Statističko modeliranje i empirijske formule za procenu globalnog zračenja

Podaci o dnevnoj sumi globalnog zračenja su potrebni velikom broju modela, a pre svega ekološkim, fiziološkim i agrometeorološkim modelima. Značajan broj agrometeoroloških modela se bavi modeliranjem rasta i razvoja biljaka, te je za njih od presudnog značaja što preciznije izračunavanje intenziteta fotosinteze, kao i potencijalne i stvarne evopotranspiracije. Sve navedene veličine zavise od intenziteta globalnog zračenja koje stiže do površine Zemlje.

Za potrebe statističkog modeliranja globalnog zračenja neophodno je obezbediti kontinuirani niz izmerenih vrednosti zračenja što je veoma teško. Takođe, mali broj stanica poseduje instrumente koji registruju i mere globalno zračenje. Na svakih 500 stanica, posmatrano na globalnom nivou, dolazi jedna koja meri zračenje. Većina tih stanica meri alternativne meteorološke promenljive, trajanje Sunčevog zračenja, pokrivenost oblacima, temperaturu vazduha ili padavine. Za stanice gde se globalno zračenje ne meri ili delom nedostaje, potrebne su tehnike za procenu globalnog zračenja iz drugih raspoloživih podataka. Najčešće korišćen metod je baziran na empirijskim vezama i zahteva razvoj jednačina za procenu Sunčevog zračenja u zavisnosti od najčešće merenih meteoroloških promenljivih. Uglavnom kao ulazni podaci se koriste oni podaci koji su najviše dostupni i koji se najčešće mere, kao što su trajanje Sunčevog sjaja, temperatura vazduha, temperatura vazduha u kombinaciji sa oblačnošću i temperatura vazduha u kombinaciji sa ukupnim dnevnim padavinama (Trnka, 2005).

1.4.1 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu trajanja Sunčevog sjaja

Prvo je Angstrom (Ångstrom) 1924. godine napravio model za procenu dnevne sume globalnog zračenja, R_g koristeći vezu između izmerenog trajanja Sunčevog sjaja, maksimalne dužine dana i ukupnog zračenja realne atmosfere za potpuno bezoblačan dan R_{max} . S obzirom da ova formula nije pogodna za stanice gde podaci za zračenje nisu dostupni, Preskot

(Prescott) je 1940. godine predložio poboljšanu verziju Angstromove relacije. Prema ovoj relaciji je dnevna suma globalnog zračenja, G_d zavisna od dnevne sume Sunčevog zračenja koja stiže na vrh atmosfere, G_a i relativnog trajanja Sunčevog sjaja, S_r

$$G_d = G_a (a_a + b_a S_r) \quad (1.2)$$

gde su a_a i b_a su empirijski koeficijenti za datu stanicu. Fizički smisao koeficijenta a_a je da predstavlja odnos Sunčevog zračenja koje stigne do Zemljine površine i Sunčevog zračenja koje stiže na vrh atmosfere u toku potpuno oblačnog dana, dok fizički smisao zbira ova dva koeficijenta $a_a + b_a$, je da predstavlja odnos iste ove dve veličine, ali u toku potpuno bezoblačnog dana. Vrednosti koeficijenata najviše zavise od geografskog položaja mesta za koju se određuju. Angstrom-Prescottov metod je baziran na linearnoj vezi između promenljivih. Drugi metod uključuje statističku analizu veza između dnevnog globalnog zračenja i izmerenih trajanja relativnog Sunčevog sjaja u Češkoj od 1960 do 1979 (Klabzuba, 1999):

$$G_d = 7.19 + 0.258 \cdot S_r - 9.28 \cdot 10^{-6} G_r + 22.9 \left(\frac{D}{365} - 174.7 \right)^2 \quad (1.3)$$

gde se D odnosi na redni broj dana u godini. Procena dnevne sume globalnog zračenja, G_d iz ove formule je namenjena za primenu u modelima za procenu rasta i razvića biljaka. Metod je jednostavan, ali može biti korišćen samo u sličnim klimatskim i orografskim uslovima. Za širu upotrebu bilo bi neophodno izračunati vrednosti empirijskih konstanti i parametra b na osnovu osmotrenih podataka u posmatranoj oblasti.

1.4.2 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu oblačnosti

Jedna od najvažnijih atmosferskih pojava koji utiču na zračenje koje stiže na Zemljinu površinu su oblaci. Supit i Van Kapel (1998) su na osnovu nekih ranijih istraživanja predložili metod u kojem je ova zavisnost predstavljena u obliku

$$G_d = G_a \left(a_s \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} + b_s \sqrt{\left(1 - \frac{n}{8}\right)} \right) + c_s \quad (1.4)$$

gde n predstavlja ukupnu prekrivenost oblacima tokom dana, u osminama, T_{max} i T_{min} su maksimalna i minimalna dnevna temperatura vazduha, a a_s , b_s i c_s su empirijske konstante.

1.4.3 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu maksimalne dnevne temperature i sume padavina

Vinslou (Winslow) (Winslow, 2001) je predložio model koji može da se primeni i izvan oblasti u kojoj su obavljena merenja u obliku:

$$G_d = \tau_{cf} D_l \left(1 - \frac{\beta e_s(T_{min})}{e_s(T_{max})} \right) G_a \quad (1.5)$$

gde su: $e_s(T_{min})$ i $e_s(T_{max})$ - maksimalni pritisak vodene pare pri temperaturama T_{min} i T_{max} ; τ_{cf} - atmosferska transmitanca koja se procenjuje iz geografske širine, nadmorske visine i srednje godišnje temperature i predstavlja meru slabljenja dolaznog Sunčevog zračenja kroz atmosferu; D_l - parametar koji koriguje efekte prouzrokovane razlikama u dužini dana za dve stanice, kao što je vremenska razlika između pojave maksimuma temperature i minimuma vlažnosti, kao i Sunčevog zalaska. β je koeficijent koji ostaje konstantan osim u slučaju planinskih predela sa velikom temperaturnom amplitudom tokom dana. Nešto slično su uradili i Thornton (Thornton) i Raning (Running) (Thornton and Running, 1999):

$$G_d = G_a \tau_{t,max} \tau_{f,max} \quad (1.6)$$

gde je sa $\tau_{t,max}$ označena maksimalna dnevna transmitanca pri vedrom nebu. Ova veličina se određuje posebno za svaku stanicu, jer zavisi od nadmorske visine date stanice, kao i od pritiska vodene pare uz površinu vode za dati dan u godini, a sa $\tau_{f,max}$ korekcija usled prisustva oblaka.

1.4.4 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih temperatura vazduha

Ovaj metod je veoma popularan zbog dostupnosti podataka. Temperatura je povezana sa oblačnošću jer je usled prisustva oblaka maksimalna temperatura u toku dana niža, dok je noću minimalna temperatura viša u istim uslovima. Donateli (Donatelli) i Kembel (Campbell)

(Donatelli and Campbell, 1998) su ovu povezanost uzeli u obzir i time uspeali da eliminišu oblačnost kao ulazni parametar:

$$G_d = G_a \tau \left(-e^{-b_d f(T_{avg})} f(T_{min}) \right) \quad (1.7)$$

gde je sa τ označena transmitivnost bezoblačnog neba, $f(T_{avg})$ i $f(T_{min})$ su funkcije koje zavise od srednje dnevne i minimalne temperature vazduha, dok je b_d empirijski koeficijent.

Drugi, takođe jednostavan metod za procenu dnevnog globalnog zračenja, koji se bazira na dnevnoj amplitudi temperature vazduha, predložio je Hergrejvs (Hargreaves) u obliku (Hargreaves, 1985)

$$G_d = G_a a_H \sqrt{T_{max} - T_{min}} + b_H \quad (1.8)$$

gde su a_H i b_H empirijske konstante.

1.4.5 Procena dnevnog globalnog zračenja koristeći podatke sa drugih meteoroloških stanica

Jedan od najčešće korišćenih metoda je zamena podataka koji nedostaju sa podacima sa obližnje stanice.

$$G_d = G_{a,proxy} \frac{G_a}{G_{a,proxy}} \quad (1.9)$$

gde su $G_{d,proxy}$ i $G_{a,proxy}$ izmereno globalno zračenje i solarna konstanta sa susedne stanice, dok G_a predstavlja dnevnu sumu globalnog zračenja na vrhu atmosfere za mesto za koje se globalno zračenje izračunava. Primena ovog metoda je ograničena nedovoljnom gustinom stanica u mreži koje su u mogućnosti da mere Sunčevo zračenje.

2 Materijal i metod

2.1 Opis lokaliteta i setova podataka

Ciljevi diplomskog rada su bili proveriti tačnost i primenljivost Angstrom-Preskotove empirijske relacije za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja za geografsku širinu Beograda. Takodje na osnovu izmerenih vrednosti globalnog zračenja trebalo je odrediti godišnji trend dnevnih suma i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja u pojedinim mesecima. Za proveru Angstrom-Preskotove relacije potrebni su bili setovi podataka o izmerenom intenzitetu globalnog zračenja, oblačnosti i trajanju Sunčevog sjaja. Izmerene vrednosti intenziteta globalnog zračenja preuzete su sa četiri stanice: Novi Sad, Zeleno Brdo, Košutnjak i Pančevo, dok su podaci o oblačnosti i trajanju Sunčevog sjaja preuzeti iz Klimatološkog godišnjaka Republičkog hidrometeorološkog zavoda.

2.1.1 Novi Sad (Poljoprivredni fakultet)

Najbrojniji set podataka registrovao je piranometar Janiševskog koji se nalazio u blizini Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu. Novi Sad je smešten na 84 m nadmorske visine, a koordinate na kojima se nalazi su $44^{\circ}15' N$ i $19^{\circ}51' E$. Merenja su se odnosila na period od 1. avgusta 1999. do 20. decembra 2005. godine, sa povremenim prekidima. Intenzitet izmerenog globalnog zračenja je registrovan u W/m^2 , a meren je na svakih deset minuta.

2.1.2 Zeleno Brdo

Podaci dobijeni iz Beograda, tačnije sa Zelenog Brda, se odnose na period od 1. januara 2003. do 20. decembra 2006. godine. Zeleno Brdo se nalazi na 242 m nadmorske visine, a koordinate su mu $44^{\circ}47' N$ i $20^{\circ}52' E$. Intenzitet globalnog zračenja u W/m^2 meri elektronski piranometar sa integratorom, japanske proizvodnje EKO. Sve izmerene vrednosti integrisane su na svakih sat vremena.

2.1.3 Košutnjak

Najkraći interval merenja dolazi sa Košutnjaka i odnosi se na period od 1. juna 2008. do 20. decembra iste godine. Meteorološka stanica na Košutnjaku se nalazi na 203 m nadmorske visine, a koordinate su na 44°46' N i 20°25' E. Za merenje globalnog zračenja korišćen je elektronski piranometar proizvodnje Kipp & Zonen, koji je registrovao zračenje u W/m^2 na svakih 2 minuta.

2.1.4 Pančevo

Pančevačka meteorološka stanica se nalazi na 76 m nadmorske visine. Koordinate stanice su 44°50' N i 20°40' E. Period na koji se merenja odnose počinje 1. avgusta 2007. i proteže se do 20. januara 2009. godine. Za merenje globalnog zračenja korišćen je elektronski piranometar proizvodnje Kipp & Zonen, koji je registrovao zračenje u W/m^2 na svakih 7 minuta.

2.1.5 Podaci o oblačnosti, trajanju Sunčevog sjaja i dnevnim sumama globalnog zračenja na vrhu atmosfere

Podaci o dnevnim vrednostima oblačnosti izražavani su u desetinama i zajedno sa podacima o trajanju Sunčevog sjaja u toku dana dobijeni su iz klimatoloških godišnjaka za Novi Sad i Beograd [11, <http://www.hidmet.gov.rs/>]. Vrednosti dnevnih suma globalnog zračenja koje dospeva na gornju granicu atmosfere su mereni Nasinim satelitima (NASA - National Aeronautics and Space Administration) i preuzeti sa Nasinog sajta [12, <http://eosweb.larc.nasa.gov/>].

2.2 Obrada podataka

Prvi korak u obradi izmerenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na izabranim lokalitetima je bio da se eliminišu sva neregularna merenja koja su se nalazila između časovnih vrednosti, a zatim i da se ručno eliminišu svi dani u kojima su nedostajala merenja, kao i dani kod kojih su primećene prevelike ili premale vrednosti izmerenog intenziteta globalnog zračenja. Time su formirana i pripremljena četiri fajla za njihovu dalju obradu u

fortranskom programu. Svaki set podataka je imao svoj fajl u kojima su zapisane hronološki časovne vrednosti intenziteta globalnog zračenja za tu stanicu.

Na osnovu podataka o oblačnosti koje je program očitavao postavljen je uslov kojim su dani razvrstavani na oblačne i bezoblačne. Postavljeni uslov je glasio, da ako je dnevna oblačnost manja od $2/10$, u prvi fajl se zapisuju časovne vrednosti izmerenog intenziteta globalnog zračenja bezoblačnih dana, dok u suprotnom, ako je dnevna oblačnost veća od $2/10$, u drugi fajl se zapisuju časovne vrednosti izmerenog intenziteta globalnog zračenja oblačnih dana. Podaci sa Košutnjaka, Zelenog Brda i Pančeva razvrstavani su prema dnevnim vrednostima oblačnosti za Beograd, a podaci sa Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu, prema dnevnim vrednostima oblačnosti za Novi Sad.

Sledeći korak obuhvatao je računanje dnevnih suma globalnog zračenja preko časovnih vrednosti intenziteta globalnog zračenja, pomoću trapezne formule, kao i pronalaženje maksimalnih vrednosti intenziteta globalnog zračenja u toku dana. Dnevne sume globalnog zračenja izražene su u kJ/cm^2 , dok su maksimalni intenziteti globalnog zračenja u toku dana ostali u W/m^2 . Analizom dnevnih suma i dnevnog hoda globalnog zračenja za Novi Sad, utvrđeno je da su izračunate sume znatno manje u odnosu na prosečne, kao i da je dnevni hod nepravilan. Naime, instrument je kasnije registrovao izlazak, a ranije zalazak Sunca. Uzrok ovoga leži u tome da je aparat postavljen na lošu lokaciju, tako da je samo deo od ukupnog globalnog zračenja stizao do prijemnog dela piranometra. Zbog toga se odustalo od dalje obrade ovog seta podataka, određivanja empirijskih koeficijenata i računanja godišnjih trendova dnevnih suma i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja po mesecima. Da bi se izbeglo gubljenje najpotpunijeg niza podataka potrebno je izvršiti upoređivanje sa podacima za isti period sa obližnjih stanica.

Drugi korak u obradi podataka, koji je prethodio računanju empirijskih koeficijenata zahtevao je razvrstavanje osmotrenih dnevnih suma i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja, kao i dnevne oblačnosti, relativnog trajanja Sunčevog sjaja i dnevnih suma globalnog zračenja koje stiže na vrh atmosfere prema mesecima u godini za svako mesto posebno. Time se obezbedio uslov da se koeficijenti računaju za svako mesto, kao i za svaki mesec posebno. Polazeći od Angstrom-Preskotove formule (1.2), a na osnovu izmerenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja izračunati su, metodom najmanjih kvadrata, empirijski parametri a_a i b_a . Naime, primenom metode najmanjih kvadrata na slučaj izračunavanja najboljih koeficijenata linearne funkcije dobijaju se izrazi za koeficijente linearne funkcije a i b u opštem slučaju, u obliku:

$$b = \frac{(x_1 + \dots + x_n)(y_1 + \dots + y_n) - n(x_1 y_1 + \dots + x_n y_n)}{(x_1 + \dots + x_n)^2 - n(x_1^2 + \dots + x_n^2)} \quad (2.1)$$

$$a = \frac{(x_1 + \dots + x_n)(x_1 y_1 + \dots + x_n y_n) - (x_1^2 + \dots + x_n^2)(y_1 + \dots + y_n)}{(x_1 + \dots + x_n)^2 - n(x_1^2 + \dots + x_n^2)} \quad (2.2)$$

U slučaju Angstrom-Preskotove formule, parametri a_a i b_a odgovaraju koeficijentima linearne funkcije a i b , a x_i i y_i predstavljaju izračunate, odnosno izmerene vrednosti promenljivih

$$x = S_r \text{ i } y = \frac{G_d}{G_a} \text{ za svaki dan.}$$

U cilju provere dobijenih rezultata izračunate su srednje kvadratne greske (RMSE) u (kJ/cm^2), kao i relativna odstupanja σ_{G_d} u (%), dnevne sume globalnog zračenja u odnosu na izmerene vrednosti u obliku:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (G_d - G_i)^2}{n}} \quad (2.3)$$

$$\sigma_{G_d} = \frac{\sum \left(\frac{G_d - G_i}{G_o} \right)}{n} \quad (2.4)$$

U jednačinama (2.3)-(2.4), G_d i G_i predstavljaju osmotrenu i procenjenu dnevnu sumu globalnog zračenja, a n predstavlja broj dana za koje se vrednosti dnevnih suma procenjuju.

Za određivanje godišnjih trendova dnevne sume i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja po mesecima, potrebno je bilo napraviti što duži niz podataka. S obzirom da se Zeleno Brdo i Pančevo nalaze relativno blizu, uzeti su setovi podataka sa ove dve stanice i tako je formiran niz koji se odnosi na period od januara 2003. do januara 2009 godine. Trend za ova dva parametra računat je korišćenjem jednačine (2.2) u kojoj su sa x označene osmotrene vrednosti dnevne sume globalnog zračenja, G_d odnosno maksimalnog intenziteta globalnog zračenja tokom dana, G_o dok je sa y označen broj dana, n za koje ovi podaci postoje.

Fortranski program koji je opisan u ovom poglavlju, kao i ulazni podaci potrebni za rad programa, uz dobijene rezultate snimljeni su na CD-u, koji je priložen uz ovaj diplomski rad.

3 Rezultati

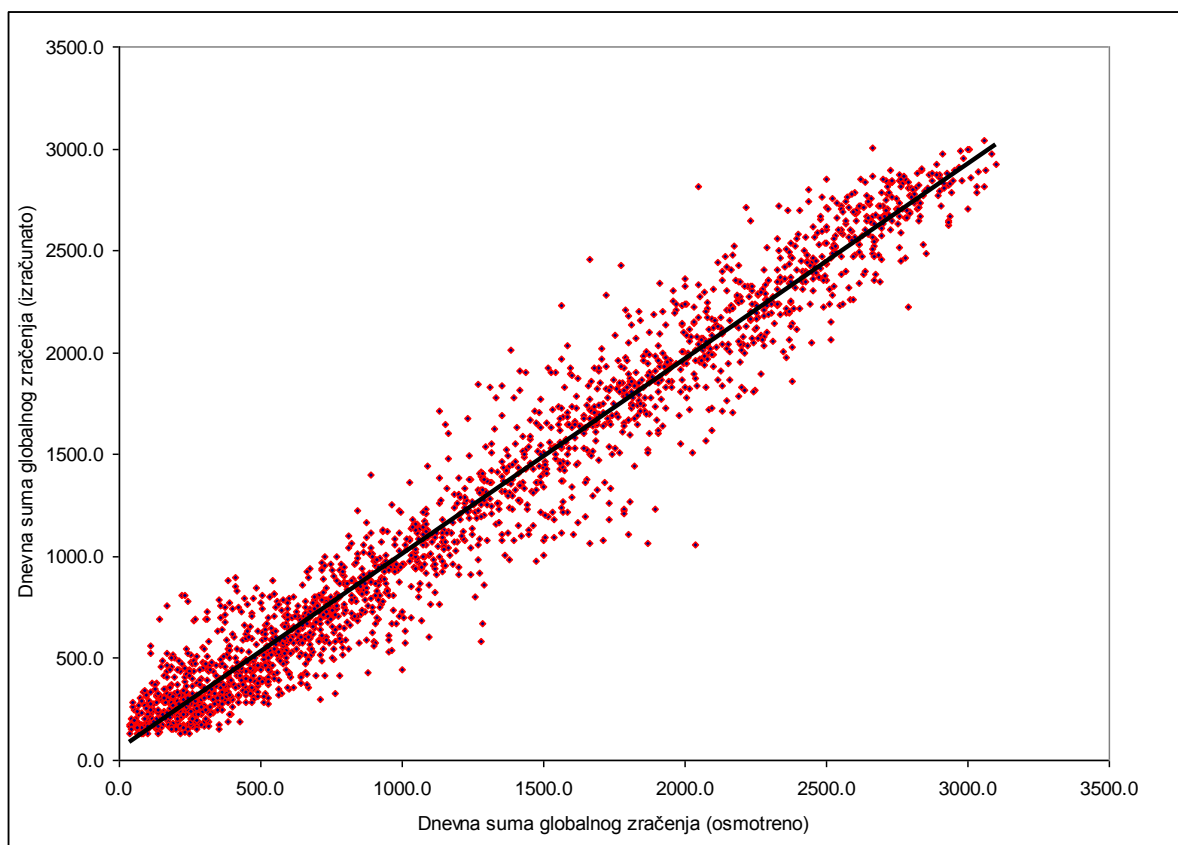
3.1 Angstrom-Preskotov metod

Na osnovu osmotrenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na lokalitetima Košutnjak, Zeleno Brdo i Pančevo, primenom metode najmanjih kvadrata za određivanje parametara linearne funkcije izračunate su vrednosti empirijskih parametara u Angstrom-Preskotovoj formuli. Vrednosti koeficijenata po mesecima, izračunate za svaku stanicu pojedinačno prikazani su u Tabeli 3.1. Iz prikazanih rezultata može da se zaključi da vrednosti koeficijenta a_a , variraju od 0.06 (Košutnjak, avgust) do 0.24 (Pančevo, januar), dok vrednosti koeficijenta b_a variraju od 0.44 (Pančevo, oktobar i Košutnjak, novembar) do 0.64 (Pančevo,

| Stanica | Mesec | a | b |
|-------------|-----------|------|------|
| Košutnjak | Avgust | 0.06 | 0.55 |
| Košutnjak | Septembar | 0.08 | 0.53 |
| Košutnjak | Oktobar | 0.10 | 0.49 |
| Košutnjak | Novembar | 0.17 | 0.44 |
| Košutnjak | Decembar | 0.13 | 0.53 |
| | Prosečno | 0.13 | 0.48 |
| Pančevo | Januar | 0.24 | 0.49 |
| Pančevo | Februar | 0.21 | 0.53 |
| Pančevo | Mart | 0.18 | 0.63 |
| Pančevo | April | 0.18 | 0.57 |
| Pančevo | Maj | 0.17 | 0.63 |
| Pančevo | Jun | 0.15 | 0.64 |
| Pančevo | Jul | 0.16 | 0.64 |
| Pančevo | Avgust | 0.17 | 0.57 |
| Pančevo | Septembar | 0.13 | 0.58 |
| Pančevo | Oktobar | 0.17 | 0.44 |
| Pančevo | Novembar | 0.17 | 0.48 |
| Pančevo | Decembar | 0.15 | 0.49 |
| | Prosečno | 0.16 | 0.57 |
| Zeleno Brdo | Januar | 0.21 | 0.53 |
| Zeleno Brdo | Februar | 0.22 | 0.57 |
| Zeleno Brdo | Mart | 0.21 | 0.55 |
| Zeleno Brdo | April | 0.21 | 0.52 |
| Zeleno Brdo | Maj | 0.19 | 0.60 |
| Zeleno Brdo | Jun | 0.19 | 0.57 |
| Zeleno Brdo | Jul | 0.20 | 0.57 |
| Zeleno Brdo | Avgust | 0.20 | 0.57 |
| Zeleno Brdo | Septembar | 0.18 | 0.58 |
| Zeleno Brdo | Oktobar | 0.17 | 0.60 |
| Zeleno Brdo | Novembar | 0.21 | 0.51 |
| Zeleno Brdo | Decembar | 0.17 | 0.55 |
| | Prosečno | 0.19 | 0.56 |

Tabela 3.1 Izračunate vrednosti empirijskih koeficijenata u Angstrom-Preskotovoj formuli

jun i jul). Za razliku od mesečnih koeficijenata izračunatih za Pančevo i Košutnjak, vrednosti koeficijenata za Zeleno Brdo veoma malo variraju, ($a_a = 0.17-0.22$ i $b_a = 0.51-0.60$). Jedan od razloga za dobijanje ovakvih rezultata jeste i taj što je set podataka koji se odnosi na stanicu Zeleno Brdo dovoljno dug, čime se izbegla mogućnost da slučajne greške (merenja) ozbiljnije utiču na rezultate istraživanja. S obzirom da koeficijenti u empirijskim formulama, najviše zavise od geografskog položaja stanice za koju se određuju, prosečne vrednosti koeficijenata sve tri stanice su približne vrednostima koje je dobio Supit (Supit and Kappel, 1998) u svojim istraživanjima, a kojim je obuhvaćena i susedna zemlja - Hrvatska. Ovim istraživanjem su utvrđeni koeficijenti na osnovu dugogodišnjeg niza izmerenih intenziteta globalnog zračenja za Zagreb. Koeficijenti iznose $a_a = 0.22$ i $b_a = 0.56$. Tim vrednostima najviše odgovaraju prosečne vrednosti koeficijenata dobijenih za Zeleno Brdo.



Slika 3.1 Korelacija između osmotrene i dnevne sume globalnog zračenja izračunate Angstrom-Preskotovom formulom.

Mogućnosti Angstrom-Preskotove relacije da verno reprodukuje dnevne sume globalnog zračenja na našem području i valjanost dobijenih rezultata najbolje može da se vidi sa Slike 3.1. Na ovoj slici je prikazana korelacija između osmotrene i izračunate dnevne sume globalnog zračenja.

| Stanica | Mesec | RMSE(kJ/cm ²) | σ (%) |
|-------------|-----------|---------------------------|--------------|
| Košutnjak | Avgust | 124.8 | 6.1 |
| Košutnjak | Septembar | 122.4 | 28.1 |
| Košutnjak | Oktobar | 118.8 | 20.4 |
| Košutnjak | Novembar | 68.0 | 23.5 |
| Košutnjak | Decembar | 59.1 | 39.0 |
| | Prosečno | 141.8 | 23.2 |
| Pančevo | Januar | 111.3 | 20.2 |
| Pančevo | Februar | 121.5 | 19.5 |
| Pančevo | Mart | 175.1 | 19.1 |
| Pančevo | April | 235.7 | 21.8 |
| Pančevo | Maj | 178.9 | 6.3 |
| Pančevo | Jun | 201.4 | 8.2 |
| Pančevo | Jul | 199.5 | 9.6 |
| Pančevo | Avgust | 228.3 | 11.1 |
| Pančevo | Septembar | 274.5 | 26.7 |
| Pančevo | Oktobar | 244.4 | 35.1 |
| Pančevo | Novembar | 172.4 | 35.8 |
| Pančevo | Decembar | 100.1 | 44.4 |
| | Prosečno | 224.7 | 27.3 |
| Zelena Brdo | Januar | 91.4 | 32.6 |
| Zelena Brdo | Februar | 146.6 | 31.1 |
| Zelena Brdo | Mart | 166.8 | 22.7 |
| Zelena Brdo | April | 252.5 | 24.6 |
| Zelena Brdo | Maj | 208.1 | 12.0 |
| Zelena Brdo | Jun | 212.2 | 12.1 |
| Zelena Brdo | Jul | 190.9 | 11.2 |
| Zelena Brdo | Avgust | 194.4 | 10.5 |
| Zelena Brdo | Septembar | 211.6 | 26.7 |
| Zelena Brdo | Oktobar | 123.0 | 24.7 |
| Zelena Brdo | Novembar | 110.4 | 33.7 |
| Zelena Brdo | Decembar | 87.3 | 53.1 |
| | Prosečno | 224.7 | 25.9 |

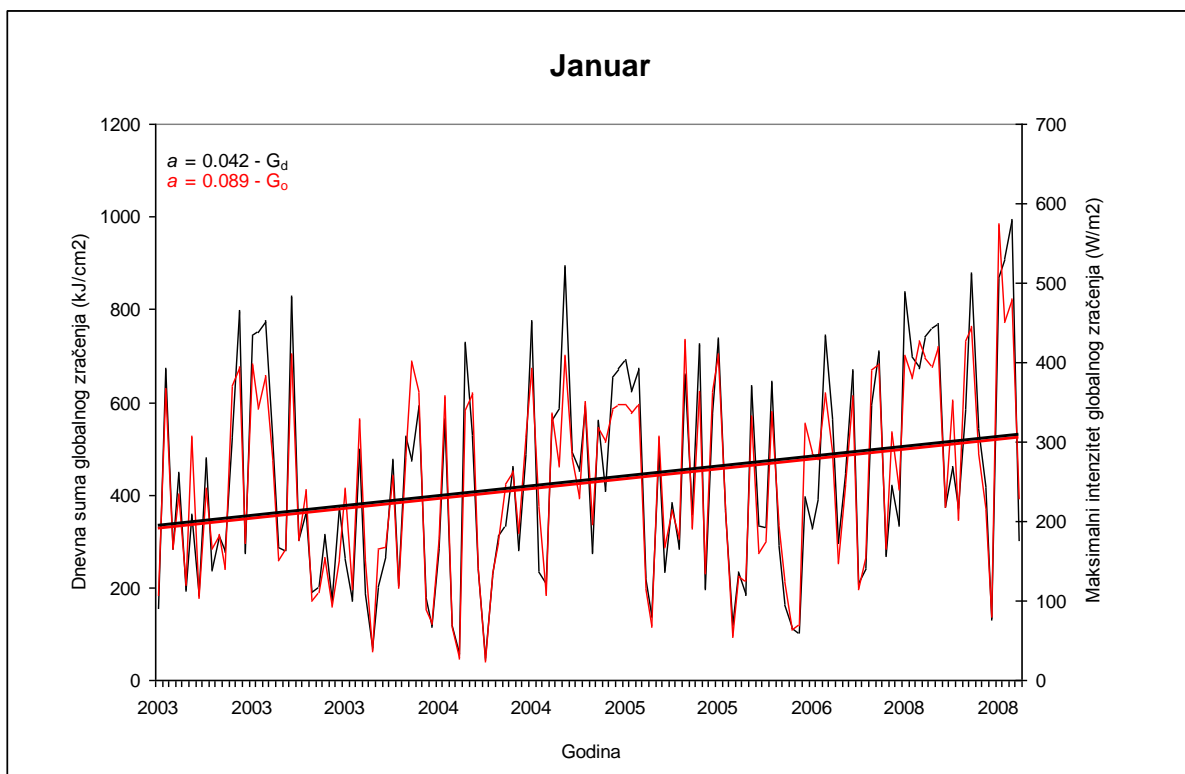
Tabela 3.2. Srednje mesečne vrednosti srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih grešaka (σ) dnevnih suma globalnog zračenja

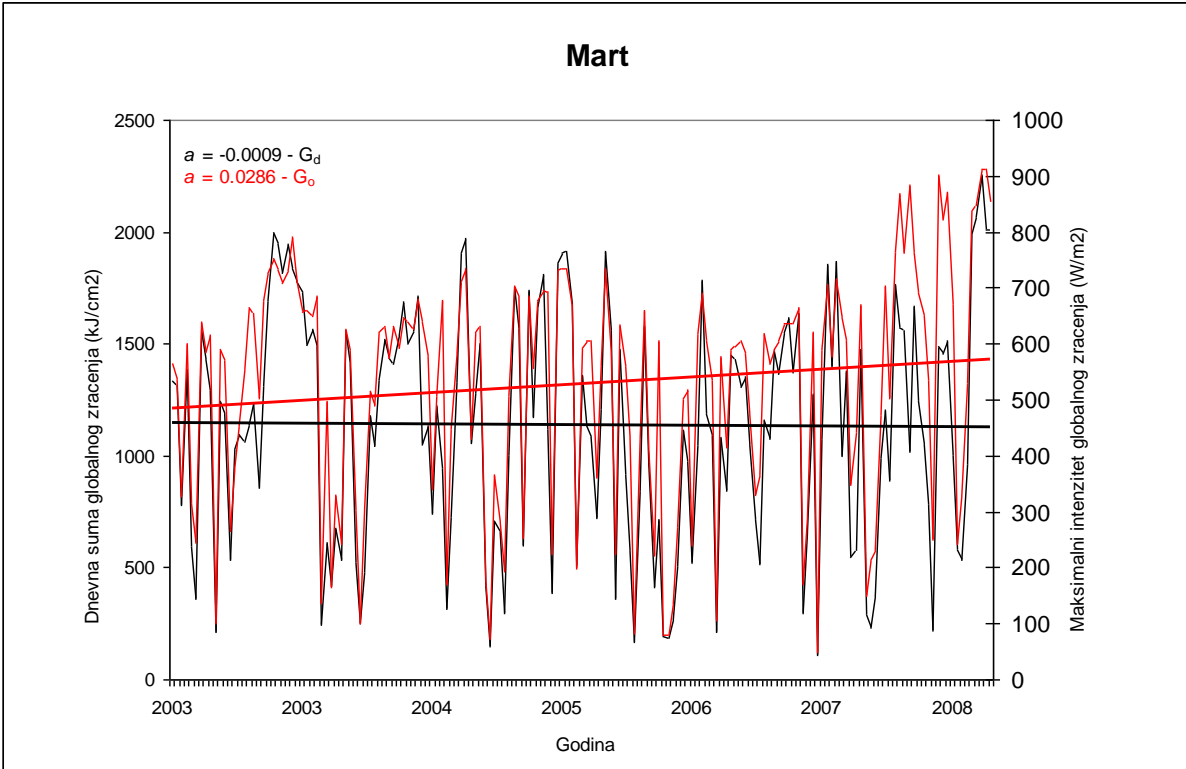
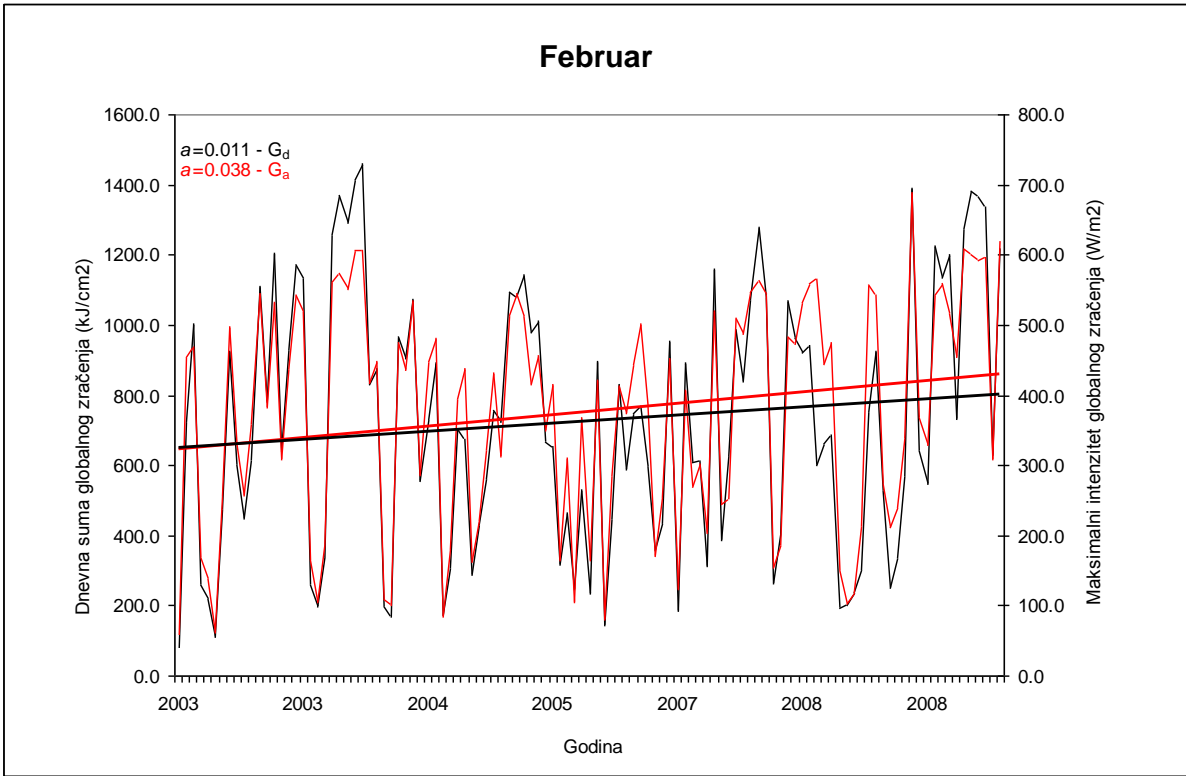
U cilju kvantitativne analize dobijenih rezultata potrebno je odrediti srednje kvadratne greške (RMSE), kao i relativna odstupanja osmotrenih i izračunatih vrednosti dnevne sume globalnog zračenja za svaki mesec pojedinačno. Dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli 3.2. Analizom izračunatih grešaka, primećeno je da model slabije procenjuje globalno zračenje u hladnijem periodu godine. Posebno se to odnosi na mesece novembar i decembar. Mnogo bolje procene dnevnih suma globalnog zračenja za sve stanice su bile u mesecima, jun i jul. Slično istraživanje obavio je Trnka sa saradnicima (Trnka et al., 2005), koji je za procenu globalnog zračenja u zemljama centralne Evrope, koristio sedam metoda, od kojih je jedan bio Angstrom-Preskotov metod. Validnost dobijenih rezultata pokušali smo da procenimo poredeći izračunate greške sa greškama koje je za isti metod dobio Trnka u svom radu. Jedno ovakvo poređenje pokazalo je da su vrednosti za Košutnjak, Pančevo i Zelena Brdo, redom 23.2, 27.25 i 25.9%, što u odnosu na relativna odstupanja izračunata za Angstrom-Preskotovu

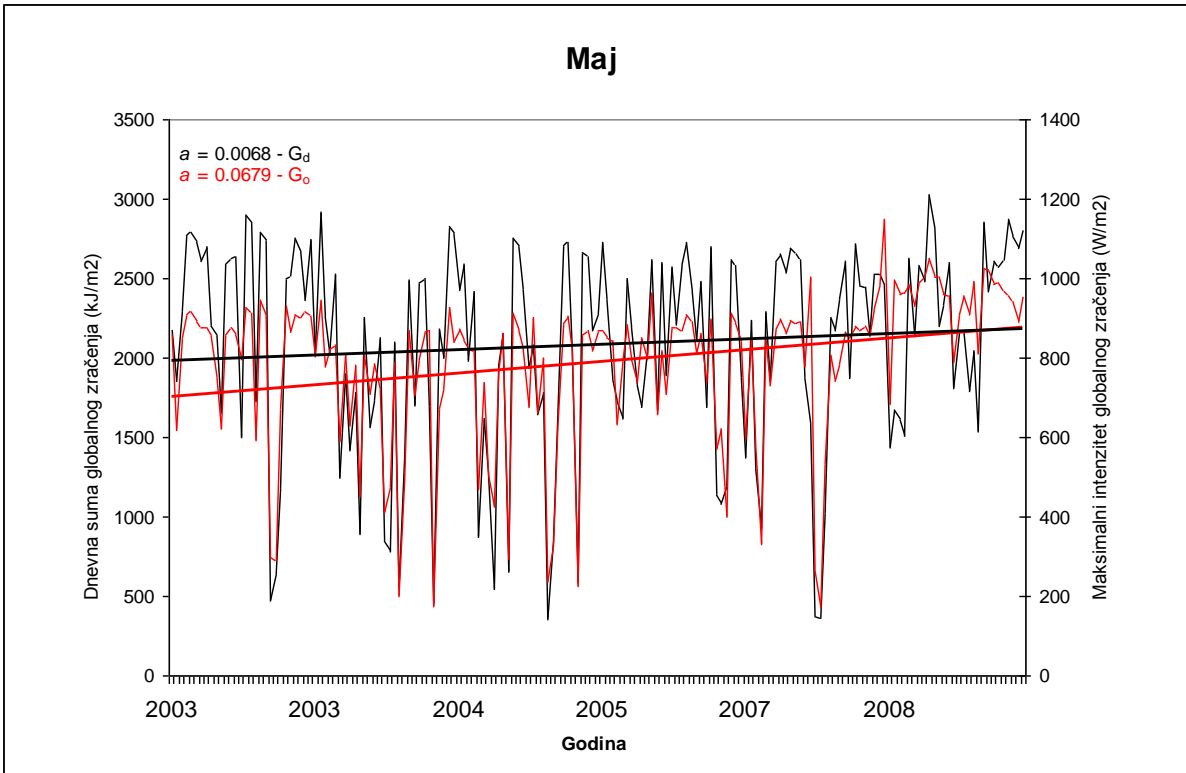
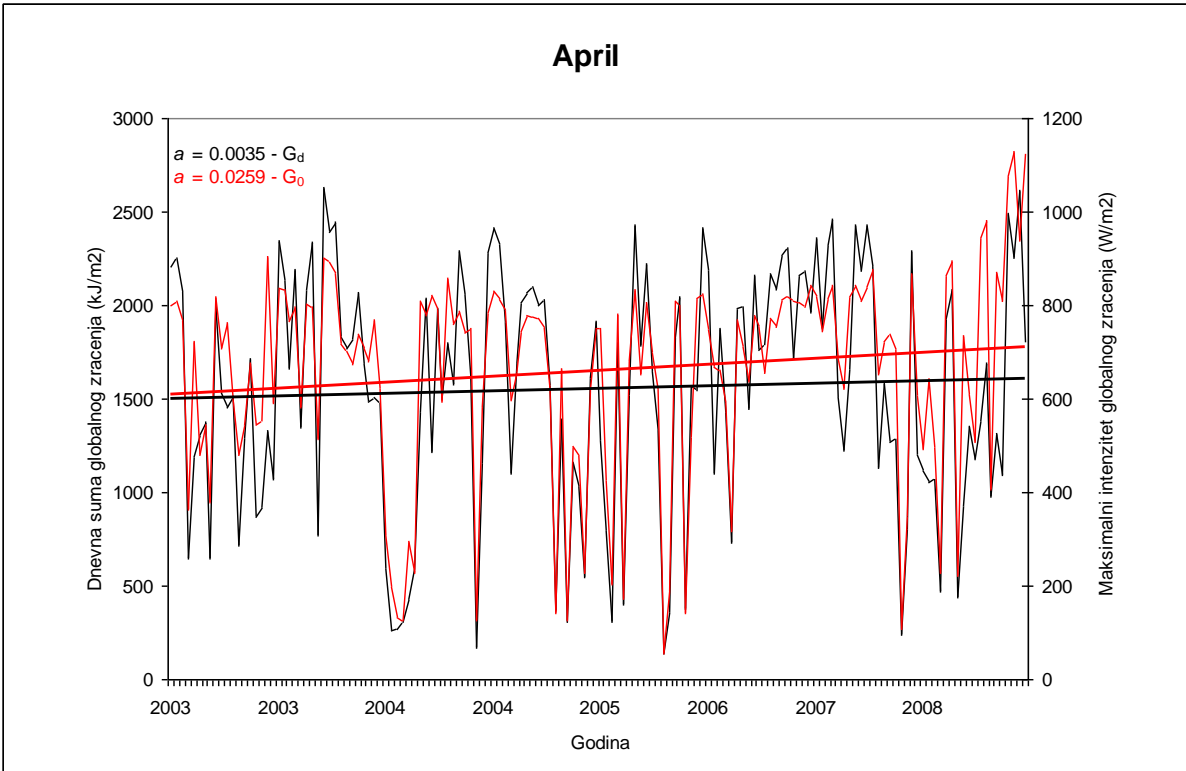
relaciju, u pomenutom istraživanju, od prosečno 15%, daje nešto veću grešku, ali sasvim prihvatljivu.

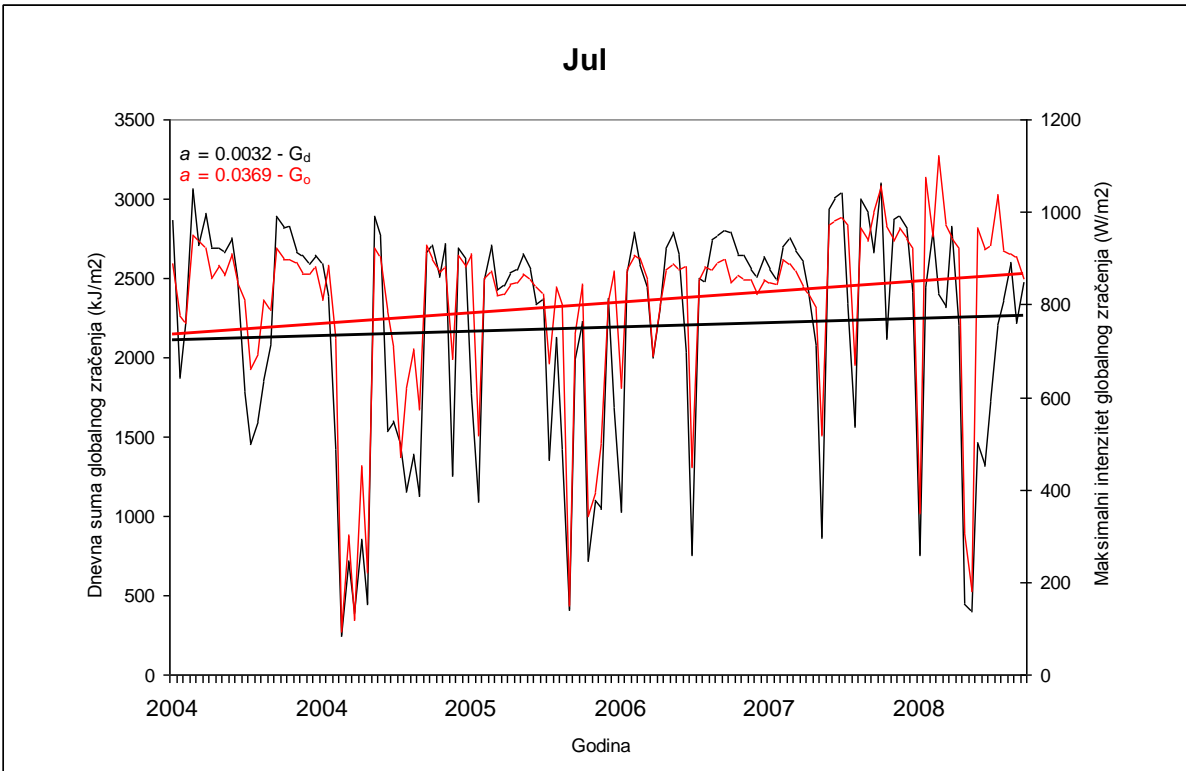
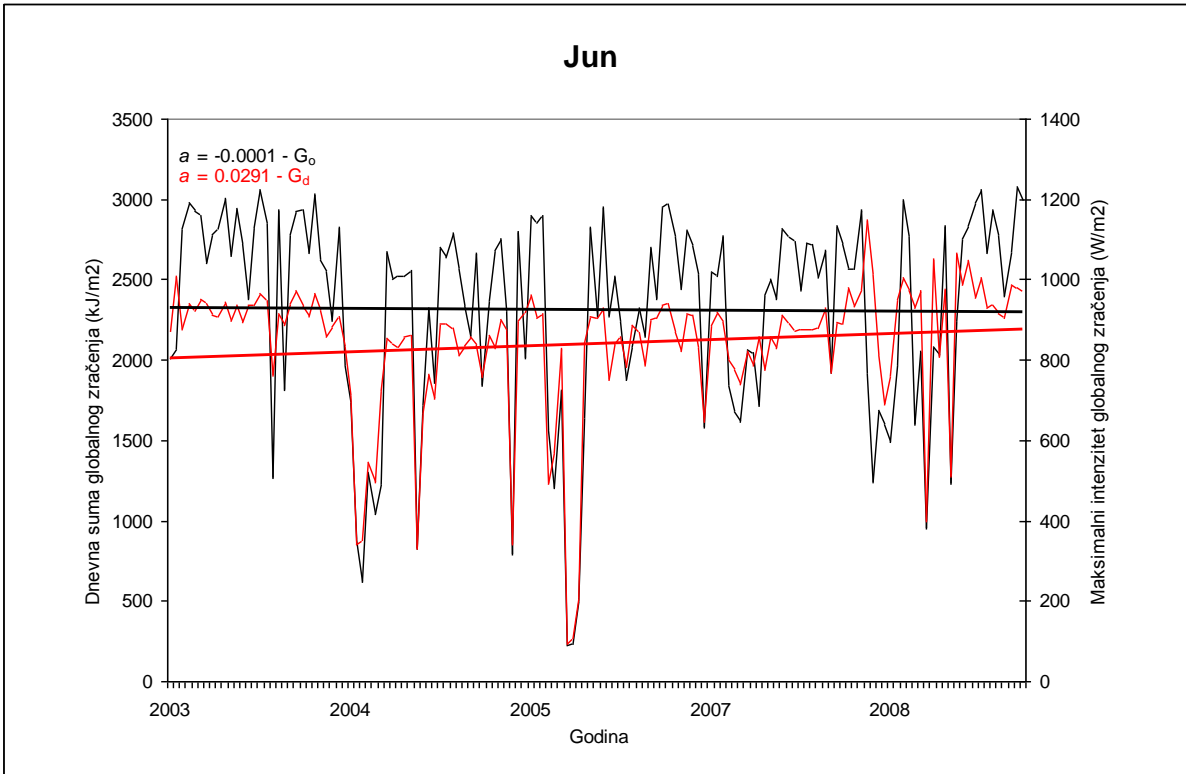
3.2 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja

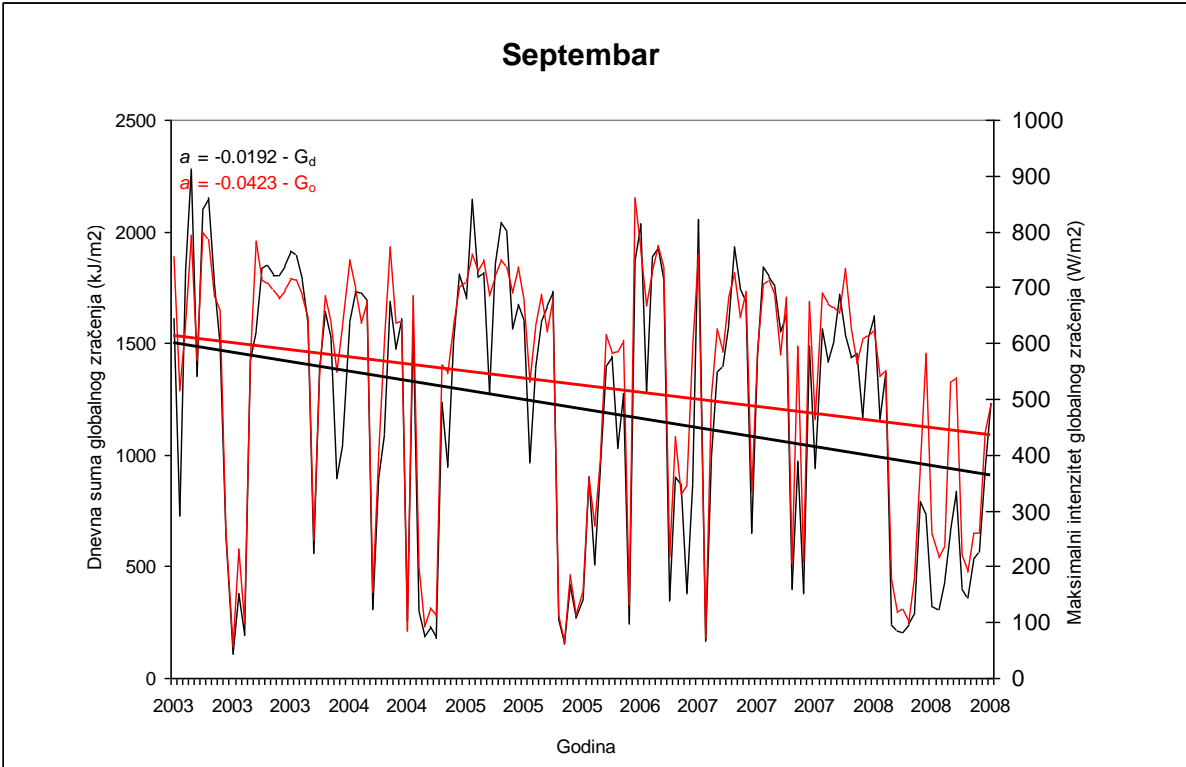
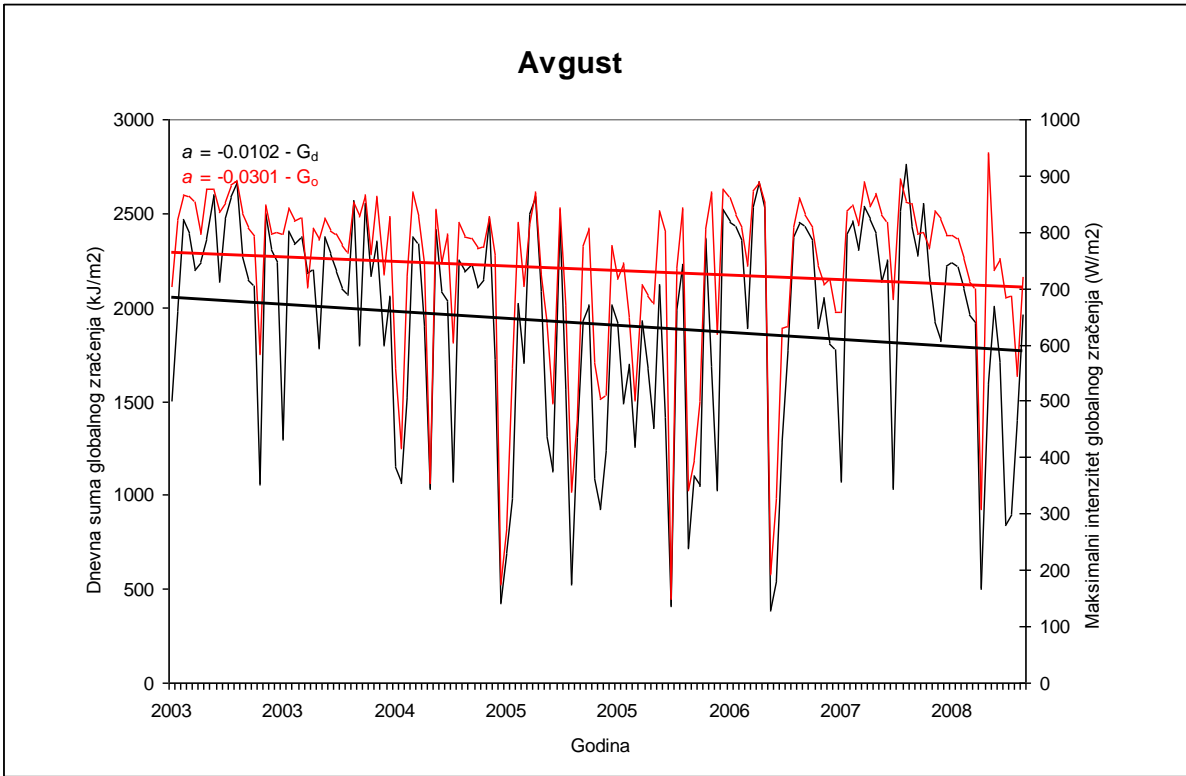
Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja izračunat je prema podacima dobijenim sa meteoroloških stanica u Pančevu i na Zelenom Brdu, za period od januara 2003, do januara 2009. godine. Dobijeni rezultati su prikazani na Slici 3.2. Analizirajući po mesecima, primećuje se rastući trend ove dve veličine u prvoj polovini godine, ali i opadajući u drugoj polovini godine. Primetan je i veći je trend porasta, ali i opadanja maksimalnih intenziteta u odnosu na trend dnevnih suma globalnog zračenja tokom cele godine. Mesec koji se izdvaja po značajnijem trendu porasta maksimalnog intenziteta globalnog zračenja je maj, sa porastom od $0.068 \text{ kJ/cm}^2\text{dan}$, dok je kod dnevne sume globalnog zračenja taj mesec januar sa porastom od $0.042 \text{ W/m}^2\text{dan}$, kao i juli sa $0.032 \text{ W/m}^2\text{dan}$.

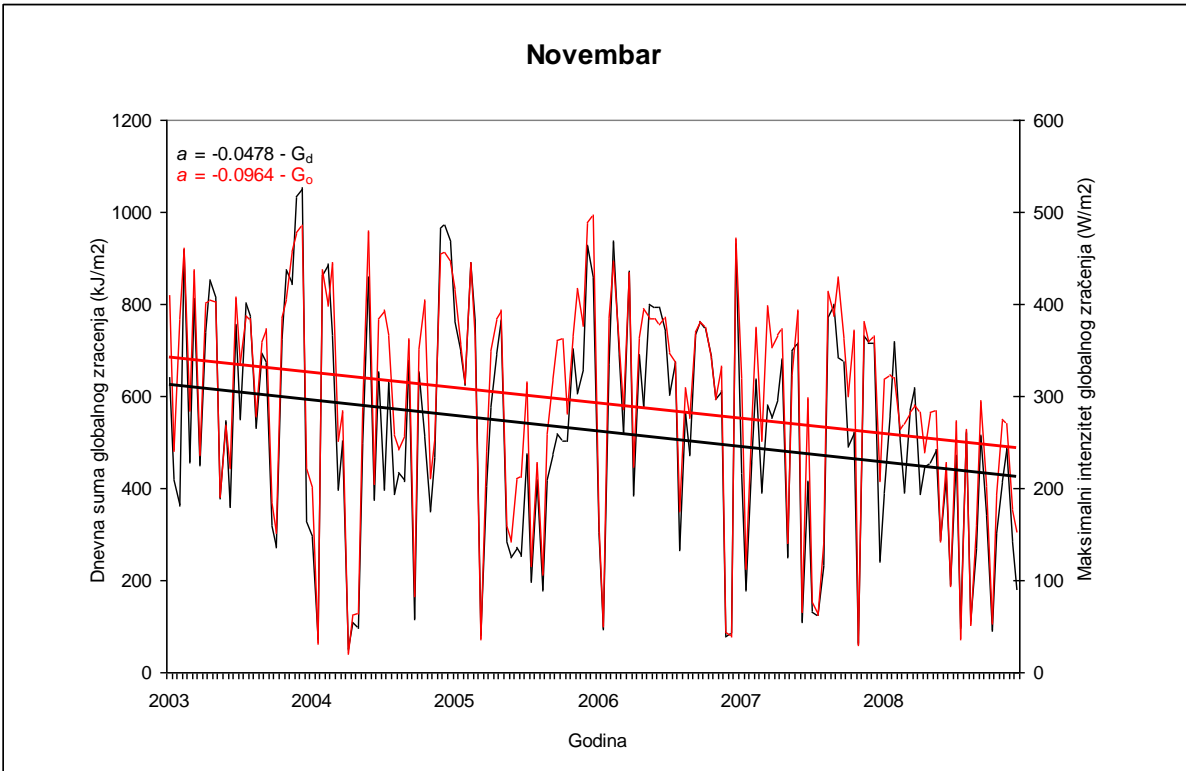
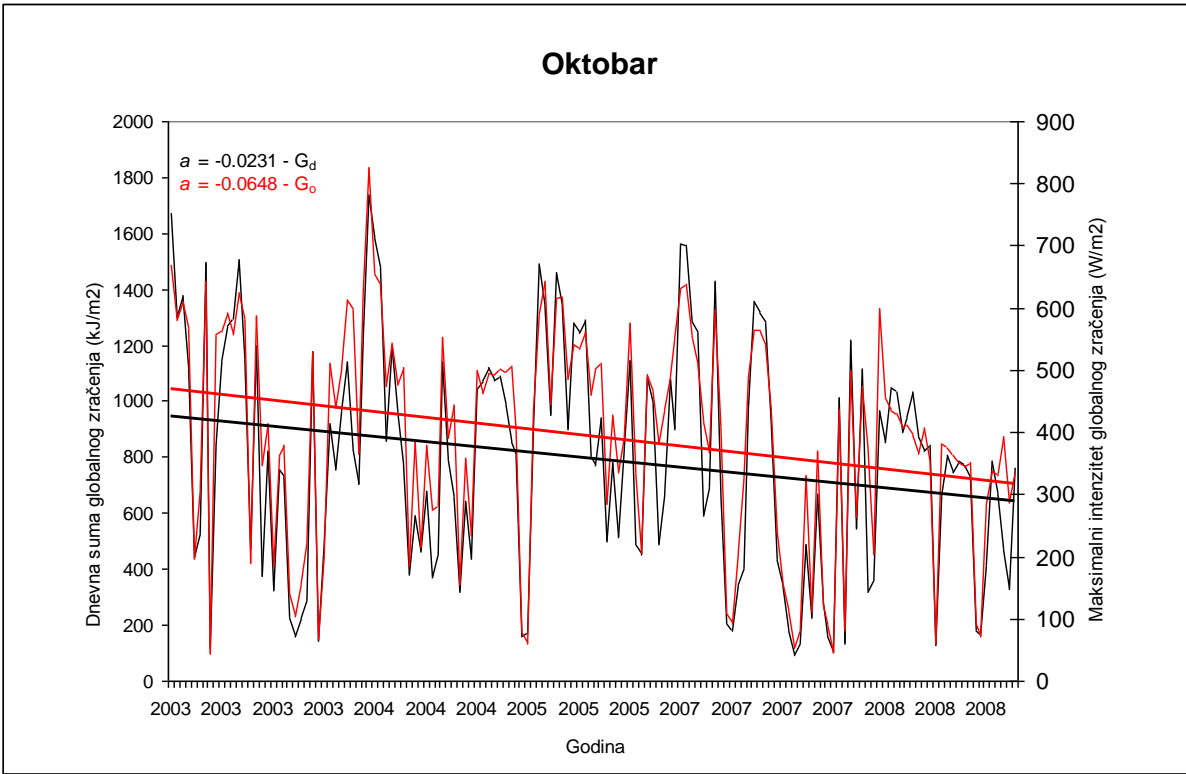


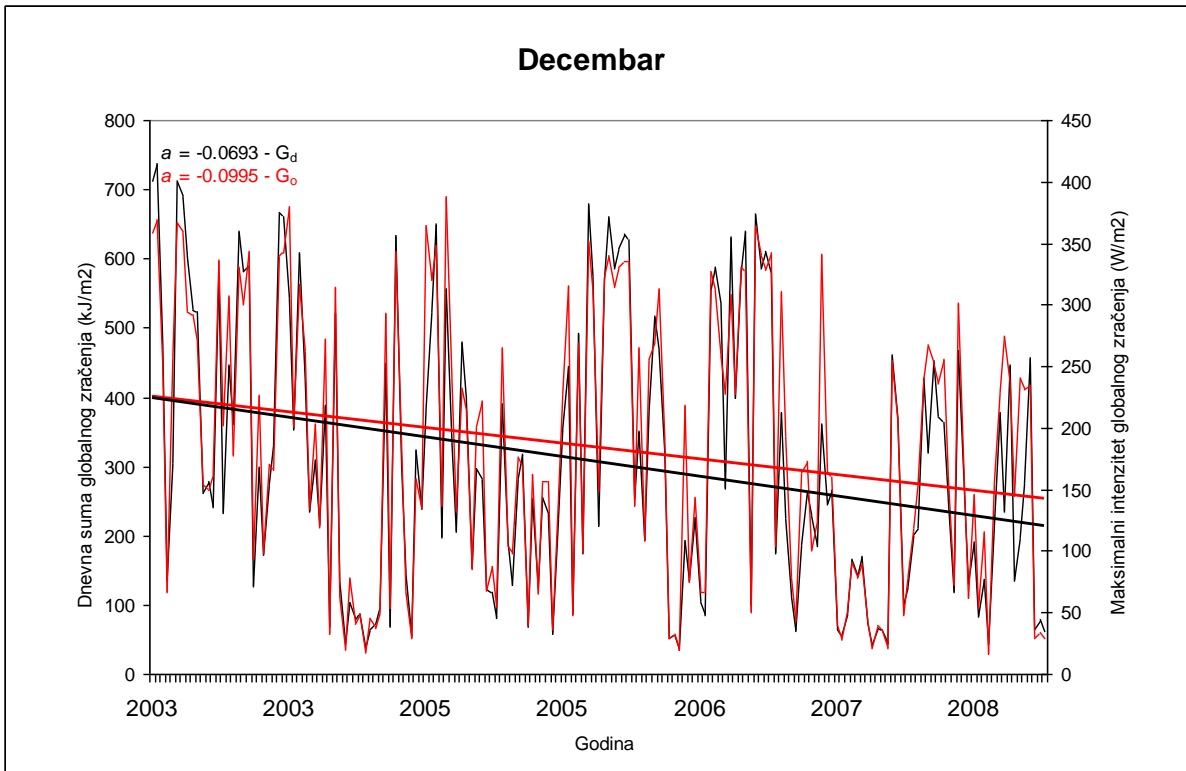












Slika 3.2 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja.

4 Zaključak

Analizom trendova dnevnih suma i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja primećuje se rastući trend obe veličine u prvoj polovini godini, a opadajući u drugoj. Trend porasta kao i opadanja gotovo u svim mesecima je veći kod maksimalnog intenziteta globalnog zračenja. Mesec koji se izdvaja po značajnijem porastu ove veličine je maj. Ekstremne vrednosti intenziteta globalnog zračenja u mesecu maju, mogu štetno uticati na rast i razvoj biljaka. U voćnjacima u okolini Novog Sada, uočene su u toku nekoliko poslednjih godina ožegotine na plodovima. Dobile vrednosti maksimalnih intenziteta zračenja u prolećnim mesecima jasno pokazuju da uzrok osmotrene pojave leži u ekstremnim vrednostima ove veličine.

Za dobijanje tačnih vrednosti empirijskih koeficijenti a_a i b_a u Angstrom-Preskotovoj formuli potreban je dovoljno dug niz izmerenih intenziteta globalnog zračenja. U ovom istraživanju samo je set podataka sa Zelenog Brda zadovoljavao ovaj uslov, tako da su izračunate vrednosti koeficijenata za ovaj lokalitet odgovarale vrednostima očekivanim za ovaj region. Mora se naglasiti da i vrednosti izračunatih empirijskih koeficijenata, za druga dva lokaliteta, Pančevo i Košutnjak su zadovoljavajući s obzirom na kratak period merenja. U periodu od aprila do avgusta, procena dnevne sume globalnog zračenja je veoma dobra. Za sve ostale mesece se može smatrati zadovoljavajućom, osim za mesec decembar kada relativna greška ima preveliku vrednost. Najverovatniji uzrok velikog odstupanja osmotrenih od izračunatih vrednosti dnevne sume globalnog zračenja u zimskim mesecima, je oblačnost koju je najteže pravilno parametrizirati u ovakvim relacijama. Naime, srednja dnevna vrednost trajanja Sunčevog sjaja se određuje na osnovu merenja obavljenih korišćenjem heliografa na meteorološkoj stanici. U slučaju oblačnih dana, ako piranometar i heliograf ne stoje jedan pored drugog, uvek postoji mogućnost da je oblak lociran u zoni stanice i zaklanja heliograf ali da nije neposredno iznad piranometra, i obrnuto. Na taj način dolazi do greške u uspostavljanju korelacije između trajanja Sunčevog sjaja i intenziteta zračenja. Situacija je utoliko gora ako se umesto trajanja Sunčevog sjaja u račun uključi oblačnost koja se određuje subjektivnom procenom osmatrača. Naravno, greška u izračunavanju globalnog zračenja može se smanjiti još više, pažljivim eliminisanjem dana u kojima se javljaju pogrešno izmerene vrednosti intenziteta globalnog zračenja, uzrokovani greškama tehničke prirode i neispravnošću mernih instrumenata.

Zbog nepravilnog položaja mernog instrumenta najduži set podataka - iz Novog Sada nije uzet u obračun empirijskih koeficijenata. Da bi ovaj dragoceni niz podataka bio iskorišćen na pravi način potrebno je izvršiti upoređivanje podataka sa podacima za isti period sa obližnjih stanica. Od navedenih empirijskih metoda samo je Angstrom-Preskotov testiran u ovom radu. Za testiranje ostalih metoda, kao i preciznije određivanje empirijskih koeficijenata u testiranom metodu, potrebno je obezbediti podatke o još nekim meteorološkim parametrima, te proširiti i kompletirati već postojeće nizove podataka o izmerenom zračenju.

Opsežnija analiza empirijskih formula za izračunavanje globalnog zračenja i kompletiranje i kritička provera merenja na lokalitetu Novi Sad-Poljoprivredni fakultet predmet su daljeg rada na ovoj problematici. Takodje, bilo bi zanimljivo u analizu uvesti i dinamičke metode za modeliranje Sunčevog zračenja. U tom smislu, jedna mogućnost je da se iz numeričkog modela za prognozu vremena preuzmu vrednosti kratkotalsnog zračenja koje model računa i da se uporede sa izmerenim zračenjem i vrednostima dobijenim pomoću empirijskih formula.

LITERATURA

1. Ahrens, C. D., 2007. Warming the Earth and the Atmosphere, *Essentials of Meteorology*, 34-41.
2. Donatelli, M., Campbell, G.S., 1998. A simple method to estimate global radiation. *Proceedings of the Fifth ESA Conference*, Nitra, 133–134.
3. Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., Riley, P., 1985. Irrigation water requirement for the Senegal River Basin, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 111*, 265–275.
4. Kirkby, J., 1998. The origins of climate change, *Beam Measurements of a CLOUD*, pg 4.
5. Klazuba, J., Bureš, R., Kožnarova, V., 1999. Model výpočtu denních sum globálního záření pro použití vrstevných modelech, *Proceedings of the Bioklimatologické pracovních dní 1999 Zvolen*, 121–122.
6. Mihailović, Dragutin, 1988. Sunčevu zračenje, protivzračenje atmosfere i zemljino izračivanje, *Osnove meteoroloških osmatranja i obrade podataka*, 27-40.
7. Thornton, P.E., Running, S.W., 1999. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. *Agriculture And Forest Meteorology 93*, 211–228.
8. Trnka, M., Žalud, Z., Eitzinger, J., Dubrovsky, M., 2005. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae, *Agriculture and Forest Meteorology 131*, 55-74.
9. Supit, I., van Kappel, R.R., 1998. A simple method to estimate global radiation, *Solar Energy*, 147–160.
10. Winslow, J.C., Hunt, E.R., Piper, S.C., 2001. A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data, *Ecological Modelling*, 227–243.
11. <http://www.hidmet.gov.rs/>
12. <http://eosweb.larc.nasa.gov/>

BIOGRAFIJA

Aleksandar Janković rođen je 07.12.1985 godine u Doboju, Bosna i Hercegovina. 1991 godine zbog izbijanja građanskog rata, zajedno sa porodicom napušta rodno mesto i završava prva četiri razreda u osnovnoj školi “Andrija Đurović” u Užicu. 1995 godine se vraća nazad u Bosnu, gde prvo završava kao vukovac osnovnu školu “Dositej Obradović”, a zatim i gimnaziju “Jovan Dučić”. 2004 godine upisuje Prirodno-matematički fakultet, odsek fizika, smer meteorologija, u Novom Sadu.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Diplomski rad

VR

Autor:

Aleksandar Janković

AU

Mentor:

Prof. D. Kapor, doc. B. Lalić

MN

Naslov rada:

Analiza empirijskih formula za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja

NR

Jezik publikacije:

Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

Srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2009

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,
Novi Sad

MA

Fizički opis rada:

(4/38/0/2/6/13/0)

FO

Naučna oblast:

Meteorologija i modeliranje životne sredine

NO

Naučna disciplina:

Primenjena meteorologija

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

Globalno zračenje, empirijske formule

PO

UDK

Čuva se:

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

| | |
|---|---|
| <i>Važna napomena:</i> | nema |
| VN | |
| <i>Izvod:</i> | |
| IZ | Računati su empirijski koeficijenti u Angstrom-Preskotovoj formuli za tri lokaliteta pomoću kojih se na osnovu relativnog trajanja sunčevog sjaja može proceniti dnevna suma globalnog zračenja. Izačunat je i trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja po mesecima. Rezultati su prikazani grafički i analizirani. |
| <i>Datum prihvatanja teme od NN veća:</i> | |
| DP | |
| <i>Datum odbrane:</i> | 30.10.2009 |
| DO | |
| <i>Članovi komisije:</i> | |
| KO | |
| <i>Predsednik:</i> | Prof. Darko Kapor, PMF-Noví Sad |
| <i>član:</i> | Prof. B. Rajković, Fizički fakultet, Beograd |
| <i>član:</i> | Doc. Maja Stojanović, PMF-Noví Sad |
| <i>član:</i> | Doc. B. Lalić, Poljoprivredni fakultet – Noví Sad |

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Aleksandar Janković

AU

Mentor/comentor:

Prof. D. Kapor, doc. B. Lalić

MN

Title:

Analysis of Empirical Formulas for Estimating Daily Global Radiation

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2009

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

(4/38/0/2/6/13/0)

PD

Scientific field:

Meteorology and Environmental Modelling

SF

Scientific discipline:

Applied meteorology

SD

Subject/ Key words:

Global radiation, empirical formulas

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

Angstrom-Prescott method for estimating global radiation were tested for three sites in Belgrade. Trend of daily global

AB

radiation and maximum intensity of global radiation were calculated by the months.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

30.10.2009

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Prof. Darko Kapor, PMF-Novı Sad

Member:

Prof. B. Rajković, Faculty of Physics, Belgrade

Member:

Doc. Maja Stojanović, PMF-Novı Sad

Member:

Doc. B. Lalić, Faculty of Agriculture – Novı Sad