



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Analiza statističkih i dinamičkih metoda modeliranja globalnog sunčevog zračenja

- master rad -

Mentori:
prof. Darko Kapor
doc. Branislava Lalić

Kandidat:
Aleksandar Janković

Novi Sad, 2010.

Veliku zahvalnost na dobronamjernim sugestijama, vjeri i razumijevanju pri izradi ovog master rada iskazujem mentorima, prof. Dr Darku Kaporu i doc. Dr Branislavi Lalić. Zahvaljujem se mr Zorici Podraščanin na velikom trudu i strpljenju koje je uložila, i bez čije pomoći ovaj rad ne bi mogao biti završen. Iskreno se zahvaljujem na trudu i pomoći u prikupljanju i analizi neophodnih podataka za izradu rada, kolegama iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda: Violeti Glišić, Ljiljani Dekić, Periši Sunderiću i Slobodanu Hadzivukoviću. I posebno hvala svim bivšim i sadašnjim studentima meteorologije, Univerziteta u Novom Sadu, a najviše Milici, Željki i Lazi.

Najveću zahvalnost dugujem djevojci Vanji i porodici, koji su me hrabrili i vjerovali u mene, stoga ovaj rad posvećujem njima.

Aleksandar Janković, decembar 2010.

Sadržaj

1 Uvod 5

1.1 O Sunčevom zračenju u atmosferi	5
1.2 Merenje globalnog zračenja	12

2 Modeliranje Sunčevog zračenja 15

2.1 Statističko modeliranje	16
2.1.1 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu trajanja Sunčevog sjaja	16
2.1.2 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu oblačnosti	17
2.1.3 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih dnevnih temperatura vazduha i suma padavina	17
2.1.4 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih temperatura vazduha	18
2.1.5 Procena dnevnog globalnog zračenja koristeći podatke sa drugih met. stanica	19
2.2 Dinamičko modeliranje	20
2.2.1 Numerička prognoza vremena	20
2.2.2 Zračenje u numeričkim modelima	22
2.2.3 Eta model	24

3 Materijal i metod 28

3.1 Opis lokaliteta i setova podataka	28
3.1.1 Novi Sad (Prirodno-matematički fakultet)	30
3.1.2 Zeleno Brdo	30
3.1.3 Pančevo	30
3.1.4 Podaci o oblačnosti, trajanju Sunčevog sjaja, dnevnim temperaturnim ekstremima i dnevnim sumama globalnog zračenja na vrhu atmosfere	30
3.1.5 Podaci sa automatskih meteoroloških stanica	30
3.2 Obrada podataka	31
3.2.1 Kritička kontrola podataka	31
3.2.2 Izračunavanje parametara u empirijskim formulama	32

3.2.3 Obrada podataka sa meteoroloških stanica	34
--	----

4 <u>Rezultati</u>	35
---------------------------	-----------

4.1 Statistički metod	35
4.1.1 Angstrom-Preskotov metod	35
4.1.2 Supit-Kapelov metod	418
4.1.3 Koulsonov metod	41
4.1.4 Hergrejsov metod	44
4.2 Dinamički metod	48
4.3 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja	55

5 <u>Zaključak</u>	62
---------------------------	-----------

1 Uvod

1.1 O Sunčevom zračenju u atmosferi

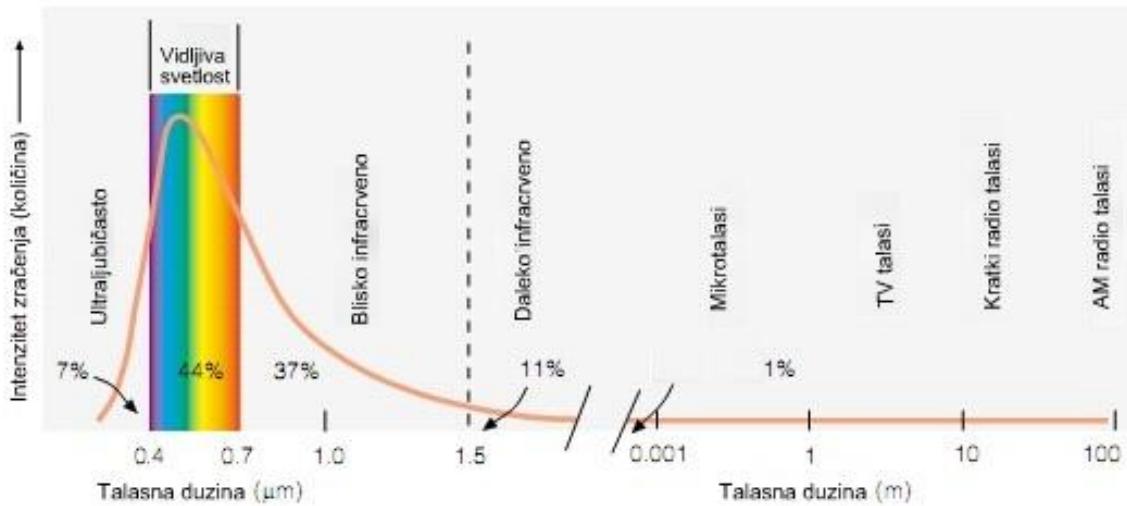
Skoro čitava razmena energije između Zemlje i vaskonskog prostora odvija se putem zračenja. Svako telo, pa tako i Zemlja i Sunce, emituju zračenje. Zemlja i njena atmosfera apsorbuju Sunčevo zračenje, a sa druge strane neprekidno emituju zračenje u Svemir.

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 elektromagnetskog 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 primetni 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 elektromagnetskog 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 osjetljive na elektromagnetno zračenje između $0,4 \mu m$ i $0,76 \mu m$, pa stoga ta oblast elektromagnetskog 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 elektromagnetskog zračenja (Ahrens, 2007).

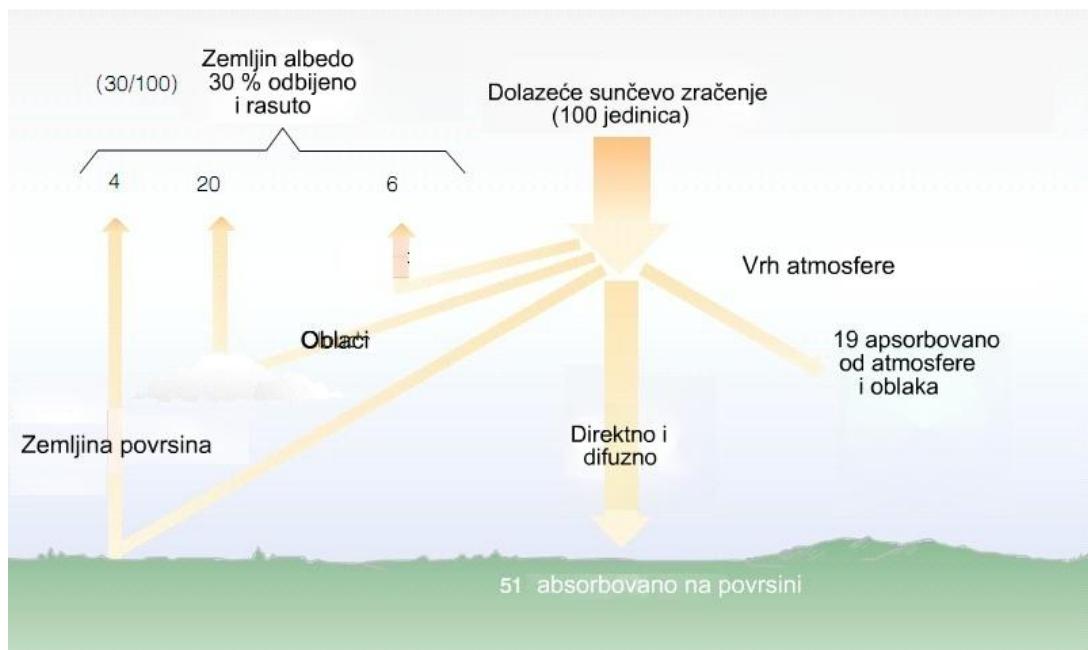
Bilans kratkotalasnog zračenja. Solarna konstanta S_0 je veličina koja karakteriše ukupnu količinu Sunčeve energije koja stiže do gornje granice atmosfere. Definiše se kao fluks Sunčeve energije koji prolazi kroz jediničnu površinu koja leži normalno na pravac prostiranja Sunčevih zraka pri srednjem 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 (12 2005). 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 zemljишta (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)

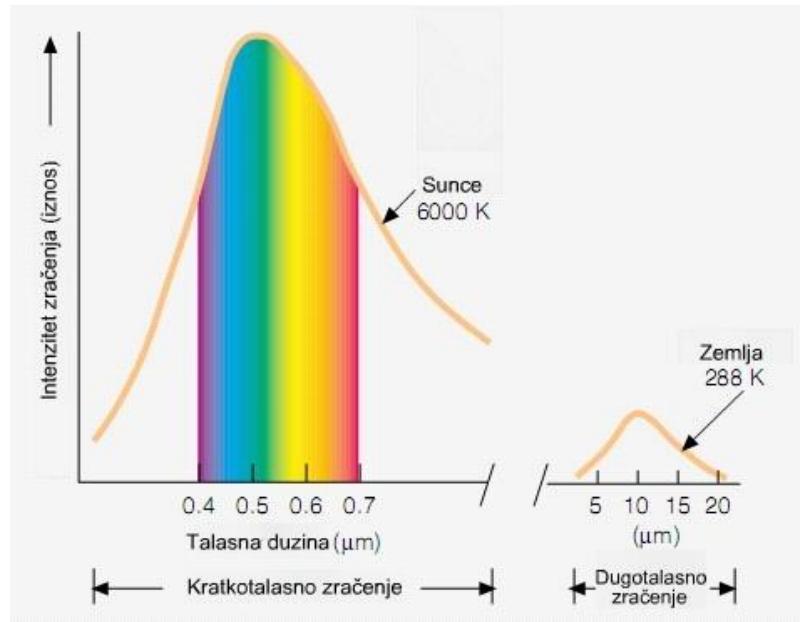
Atmosfera se sastoji od 78,08 % azota (N), 20,95 % kiseonika (O), 0,93 % argona (Ar), zatim u veoma malim količinama ugljendioksida (CO_2), vodonika (H), metana (CH_4) i ugljen-monoksida (CO). Atmosferu još čine i promenljive komponente od kojih su za zračenje najbitnije vodena para (H_2O) i ozon (O_3). Rasejanje predstavlja fizičku pojavu pri kojoj čestica koja se nalazi na putu elektromagnetskog 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 električni 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. Sunčev 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 kratkotalasnog zračenja na površini Zemlje i u atmosferi. (Ahrens, 2007)

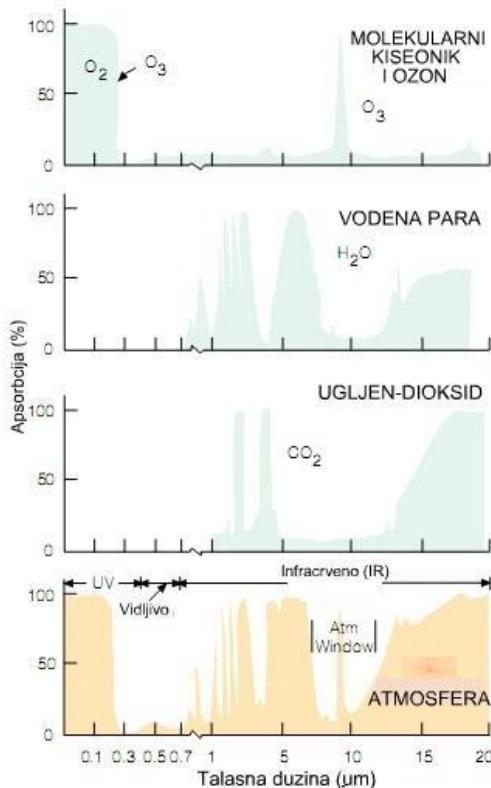
Kao važnog apsorbera kratkotalasnog zračenja treba pomenuti ozon. Ozon je veoma bitan kao dobar apsorber ultraljubičastog Sunčevog zračenja, koje je štetno za živi svet na Zemlji. Najveće količine ozona mogu se naći u stratosferi.

Sunčev zračenje dospeva od Sunca do vrha atmosfere u nepromjenjenom 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.



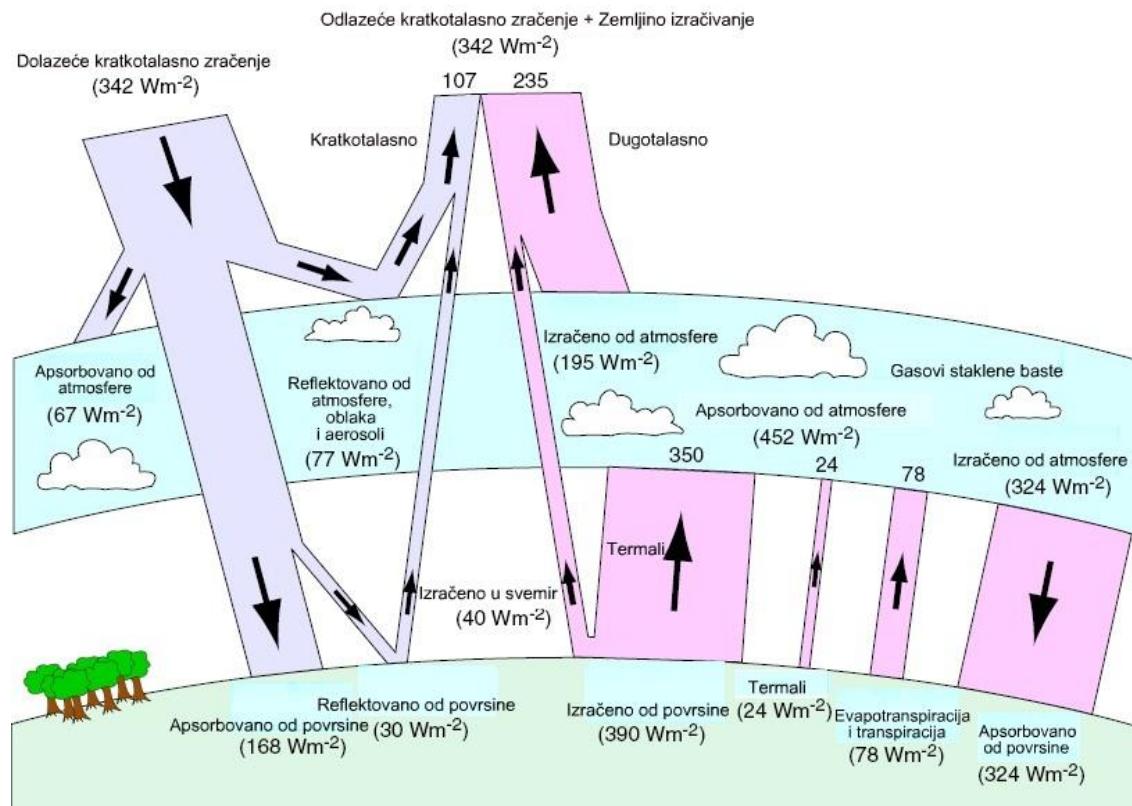
Slika 1.3 Energetski spektar zračenja Sunca i Zemlje (Ahrens, 2007)

Bilans dugotalasnog zračenja. Zemlja sa svojom prosečnom površinskom temperaturom od oko 288 K, emituje energiju u vidu dugotalasnog zračenja talasnih dužina u intervalu od $5 \mu m$ do $25 \mu m$, sa maksimumom na $10 \mu m$ (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, $15 ^\circ C$ (288 K), umesto - $18 ^\circ C$ (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 reflekтуje 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 Sunčev 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 izraženih 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 Sunčeve zračenje i odlazeće dugotalasno Zemljino izračivanje, što je preduslov za stabilnu klimu. U slučaju da postoji energetski 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 (CO_2), vodene pare (H_2O) i ozona (O_3), tzv. gasova „staklene baštne”, 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.

Termoelemenat 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 termoelektrorna sila, koja je veoma mala, svega nekoliko desetina mikrovolti po jednom temperturnom stepenu razlike. Zbog toga se termoelement ne koristi kao generator, nego za merenje razlike temperature koja predstavlja meru nekog toplotnog efekta.

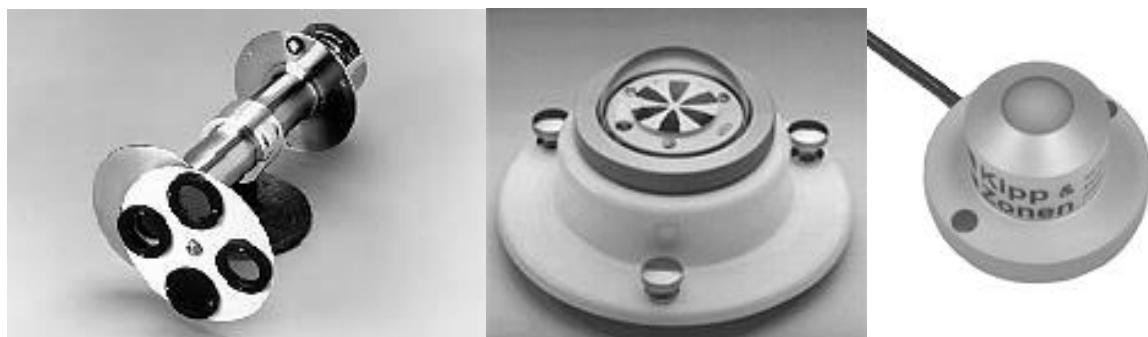
Uglavnom se kod piranometara i pirheliometara, prijemnik sastoji od više termoelemenata koji sačinjavaju termobateriju. Jedan spoj termoelementa, u termobateriji zagreva se pod uticajem zračenja, dok se drugi spoj održava na konstantnoj temperaturi.

Pirheliometar Epli (Eply). Zračenje pada na dva koncentrična srebrna prstena (Sl. 2.1). Spoljašni je prekriven magnezijum-oksidom, a unutrašnji čađu. Termobaterija meri razliku temperature 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 $3 \mu\text{m}$.

Piranometar Mol-Gorčinski (Moll-Gorczynski). Termospojevi su napravljeni od veoma tankih zacrnjenih traka mangana i konstantana zalemljenih kalajem u sredini, a krajevima za bakarne priključke. Izdignuti priključci su zatepljeni 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 poredani 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).

Piranometar SP Lajt (Pyranometer SP Lite) je silicijumski piranometar, posebno dizajniran u svrhu merenja raspoložive energije, potrebne za pravljenje solarnih ploča, procene evapotranspiracije, praćenja vazdušnog zagađenja i za potrebe klasičnih merenja u meteorologiji. SP-Lite koristi foto-diodu kao detektor, koja stvara izlazni napon proporcionalan upadnom zračenju. Eletrična osetljivost fotodiode se menja sa temperaturom. Nominalna vrednost ove promene je 0.2% po $^{\circ}\text{C}$. Kalibracija je provedena na $20\ ^{\circ}\text{C}$. Ovaj signal se zatim konvertuje Adcon-ovim pojачalom na signal u opsegu od 0 do 2.5 vati. Izlazne vrednosti se dobijaju u W/m^2 .



Slika 1.6 Pirhelijometar Epli, piranometar Janiševskij i SP Lajt

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.

2 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 Sunčev 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 kratkotalanost i dugotalanost zračenje.

Kada je u pitanju modeliranje kratkotalasnog zračenja, ono se obično podeli u dva dela – apsorbovani i rasejani. U višim slojevima atmosfere, dolazeće kratkotalansno 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 interakciju u atmosferi, kao što su rasejanje, apsorpcija ili refleksija. Koji od ovih procesa će biti razmotren, i na kojim komponentama atmosfere zavisi od modela. Kod modeliranja dugotalsnog zračenja se koriste razna pojednostavljenja, kako bi se izbegla velika potrošnja računskog vremena.

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.

2.1 Statističko modeliranje

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 evapotranspiracije. 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 dnevним padavinama (Trnka, 2005).

2.1.1 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu trajanja Sunčevog sjaja

Prvo je Angstrom (Ångstrom) 1924. godine napravio model za procenu dnevne sume globalnog zračenja, G_d koristeći vezu između izmerenog trajanja Sunčevog sjaja, maksimalne dužine dana i ukupnog zračenja realne atmosfere za potpuno bezoblačan dan G_{d0} . S obzirom da ova formula nije pogodna za stanice gde podaci za zračenje nisu dostupni, Prescot (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

$$G_d = G_a \left(1 - e^{-b_a S_r} \right) \quad (2.2)$$

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-Preskotov metod je baziran na linearnoj vezi između promenljivih.

2.1.2 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 (Supit) i Van Kapel (van Kappel), (Supit and Kappel, 1998) su na osnovu nekih ranijih istraživanja predložili metod u kojem je ova zavisnost predstavljena u obliku

$$G_d = G_a \left(a_s \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} + b_s \sqrt{\left(1 - \frac{n}{8}\right)} \right) + c_s \quad (2.3)$$

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.

Drugi metod je poznat kao Koulsonov metod, gde između srednje dnevne sume globalnog zračenja G_d i srednje dnevne oblačnosti n može da se postavi veza empirijskim putem:

$$G_d = G_{d0} [1 + \xi n]$$

gde uvedene oznake imaju sledeća značenja, G_{d0} je srednja dnevna suma globalnog zračenja koje dospe do Zemqine površine u toku bezoblačnog dana, dok je ξ konstanta koja se određuje empirijskim putem.

2.1.3 Procena dnevne sume globalnog zračenja na osnovu ekstremnih dnevnih temperatura 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:

$$G_d = \tau_{cf} D_l \left(1 - \frac{\beta e_s \left(\frac{e_s(T_{min})}{e_s(T_{max})} \right)}{e_s(T_{max})} \right) G_a \quad (2.4)$$

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 temprature i predstavlja meru slabljenja dolaznog Sunčevog zračenja kroz atmosferu; D_l – parametar koji koriguje efekte prouzrokovane razlikama u dužini dana za dve stанице, 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):

$$G_d = G_a \tau_{t,max} \tau_{f,max} \quad (2.5.)$$

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 stанице, kao i od pritiska vodene pare uz površinu vode za dati dan u godini, a sa $\tau_{f,max}$ korekcija usled prisustva oblaka.

2.1.4 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 uspeli da eliminišu oblačnost kao ulazni parametar:

$$G_d = G_a \tau \left(1 - e^{-b_d f(T_{avg}) + b_d f(T_{min})} \right) \quad (2.6)$$

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)

$$G_d = G_a a_H \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} + b_h \quad (2.7)$$

gde su a_h i b_h empirijske konstante.

2.1.5 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.

$$G_d = G_{a,proxy} \frac{G_a}{G_{a,proxy}} \quad (2.8)$$

gde su $G_{d,proxy}$ i $G_{a,proxy}$ izmereno globalno zračenje i dnevna suma globalnog zračenja na vrhu atmosfere 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 gustom stanica u mreži koje su u mogućnosti da mere Sunčevu zračenje.

2.2 Dinamičko modeliranje globalnog zračenja

2.2.1 Numerička prognoza vremena

Numerička prognoza vremena koristi trenutne vremenske uslove kao ulaze za matematički model atmosfere, kako bi se predvidilo kakvo će stanje atmosfere biti u budućnosti. Ovakav vid prognoze vremena zahteva kompjutere koji mogu da obrade veliki broj podataka za veoma kratko vreme. Atmosfera je fluid. Osnovna ideja numeričke prognoze vremena je da opiše stanje atmosfere u određenom trenutku i koristeći jednačine termodinamike i dinamike fluida da predvidi stanje atmosfere u nekom izabranom vremenskom periodu u budućnosti.

Britanski matematičar Luis Fraj Ričardson (Lewis Fry Richardson) je prvi ponudio numeričku prognozu vremena 1922 godine, ali je njegov pokušaj bio neuspešan. Prvu uspješnu numeričku prognozu 1955 godine izveo je tim meteorologa na čelu sa Džul Karnijem (Jule Charney), koristeći digitalni kompjuter. Koristili su pojednostavljen prikaz atmosferske dinamike bazirane na barotropnoj jednačini vrtložnosti.

Model predstavlja kompjuterski program koji kao rezultat daje meteorološke informacije za određenu lokaciju i nadmorsku visinu tog mesta za izabrani period u budućnosti. Horizontalni domen modela je ili globalni, što znači da pokriva čitavu planetu Zemlju, ili regionalni, što znači da pokriva samo određeni deo planete.

Prognoza se dobija obradom dinamičkih jednačina atmosfere. Ove jednačine su nelinearne i nemoguće ih je rešiti tačno, tako da numerički metod daje približno rešenje. Različiti modeli koriste različite metode. Neki globalni modeli koriste spektralni pristup za horizontalne dimenzije, a konačne razlike za vertikalnu dimenziju, dok regionalni modeli i jedan deo globalnih koriste metod konačnih razlika za sve tri dimenzije.

Model se pokreće koristeći osmotrene podatke iz raznih izvora, radiosondama, meteorološkim satelitima i podacima sa meteoroloških stаница. Svi osmatreni podaci se podvrgavaju kontroli kvaliteta, čime se netačna osmatranja odstranjuju metodama objektivne analize. Oni podaci koji prođu kontrolu kvaliteta koriste se kao polazna tačka za prognozu vremena. Set jednačina ili primitivne jednačine kako se još zovu, koriste osmotrene podatke, kao početne i granične uslove kako bi predvidili stanje atmosfere u veoma bliskoj budućnosti, zavisno od odabranog vremenskog koraka. Dobijeni rezultati sada postaju nova polazna tačka, i ponovo se proces odvija dalje u budućnosti, sve dotle dok se ne dostigne željeno vreme prognoze. Vremenski koraci globalnih klimatskih modela mogu biti reda veličine

desetina minuta, dok kod regionalnih modela ovaj interval varira od nekoliko sekundi do nekoliko minuta.

Godine 1963. Edvard Lorenc (Edward Lorenz) je došao do takozvane fundamentalne teorije predvidljivosti: Atmosfera ima konačnu granicu predvidljivosti, čak i ako je prognostički model perfektan i ako su početni uslovi savršeno poznati. Dakle, prognostičke sposobnosti jednog atmosferskog modela zavise ne samo od početnih uslova, nego i od karakteristika samog modela. Najmanja greška u postavci prognostičkog modela ili u početnim uslovima dovodi do porasta veličine grešaka, što neizbežno vodi do smanjivanja pouzdanosti same prognoze vremena. Od tog vremena, pa sve do danas, pouzdanost numeričke prognoze se neprekidno poboljšavala shodno razvoju kako numeričkih modela za prognozu vremena, tako i razvoju kompjutera koji su korišćeni u svrhu prognoze. Bitan napredak u pouzdanosti numeričke prognoze vremena je napravljen kroz činjenicu da se haotična priroda atmosfere može umesto jednim prognostičkim modelom opisati sa više modela koji su dobijeni ili varijacijom početnih uslova ili varijacijom samog prognostičkog modela. Ovakav pristup je doveo do takozvane ansambl prognoze koja je operativno prvi put izvedena 1992. godine, u kooperaciji NCEP-a (National Center for Environmental Prediction) i ECMWF (the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

Ansambl prognoza je metod numeričke prognoze vremena pomoću kojeg se generiše reprezentativni uzorak mogućih budućih stanja atmosfere. Kreće se od stanovašta da greške malih razmara u analizi (osmotreno stanje atmosfere), mogu dovesti do velikih razlika u evoluciji sistema velikih sistema, kao što su na primer cikloni. Uvodeći male perturbacije u početne uslove, u ansambl prognozi se pokreće veći broj numeričkih prognoza sa istim modelom, pri čemu veličina uvedenih perturbacija mora biti u skladu sa greškom koja se pravi prilikom osmatranja tih početnih uslova. Pored toga ansambl prognoza se može dobiti i perturbacijom samog prognostičkog modela, koristeći promene u dinamici, fizičkim parametrizacijama, numeričkim metodama i horizontalnoj ili vertikalnoj rezoluciji. Dakle, ansamblom se naziva skup članova iz više numeričkih modela za prognozu vremena koji su dobijeni na osnovu istih početnih uslova ili skup članova iz jednog numeričkog modela za prognozu vremena sa setom promenjenih početnih uslova. Pri tom se pod članom ansambla podrazumeva pojedinačna prognoza unutar ansambl sistema.

2.2.2 Zračenje u numeričkim modelima

Prisustvo dugotalasnog i kratkotalasnog zračenja u atmosferi bitno utiče na vreme i prognozu vremena. Balans između kratkotalasnog i dugotalasnog zračenja zavisi od kombinacije faktora, kao što su temperatura, oblaci, koncentracija vodene pare, ozona, ugljen-dioksida i aerosola. Ove promenljive moraju se uzeti u račun pre nego što se model pokrene, kako bi se tačno izračunali njihovi efekti na kratkotrajne vremenske pojave. Oni koji prave modele odlučuju koje od ovih promenljivih će ostaviti, a koje zanemariti, iz razloga što su procesi vezani za njih veoma kompleksni. Svi modeli za prognozu vremena koriste odvojene module za kratkotalasno i dugotalasno zračenje. Svi modeli za parametrizaciju zračenja simuliraju apsorpciju zračenja od strane vodene pare, ozona, ugljen-dioksida, oblaka i zemljine površine. Takođe, uračunavaju refleksiju zračenja od strane oblaka i Zemljine površine, i difuziju zračenja uzrokovana oblacima i aerosolima, kao i re-emisiju dugotalasnog zračenja preko ozona.

Za razliku od atmosferskih modela namjenjenih za kratoročnu prognozu vremena, u modelima za transport zagađenja i klimatskim modelima parametrizacija hemijskih procesa u atmosferi je od velikog značaja. Različite hemijske komponente atmosfere imaju različita svojstva i različit uticaj na zračenje koje se nalazi u atmosferi. Sa aspekta energetskog bilansa atmosfere, vodena para je najvažnija komponenta atmosfere, jer apsorbuje različite intervale talasnih dužina dugotalasnog zračenja zemlje. Ozon igra bitnu ulogu u apsorpciji kratkotalasnog zračenja u stratosferi. Bez uključivanja ove dve komponente atmosfere u model, kao i eksplicitne parametrizacije stratosferskih procesa kao posebnog sloja ne može se dobiti kvalitetan model za parametrizaciju zračenja. Efekti drugih komponenti na bilans zračenja, kao što su metan, ugljen-monoksid, azot-oksid, kiseonik i aerosoli su manje bitni, pa se tako neke od ovih komponenata ne nalaze u pojedinim modelima za parametrizaciju zračenja. Iako najveći deo atmosfere čine kiseonik i azot, ovi gasovi nisu bitni za parametrizaciju zračenja, jer su gotovo potpuno propusni kako za kratkotalasno, tako i za dugotalasno zračenje.

Opis modela

Global spectral model (GSM). Globalni spektralni model (Anthes,R. A., and T. T. Warner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Monthly Weather Review.*, 106, 1045-1078.) za srednjoročne

prognoze (Medium Range Forecast) koji je napravio Nacionalni meteorološki centar (National Meteorological Center) koristi modul za kratkot часно zračenje, koja u račun uzima efekte apsorpcije ozonom, ugljen-dioksidom, vodenom parom i oblacima. Takođe je uključena i reflekcija od strane zemljine površine i oblaka. Procena distribucije ozona i ugljenik-dioksida u atmosferi se zasniva na sezonskim klimatološkim podacima. Snežni pokrivač se procenjuje iz klimatoloških podataka i obračunava se kao promena površinskog albeda. Kod dugot часне modula uračunavaju se efekti apsorpcije i emisije zračenja vodenom parom, ozonom, ugljen-dioksidaom i oblacima.

The Nested-grid model (NGM) (Anthes,R. A., and T. T. Warner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Monthly Weather Review*, 106, 1045-1078.) je razvila NASA i za razliku od Globalnog spektralnog modela, paket zračenja koji je vezan za ovaj model sadrži sve bitne elemente modela za parametrizaciju zračenja, a opet je veoma jednostavan. Dugot часно zračenje se određuje kao funkcija površinske i atmosferske temperature, relativne vlažnosti i oblačnosti. Kratkot часно zračenje se računa ka funkcija specifične vlažnosti, oblačnosti, površinskog albeda i zenitnog ugla sunca. NGM ne sadrži atmosfersku hemiju kao komponentu modela.

The Rapid Update Cycle (RUC) (Benjamin, S. G., K. J. Brundage, L. L. Morone, NOAA/NWS, 1994: Implementation of the Rapid Update Cycle. <http://maps.fsl.noaa.gov/tpbruc.cgi>), koji je razvio NCAR (National Center for Atmospheric Research), parametriše fizičke procese, kao što su mikrofizika oblaka, turbulentno mešanje, zračenje i konvektivne padavine. RUC koristi jednačine energetskog bilansa kako bi odredio površinsku temperaturu. Zračenje na vrhu atmosfere se uzima kao promenljiva, zavisna od eliptične putanje Zemlje oko Sunca.

The European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) (Morcrette, J.-J., 1991: Radiation and cloud radiative properties in the ECMWF operational weather forecast model. *J. Geophys. Res.*, 96, 9121-9132.). Evropski centar za srednjoročne vremenske prognoze takođe ima svoj paket zračenja. Za potpuno bezoblačne uslove, kratkot часно zračenje se fokusira na difuziju aerosolima i efekte apsorpcije vodenom parom, ozonom, kiseonikom, ugljen-monoksidom, metanom i azot-oksidom. Dugot часно zračenje za iste uslove se fokusira na apsorpciju vodenom parom, ugljen-dioksidom i ozonom. Kao referentni nivo ugljen-dioksida u atmosferi se uzima 345 ppm. U oblačnim uslovima za

procenu kratkotalsnog zračenja uzimaju se efekti apsorpcije i difuzije na kapljicama oblaka, dok kod dugotalsnog zračenja takođe se posmatraju efekti apsorpcije, ali ne i difuzije na kapljicama oblaka.

The Weather Research and Forecast model (WRF) (<http://atmo.tamu.edu/>) su zajedničkim snagama razvili NCAR, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) i NCEP. Ovaj model omogućava prognozerima da analiziraju meteorološke pojave na mezoskalnom nivou, kao što je recimo grmljavina sa mnogo većom preciznošću. WRF uključuje veoma opsežan paket atmosferske hemije, koji omogućava simulaciju aerosola, prognozu hemijsko-vremenskih uslova, kao i testiranje strategija za smanjivanje vazdužnog zagađenja. Ovako opsežan paket atmosferske hemije poboljšava i procenu bilansa kratkotalsnog i dugotalsnog zračenja.

2.2.3 Eta model

Razvoj ETA modela započeo je 1972. godine saradnjom Saveznog hidrometeorološkog zavoda i Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu. Po skraćenom nazivu institucija u okviru kojih je razvijen, model je dobio naziv HIBU (Hydrometeorological Institute and Belgrade University). Glavni kreatori ETA modela bili su Zaviša Janjić i Fedor Mesinger. Novija verzija modela razvijena je u saradnji Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu, Nacionalnog meteorološkog centra S.A.D.-a iz Vašingtona (Washington) i Laboratorije za geofiziku i dinamiku fluida (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - GFDL) iz Prinstona (Princeton) u SAD (Matthew E. Pyle, Vladimir Djurdjević, and Fedor Mesinger, 2008: A Guide to the Eta Model, *Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy*). Ime ETA model je dobio po svojoj vertikalnoj koordinati (eta). Danas se ETA model koristi u više od 20 meteoroloških institucija širom sveta, kako za operativnu prognozu vremena, tako i u istraživačke svrhe.

Glavne karakteristike novijih verzija Eta modela je da daju kratkoročnu prognozu do tri dana unapred, za procese sinoptičkih i podsinoptičkih razmara. Eta model predstavlja regionalni model za numeričku prognozu stanja atmosfere i definisan je na polurazmankutoj Arakavinoj (Arakawa) E mreži. Ima ugrađenu specijalnu tehniku za sprečavanje razdvajanja rešenja. Vertikalna koordinata je η (eta) koordinata, kao generalizacija σ (sigma) koordinate, sa stepenastom prezentacijom planina (Janjic, Z.I., 1994: The step-mountain Eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure

schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927-945.). Model se može koristiti i u jednom i u drugom modu bez ikakvih izmena u kodu. U horizontalnoj advekciji model ima ugrađenu kontrolu nelinearne kaskade energiji. Vremensko diferenciranje je eksplisitno sa rascepljivanjem. Za planetarni granični sloj se koristi Melor-Jamada (Mellor-Yamada) parametrizaciona šema nivoa 2,5 (**Error! Reference source not found.**). Za prizemni sloj se koristi Melor-Jamada parametrizaciona šema dva nivoa, sa plitkim slojem dinamičke turbulencije na dnu. Bočna difuzija je drugog reda sa difuzionim koeficijentom koji zavisi od deformacije polja strujanja i turbulentne kinetičke energije (Mesinger, F., 1993: Forecasting upper tropospheric turbulence within the framework of the Mellor-Yamada 2.5 closure. *Res. Activities in Atmos. and Oceanic Modelling, Rep. No. 18, WMO, Geneva*, 4.28-4.29.). Prizemni procesi, kao što su isparavanje, sneg,topljenje, hidrologija, i dr. su uključeni. Uključene su padavine velikih razmara i konvektivna šema Bets-Milera i Janjića (Betts-Miller-Janjić) (Betts, A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Arctic airmass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 693-709.). Šema za zračenje je GFDL.

Paket za parametrizaciju zračenja Eta modela

Paket za parametrizaciju zračenja Eta modela (Staudenmaier, Jr., M., NWSO Sacramento, 1996: Western Region Technical Attachment No. 96-06 a Description of the MESO ETA Model. <http://nimbo.wrh.noaa.gov/wrhq/96TAs/TA9606/ta96-06.html>) je gotovo identičan kao kod globalnog spektralnog modela. Ipak postoje i male izmene.

Modeliranje zračenja je podeljeno u dva odvojena modula za dugotalasno i kratkotalasno zračenje, i za dva slučaja, bezoblačnog i oblačnog neba. Prilikom modeliranja atmosfere korišćen je višeslojni model u kome je pretpostavljeno da su slojevi planparalelne ploče, homogene u horizontalnom pravcu. Kod modula za parametrizaciju dugotalasnog zračenja, za slučaj bezoblačnog neba, uračunava se apsorpcija na molekulima vodene pare. Kod jednačine za divergenciju fluksa se koristi hibridna šema koja razdvaja razmenu između slojeva od onog dela dugotalasnog zračenja koje ode nepovratno u svemir. Transmisija na ugljen-dioksidu se bazira na već definisanim transmitivnim funkcijama za 200 cm^{-1} interval. Apsorpcija dugotalasnog zračenja ozonom, koristi Rodžers-Volšou (Rodgers and Walshaw, 1963) model i VCG ('Very Cold Grain') (Graeme L. Sthepens, 1984. The Parametrization of Radiation for Numerical Weather Prediction and Climate Models, *Monthly weather review*, Volume 112, 826-867.) aproksimaciju.

U slučaju da model ‘vidi’ oblake, oni se tretiraju kao jedna beskonačna izotermna atmosfera koja zrači kao crno telo, emisivnosti $\zeta=1$, ili sa emisivnošću $\zeta=0.5$. Zanemaruje se Rejlijevo rasejanje na molekulima vazduha u pretpostavku da je atmosfera izotropna.

Proračun kratkotalasnih flukseva, za slučaj bezoblačnog neba uzima u obzir slabljenje direktnog sunčevog zračenja kroz atmosferu i bazira se na jednačini:

$$S'(z) = \cos \theta_0 \cdot 0.93 \cdot S(\infty) \tau(z, \infty, \cos \theta_0) \quad (2.9)$$

$S'(z)$ je fluks kratkotalasnog zračenja nadole kroz sloj z , a $S(\infty)$ fluks kratkotalasnog zračenja koje dospe na vrh atmosfere, dok θ_0 predstavlja zenitni ugao i varira kao funkcija položaja i vremena zražena preko:

$$\cos \theta_0 = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos R \quad (2.10)$$

gde je ψ - geografska širina, δ - deklinacija Sunca, R – časovni ugao, meren prema lokalnom podnevu. τ u jednačini (1.10) predstavlja prosečnu transmitancu osrednjena za čitav sunčev spektar:

$$\tau(\epsilon, \infty, \mu_0) = \frac{1}{S(\infty)} \int_{\epsilon}^{\infty} S_v(\epsilon) \tau_v(\epsilon, \infty, \mu_0) dv \quad (2.11)$$

gde τ_v predstavlja monohromatsku transmitivnu funkciju, S_v monohromatski sunčev fluks na vrhu atmosfere.

Rejlijevo rasejanje se obavlja na razmerama molekula do $0.9 \mu m$. Kod kratkotalasnog zračenja za slučaj bozblačnog neba, Rejlijevo rasejanje se uzima u razmatranje, tako da dolazno zračenje na vrhu atmosfere uvek slabi za 7% na putu do Zemljine površine usled ovog procesa. Apsorpcija kratkotalasnog zračenja na ugljen-dioksidu, vodenoj pari i ozonu se bazira na Jamamotovoj (Yamamoto G., 1962) aproksimaciji u kojoj je optička debljina predstavljena preko:

$$u = \left(\frac{p}{p_0} \right)^n \left(\frac{T_0}{T} \right)^m du \quad (2.12)$$

Gde p i T predstavljaju trenutni pritisak i temperaturu, p_0 i T_0 standardni pritisak i temperaturu, n i m su koeficijenti koji zavise od vrste zračenja (dugotalasno i kratkotalasno) i

vrste gasa na kojem se vrši apsorpcija. Vrednosti koefijenata su definisane za vodenu paru, ozon i ugljen-dioksid.

Za slučaj oblačnog neba, kod modula za kratkotalasno zračenje, rasejanje se predstavlja kao funkcija već poznatih albeda za visoke, srednje i niske oblake. Prag relativne vlažnosti se koristi da okarakteriše prisustvo niskih, srednjih i visokih oblaka, redom:

$$\begin{aligned} C_l &= \frac{\bar{R}_h - \bar{R}_{h_{cl}}}{1 - R_{h_{cl}}} \\ C_m &= \frac{\bar{R}_h - \bar{R}_{h_{cm}}}{1 - R_{h_{cm}}} \\ C_h &= \frac{R_h - R_{h_{cr}}}{1 - R_{h_{cr}}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

gde su R_h – srednja relativna vlažnost sloja, $R_{h_{cr}}$ je kritična vrednost relativne vlažnosti. Indeksi l , m i h ukazuju na vrstu oblaka, gde se l odnosi na niske, m na srednje i h na visoke oblake (Mihailović Dragituin, 2003. Skripte sa predavanja predmeta 'Modeliranje fizičkih procesa u atmosferi'). Treba zapaziti da se sva tri parametra se kreću u intervalu od 0 do 1. Poslednja verzija 'vidi' oblake na svakom nivou modela. Ovo značajno pomaže u proračunu efekata apsorpcije. Apsorpcija na gasovima i kapljicama vodene pare se uzima u proračun, dok se višestruka refleksija zanemaruje.

Što se tiče hemijskog dela, distribucija ugljen-dioksida i ozona se dobija iz klimatoloških podataka i smatra se konstantnom. Početni površinski albedo se dobija iz klimatoloških podataka, ali se omogućava i njegova promena u toku prognoze. Snežni pokrivač se takođe procenjuje iz klimatoloških podataka i obračunava se kao promena površinskog albeda. Eta model uključuje i korekciju ekscentrične putanje Zemlje, kao i poboljšanu šemu ozona i aerosola.

3 Materijal i metod

3.1 Opis lokaliteta i setova podataka

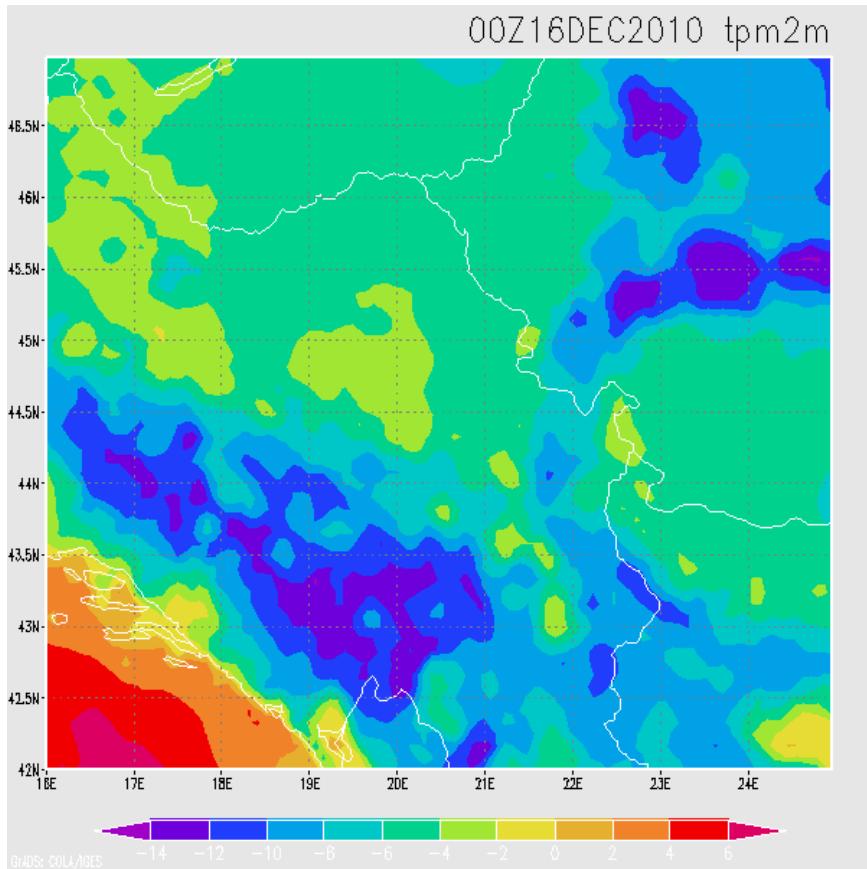
U mom diplomskom radu, koji predstavlja polazište ovog istraživanja, je proverena tačnost i primenljivost Angstrom-Preskotove empirijske relacije za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja za geografsku širinu Beograda i Novog Sada. Metod je testiran za četiri lokaliteta Novi Sad, Zeleno Brdo, Košutnjak i Pančevo. 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 dnevnih hod nepravilan. Uzrok ovoga ležao je u činjenici da je piranometar bio postavljen na lošu lokaciju, tako da je samo deo od ukupnog globalnog zračenja stizao do prijemnog dela uređaja. Zbog toga se odustalo od dalje obrade ovog seta podataka. Takođe, na osnovu izmerenih vrednosti globalnog zračenja određen je godišnji trend dnevnih suma i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja za sve mesece u godini u periodu od 2003 do 2009 godine za područje Beograda.

Ciljevi ovog istraživanja su bili:

- 1) proveriti tačnost i primenljivost empirijskih relacija za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja, pored već analizirane Angstrom-Preskotove metode
- 2) uporediti dinamički metod procene globalnog zračenja sa osmotrenim vrednostima i vrednostima dobijenim pomoću empirijskih relacija.

Pored Angstrom-Preskotove, testirane su i Supit-Kapelova, Koulsonova i Hergrejsova metoda za područje Beograda i Novog Sada. Rezultati koji su dobijeni testiranjem Angstrom-Preskotovog metoda za lokalitet Košutnjaka, u ovom radu su odbačeni zbog veoma kratkog seta podataka, koji se odnosio na period od avgusta do decembra 2008 godine. Za proveru Angstrom-Preskotove relacije potrebni su bili setovi podataka o izmerenom intenzitetu globalnog zračenja, i trajanju Sunčevog sjaja, pored već testiranog metoda za lokalitet Beograda, vršena je i provera tačnosti i primenljivosti za novi set podataka iz Novog Sada.. Kod Supit-Kapelovog metoda, pored izmerenog intenziteta globalnog zračenja i oblačnosti, potrebni su bili setovi podataka o maksimalnim i minimalnim dnevnim temperaturama. Za proveru Kuolsonove relacije statističkom analizom je određena srednja vrednost koeficijenta transmitivnosti u toku bezoblačnog dana na godišnjem nivou, kako bi se srednja dnevna suma globalnog zračenja koja stiže u toku dana mogla izraziti preko proizvoda dnevne sume sunčevog zračenja koje stiže na vrh atmosfere i pomenutog koeficijenta transmitivnosti. Pored toga potrebni su bili i setovi podataka o izmerenom intenzitetu globalnog zračenja i oblačnosti, dok kod Hergrejsovog metoda i podaci o maksimalnim i minimalnim dnevnim temperaturama. Izmerene vrednosti intenziteta globalnog zračenja preuzete su sa tri stanice: Novi Sad, Zeleno Brdo i Pančevo, dok su podaci o oblačnosti, trajanju Sunčevog sjaja, maksimalnim i minimalnim dnevnim temperaturama preuzeti iz Klimatološkog godišnjaka Republičkog hidrometeorološkog zavoda.

Poređenje dinamičkog i statističkog metoda, zahtjevalo je preuzimanje vrednosti kratkotalasnog zračenja koje numerički model računa. Regionalni numerički model je integrisan nad domenom, čiji se centar oblasti nalazi u kordinati 21°E i 45°N . Domen integracije ima 111 tačaka u x , i 121 tačku u y pravcu. Korak mreze iznosi 0.2 stepena. U svrhu dobijanja što tačnijih vrednosti prognoziranog zračenja, domen je nestovan, centar centar oblasti je ostao isti kao i kod velikog domena, ali mu je korak smanjen na 0.06 stepeni i ima 61 tačku u x , i 121 tačku u y pravcu. Korak u vremenu velikog domena je 90 s, a nestovanog 20 s. U vertikalnom pravcu je takođe 45 nivoa.



Slika 3.1 Veliki domen regionalnog modela Workstation Eta

Prognozirane časovne vrednosti kratkotalasnog zračenja preuzete su za četiri lokaliteta Novi Sad, Beograd, Kopaonik i Beč za prvih 24h prognoze. Za Novi Sad je izvršeno poređenje prognozirane sume sunčevog zračenja sa procenjenim vrednostima dobijenim Angstrom-Preskotovom metodom, kao i sa merenim vrednostima dobijenim sa automatskih stanica Republičkog hidro-meteorološkog zavoda i izmerenim vrednostima piranometra lociranog na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu. Za preostala tri lokaliteta vršeno je poređenje prognozirane dnevne sume sunčevog zračenja sa izmerenim vrednostima sa automatskih stanica.

3.1.1 Novi Sad (Prirodno-matematički fakultet)

Novi set podataka iz Novog Sada registrovao je piranometar SP lajt koji se nalazio u blizini Prirodno-matematičkog 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 30. septembra 2009. do 30. oktobra 2010. Intenzitet izmerenog globalnog zračenja je registrovan u W/m^2 , a meren je na svakih petnaest minuta.

3.1.2 Zeleno Brdo

Podaci dobijeni iz Beograda, tačnije iz opservatorije koja se nalazi na Zelenom Brdu, 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.

3.1.3 Pančevo

Pančevačka meteorološka stanica se nalazi na 76 m nadmorske visine. Koordinate stanice su $44^{\circ}50' N$ i $20^{\circ}40' E$. 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.

3.1.4 Podaci o oblačnosti, trajanju Sunčevog sjaja, dnevnim temperaturnim ekstremima 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, oblačnosti i temperaturnim ekstremima 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/>].

3.1.5. Podaci sa automatskih stanica

a) Podaci Republičkog-hidrometeorološkog zavoda

Podaci sa automatskih stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda, dobijeni su za tri lokaliteta Novi Sad, Kopaonik i Beograd. Automatska meteorološka stanica u blizini Novog sada smeštena na Rimskim šančevima nalazi se na 84 m nadmorske visine.

Koordinate stanice su $45^{\circ}20'N$ i $20^{\circ}28'E$. Automatskih stanica smeštena na Kopaoniku nalazi se na 1710 m nadmorske visine, a njene koordinate iznose $43^{\circ}17'N$ i $20^{\circ}48'E$. Period za sva tri lokaliteta, na koje se merenja odnose su za 2010 godinu. Beogradska automatska meteorološka stanica nalazi se na 132 m nadmorske visine, a koordinate su joj $44^{\circ}48'N$. Dobijene su trenutne vrednosti zračenja merene na svakih minut, i izražene su u W/m^2 .

b) Podaci sa automatske stanice u Beču

Kako bi se izbegla sistematska greška koja može da se javi u osmatračkim sistemima u kojima su sve stanice istovremeno kalibrirane i puštene u rad, pored podataka iz mreže automatskih stanica RHMZ-a korišćeni su i podaci imereni na meteorološkoj stanici Gossenzerdorf (Austrija, Beč) i koja je deo sistema Austrijskih automatskih meteoroloških stanica. Za poređenje dinamičkog modeliranja iskorišćeni su i podaci sa automatske meteorološke stanice Gross-Enzersdorf, smeštene u Beču. Koordinate stanice u Beču su $48^{\circ}12'N$ i $16^{\circ}33'E$ i nalazi se na nadmorskoj visini 155m.

3.2 Obrada podataka

3.2.1 Kritička kontrola 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 tri 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 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 ostavljeni u W/m^2 . Kritičkom kontrolom prvog seta podataka za Novi Sad utvrđeno je da su izračunate sume znatno manje u odnosu na prosečne, kao i da je dnevnih 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 sumi i maksimalnih intenziteta globalnog zračenja po mesecima.

3.2.2. Izračunavanje parametara u empirijskim formulama

Drugi korak u obradi podataka 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 W/m^2 . Polazeći od Angstrom-Preskotove (1.2) i Hergrejsove formule (1.8) a na osnovu izmerenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja izračunati su, metodom najmanjih kvadrata, empirijski parametri a_a i b_a za Angstrom-Preskotov, a_h i b_h za Hergrejsov metod. 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:

$$b = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{\sum x^2 - n \sum x^2} \quad (3.1)$$

$$a = \frac{\sum x \sum xy - \sum x^2 \sum y}{\sum x^2 - n \sum x^2}. \quad (3.2)$$

U slučaju Angstrom-Preskotove i Hergrejsove formule, parametri a_a i b_a , a_h i b_h odgovaraju koeficijentima linearne funkcije a i b , a x_i i y_i predstavljaju izračunate, odnosno izmerene vrednosti promenjivih za svaki dan:

$$x = S_r \quad \text{i} \quad y = \frac{G_d}{G_a} \quad \text{za Angstrom-Preskotov metod} \quad (3.3)$$

$$x = \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad \text{i} \quad y = \frac{G_d}{G_a} \quad \text{za Hergrejsov metod} \quad (3.4)$$

Kod Supit-Kapelove relacije (1.4), za izračunavanje empirijskih koeficijenata takođe je korišten metod najmanjih kvadrata, s tim što je u prvom računanju izračunat koefijent c_s , kao koeficijent a , a član u zagradi kao koeficijent b linearne funkcije preko x' i y' , a zatim u drugom računanju ponovo metodom najmanjih kvadrata, koefijent b_s i a_s , kao odgovarajući koefijenti linearne funkcije preko x'' i y'' :

$$x' = G_a \quad \text{i} \quad y' = G_d \quad (3.5)$$

$$x'' = \frac{\sqrt{1 - \frac{n}{10}}}{\sqrt{T_{\max} - T_{\min}}} \quad \text{i} \quad y'' = \frac{b}{\sqrt{T_{\max} - T_{\min}}} \quad (3.6)$$

Kod Koulsenovog metoda (1.5), dnevna suma globalnog zračenja koja dospeva do zemljine površine u toku bezoblačnog dana G_{do} , predstavljena je preko proizvoda prosečnog koeficijenta transmitivnosti u toku bezoblačnog dana na godišnjem nivou i dnevne sume sunčevog zračenja koje stiže na vrh atmosfere G_a . Statističkom analizom određena je srednja vrednost koeficijenta transmitivnosti u toku bezoblačnog dana na godišnjem nivou i iznosi 0.685, i kao takva uvrštavana je u relaciju. Koeficijent ξ je određen preko relacije:

$$\xi = \frac{0.685 \cdot \sum n \sum G_a - \sum G_d + 0.685 \sum G_a}{0.685 \sum n \sum G_a} \quad (3.7)$$

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (G_d - G_i)^2}{n}} \quad (3.8)$$

$$\sigma_{G_d} = \frac{\sum \left(\frac{G_d - G_i}{G_o} \right)}{n}. \quad (3.9)$$

U jednačinama (2.8)-(2.9), 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.

3.2.3 Obrada podataka sa automatskih meteoroloških stanica

Kao što je već napomenuto podaci sa automatskih meteoroloških stanica dobijeni su za četiri lokaliteta Novi Sad, Beograd, Kopaonik i Beč. Izmerene vrednosti iskorišćene su za poređenja sa prognoziranim zračenjem dobijenim preko regionalnog numeričkog modela Workstation Eta. Period merenja se odnosi na 2010 godinu. Na osnovu izmerenih trenutnih vrednosti na svakih minut vremena, izraženih u W/m^2 , izračunata je dnevna suma globalnog zračenja i izražena u J/cm^2 . Regionalni numerički model Workstation Eta daje kratkoročnu prognozu vremena. Prognozirane vrednosti flukseva kratkotalsnog zračenja dobijene su za period od 72 časa, ali za potrebe poređenja preuzete su samo prognozirane vrednosti za prvih 24 sata. Regionalni numerički model prognozira trenutne vrednosti kratkotalsnog zračenja u W/m^2 na svakih sat vremena. Na osnovu časovnih vrednosti izračunata je dnevna suma sunčevog zračenja i izražena u J/cm^2 . Model je puštan za pojedine dane u periodu, od kraja

februara do početka jula, čime je dobijen niz od pedeset prognoziranih dnevnih suma zračenja. Zatim je obavljeno poređenje sa izmerenim dnevnim sumama sa automatskih meteoroloških stanica, za dane za koje je model puštan.

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.

4 Rezultati

4.1 Statistički metod

4.1.1 Angstrom-Preskotov metod

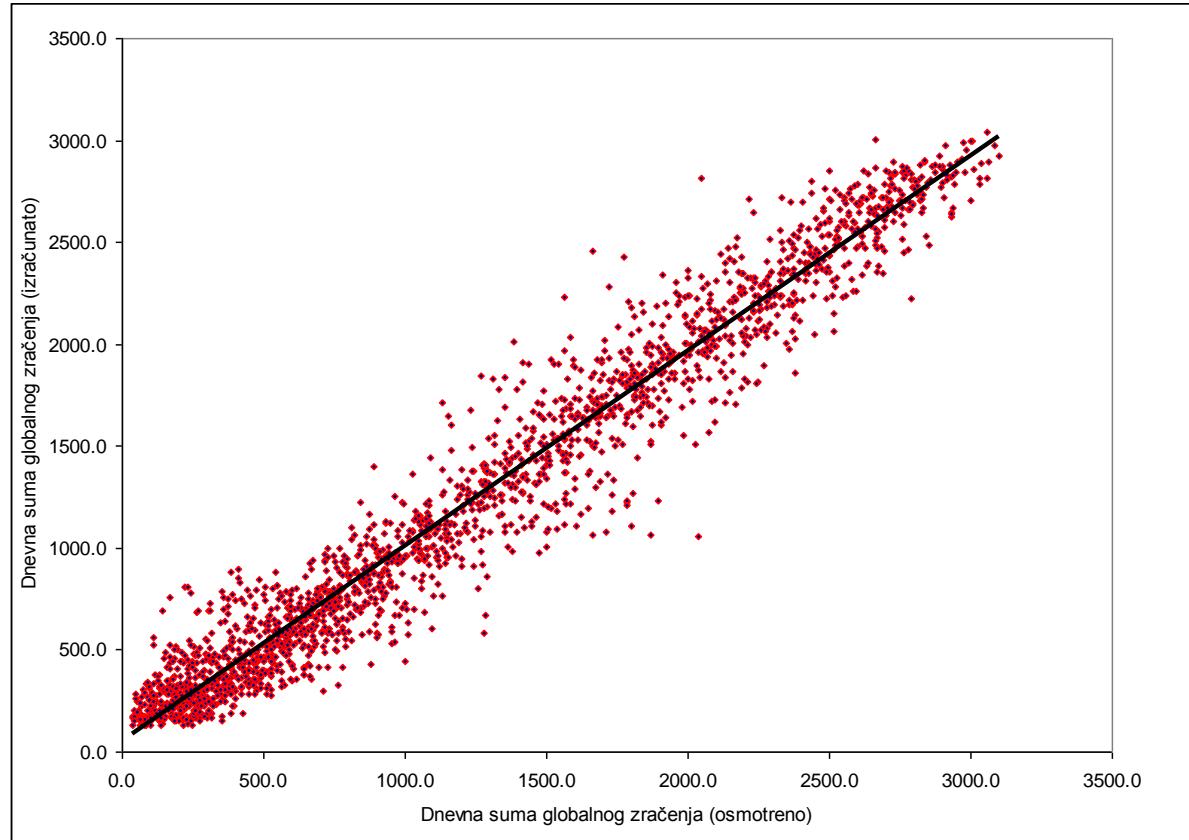
Na osnovu osmotrenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na lokalitetima Novi Sad, Zeleno Brdo i Pančevo, primenom metode najmanjih kvadrata za određivanje parametara linearne funkcije izračunate su vrednosti empirijskih parametara u Angstrom-Preskotovoj formuli.

Stanica	Mesec	<i>a</i>	<i>b</i>
Novi Sad	Januar	0,14	0,56
Novi Sad	Februar	0,20	0,49
Novi Sad	Mart	0,17	0,58
Novi Sad	April	0,15	0,45
Novi Sad	Maj	0,12	0,52
Novi Sad	Jun	0,13	0,43
Novi Sad	Jul	0,19	0,34
Novi Sad	Avgust	0,14	0,40
Novi Sad	Septembar	0,17	0,37
Novi Sad	Oktobar	0,15	0,50
Novi Sad	Novembar	0,18	0,47
Novi Sad	Decembar	0,12	0,63
Prosečno		0,16	0,44
Pančevo	Januar	0,17	0,50

Pančevo	Februar	0,28	0,37
Pančevo	Mart	0,21	0,53
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	0,12	0,57
Pančevo	Oktobar	0,16	0,42
Pančevo	Novembar	0,16	0,46
Pančevo	Decembar	0,14	0,46
Prosečno		0,17	0,54
Zeleno Brdo	Januar	0,20	0,50
Zeleno Brdo	Februar	0,21	0,55
Zeleno Brdo	Mart	0,20	0,55
Zeleno Brdo	April	0,21	0,52
Zeleno Brdo	Maj	0,19	0,59
Zeleno Brdo	Jun	0,19	0,57
Zeleno Brdo	Jul	0,20	0,56
Zeleno Brdo	Avgust	0,20	0,56
Zeleno Brdo	Septembar	0,18	0,57
Zeleno Brdo	Oktobar	0,17	0,58
Zeleno Brdo	Novembar	0,20	0,48
Zeleno Brdo	Decembar	0,16	0,52
Prosečno		0,19	0,56

Tabela 4.1 Izračunate vrednosti empirijskih koeficijenata u Angstrom-Preskotovoj formuli

Vrednosti koeficijenata po mesecima, izračunate za svaku stanicu pojedinačno prikazani su u Tabeli 3.1. Iz prikazanih rezultata vidi se da vrednosti koeficijenta a_a , varijaju od 0.12 (Novi Sad, maj) do 0.28 (Pančevo, februar), dok vrednosti koeficijenta b_a variraju od 0.34 (Novi Sad, jul) do 0.64 (Pančevo, jun i jul). Za razliku od mesečnih koeficijenata izračunatih za Pančevo i Novi Sad, vrednosti koeficijenata za Zeleno Brdo veoma malo variraju, ($a_a = 0.16-0.21$ i $b_a = 0.48-0.59$). 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 4.1 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	$RMSE(kJ/cm^2)$	$\sigma(\%)$
Novi Sad	Januar	118,75	61,56
Novi Sad	Februar	136,18	32,91
Novi Sad	Mart	353,82	33,92
Novi Sad	April	205,28	20,60
Novi Sad	Maj	192,50	22,75
Novi Sad	Jun	170,85	17,99
Novi Sad	Jul	165,60	9,50
Novi Sad	Avgust	128,17	6,88
Novi Sad	Septembar	132,61	16,03
Novi Sad	Oktobar	128,06	36,09
Novi Sad	Novembar	113,91	33,16
Novi Sad	Decembar	65,25	47,38
Prosečno		207,65	32,91
Pančevo	Januar	106,07	27,85
Pančevo	Februar	244,91	34,64
Pančevo	Mart	334,01	33,86
Pančevo	April	235,98	21,84
Pančevo	Maj	178,67	6,33

Pančevo	Jun	201,29	8,20
Pančevo	Jul	200,74	9,60
Pančevo	Avgust	228,58	11,14
Pančevo	Septembar	273,17	26,61
Pančevo	Oktobar	245,91	35,31
Pančevo	Novembar	172,27	35,84
Pančevo	Decembar	99,82	44,21
	Prosečno	253,63	30,40
Zeleno Brdo	Januar	91,68	32,69
Zeleno Brdo	Februar	146,35	31,04
Zeleno Brdo	Mart	166,81	22,75
Zeleno Brdo	April	252,50	24,57
Zeleno Brdo	Maj	208,07	12,03
Zeleno Brdo	Jun	212,13	12,06
Zeleno Brdo	Jul	191,25	11,24
Zeleno Brdo	Avgust	193,79	10,52
Zeleno Brdo	Septembar	211,32	26,68
Zeleno Brdo	Oktobar	123,31	24,68
Zeleno Brdo	Novembar	110,94	33,77
Zeleno Brdo	Decembar	87,31	53,05
	Prosečno	180,00	26,29

Tabela 4.2. Srednje mesečne vrednosti srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih grešaka (σ) Angstrom-Peskotov metod

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-Peskotov 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 Novi Sad, Pančevo i Zeleno Brdo, redom 30.91, 30.40 i 26.29%, što u odnosu na relativna odstupanja izračunata za Angstrom-Peskotovu relaciju, u pomenutom istraživanju, od prosečno 15%, daje nešto veću grešku, ali sasvim prihvatljivu.

4.1.2 Supit-Kapelov metod

Na osnovu osmotrenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na lokalitetima Novi Sad, Zeleno Brdo i Pančevo, primenom metode najmanjih kvadrata za određivanje parametara

linearne funkcije izračunate su vrednosti empirijskih parametara u Supit-Kapelovoj formuli. Vrednosti koeficijenata po mesecima, izračunate za svaku stanicu pojedinačno prikazani su u Tabeli 3.3. Iz prikazanih rezultata može da se zaključi da vrednosti koeficijenta a_s variraju od -0.02 (Novi Sad, avgust) do 0.13 (Pančevo, februar), vrednosti koeficijenta b_s variraju od 0.15 (Novi Sad, novembar/ Pančevo, februar) do 0.61 (Novi Sad, avgust), dok vrednosti koeficijenta c_s variraju od -0.07 (Pančevo, april/ Novi Sad, april) do 0.05 (Novi Sad, februar).

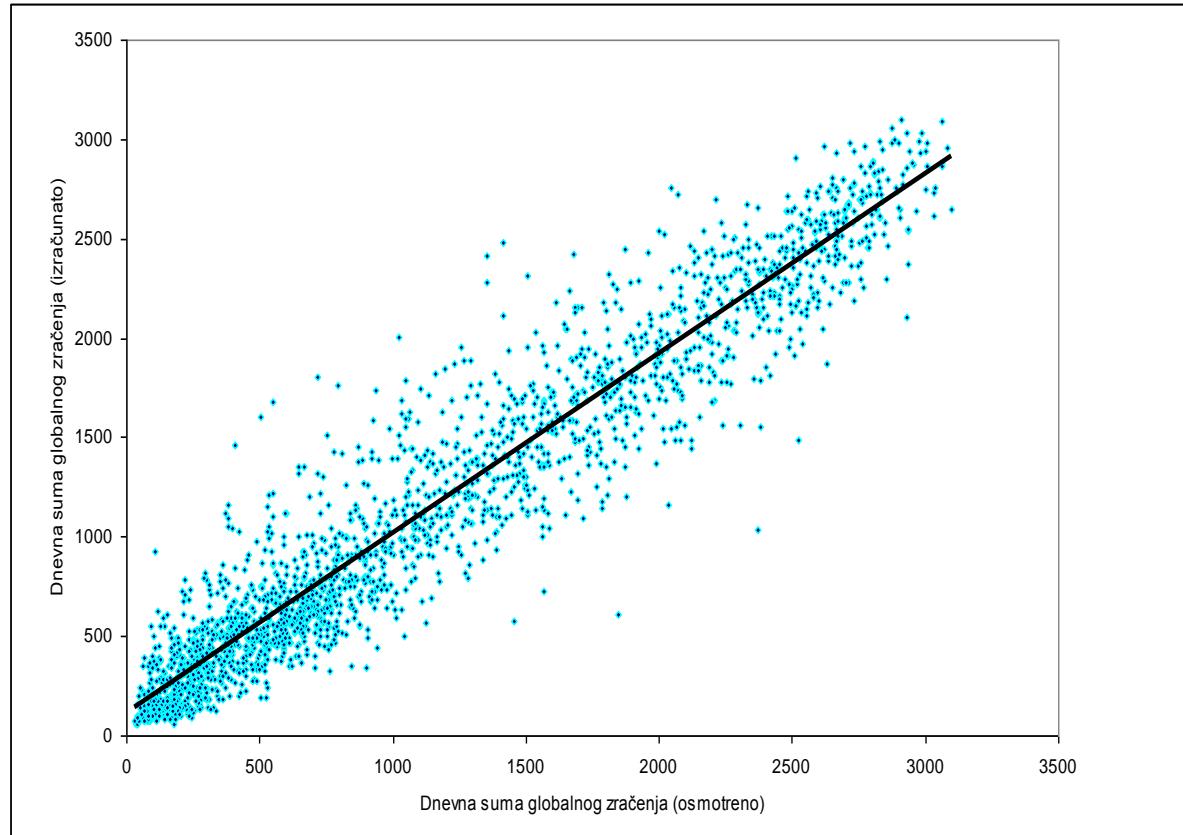
Za razliku od mesečnih koeficijenata izračunatih za Pančevo i Novi Sad, vrednosti koeficijenata za Zeleno Brdo veoma malo variraju, (a_s od 0.05 do 0.09, b_s od 0.35 do 0.52 i c_s od -0.05 do 0.01). Iz razloga što je set podataka koji se odnosi na stanicu Zeleno Brdo dovoljno dug, čime se izbegla mogućnost da slučajne greške (merenja) ozbiljnije utiču na rezultate istraživanja. Kao i kod Angstrom-Preskotove relacije i za Supit-Kapelov metod vršeno je poređene sa već pomenutim istraživanjem za susednu zemlju Hrvatsku. S obzirom da koeficijenti a_s i b_s 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. Utvrđeni koeficijenti na osnovu dugogodišnjeg niza izmerenih intenziteta globalnog zračenja za Split i Zagreb iznose $a_s = 0.11$, $b_s = 0.36$, i $a_s = 0.10$, $b_s = 0.32$, redom. Tim vrednostima najviše odgovaraju prosečne vrednosti koeficijenata dobijenih za Pančevo.

Stanica	Mesec	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Novi Sad	Januar	0,04	0,42	0,02
Novi Sad	Februar	0,05	0,33	0,05
Novi Sad	Mart	0,06	0,40	-0,04
Novi Sad	April	0,05	0,36	-0,07
Novi Sad	Maj	0,02	0,51	0,00
Novi Sad	Jun	0,01	0,46	-0,03
Novi Sad	Jul	0,06	0,29	0,01
Novi Sad	Avgust	-0,02	0,61	0,01
Novi Sad	Septembar	0,00	0,47	-0,04
Novi Sad	Oktobar	0,06	0,29	-0,06
Novi Sad	Novembar	0,10	0,15	-0,02
Novi Sad	Decembar	0,05	0,39	0,01
Prosečno		0,04	0,36	0,01
Pančevo	Januar	0,07	0,35	0,00
Pančevo	Februar	0,13	0,15	0,00
Pančevo	Mart	0,09	0,38	0,01
Pančevo	April	0,08	0,39	-0,07
Pančevo	Maj	0,09	0,41	0,01
Pančevo	Jun	0,08	0,43	-0,01
Pančevo	Jul	0,06	0,53	0,00
Pančevo	Avgust	0,07	0,43	-0,01
Pančevo	Septembar	0,07	0,35	-0,04
Pančevo	Oktobar	0,07	0,28	-0,04

Pančevo	Novembar	0,07	0,27	0,02
Pančevo	Decembar	0,07	0,33	0,01
	Prosečno	0,08	0,38	-0,08
Zeleno Brdo	Januar	0,08	0,35	0,01
Zeleno Brdo	Februar	0,07	0,45	-0,01
Zeleno Brdo	Mart	0,08	0,40	-0,01
Zeleno Brdo	April	0,09	0,36	-0,06
Zeleno Brdo	Maj	0,08	0,41	-0,04
Zeleno Brdo	Jun	0,07	0,46	-0,02
Zeleno Brdo	Jul	0,05	0,52	-0,01
Zeleno Brdo	Avgust	0,09	0,34	-0,02
Zeleno Brdo	Septembar	0,07	0,44	-0,06
Zeleno Brdo	Oktobar	0,06	0,43	-0,04
Zeleno Brdo	Novembar	0,07	0,36	0,00
Zeleno Brdo	Decembar	0,06	0,37	0,00
	Prosečno	0,07	0,42	-0,05

Tabela 4.3 Izračunate vrednosti empirijskih koeficijenata u Supit-Kapelovoj formuli

Kao i Angstrom-Preskotov, tako i Supit-Kapelov metod verno reprodukuje dnevne sume globalnog zračenja na našem području. Valjanost dobijenih rezultata najbolje može da se vidi sa Slike 3.2. Na ovoj slici je prikazana korelacija između osmotrene i izračunate dnevne sume globalnog zračenja.



Slika 4.2 Korelacija između osmotrene i dnevne sume globalnog zračenja izračunate Supit-Kapelovom formulom.

Kako i kod Angstrom-Preskotovog metoda potrebno je bilo 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 3.4. Analizom izračunatih grešaka, primećeno je da model slabije procenjuje globalno zračenje u hladnjem periodu godine. Iz poređenja dobijenih grešaka sa već pomenutim istraživanjem Trnke, za testirani Supit-Kaplov metod, vidi se da su dobijeni veoma dobri rezultati. Poredjenje je pokazalo je da su vrednosti relativnih odstupanja za Novi Sad, Pančevo i Zeleno Brdo, redom 31.96, 36.29 i 27.70%, što u odnosu na relativna odstupanja izračunata za isti metod, u pomenutom istraživanju, od prosečno 25%, daje veoma dobro slaganje, posebno za lokalitet Zelenog Brda.

Stanica	Mesec	RMSE(kJ/cm ²)	$\sigma(\%)$
Novi Sad	Januar	97,45	52,40
Novi Sad	Februar	166,98	36,11
Novi Sad	Mart	412,41	33,47
Novi Sad	April	267,38	25,81
Novi Sad	Maj	306,68	26,84
Novi Sad	Jun	181,05	18,65
Novi Sad	Jul	154,58	6,33
Novi Sad	Avgust	163,23	8,63
Novi Sad	Septembar	156,73	17,42
Novi Sad	Oktobar	163,51	45,58
Novi Sad	Novembar	166,67	59,94
Novi Sad	Decembar	80,84	39,40
Prosečno		234,91	31,96
Pančevo	Januar	149,85	40,22
Pančevo	Februar	250,13	32,67
Pančevo	Mart	416,38	46,53
Pančevo	April	328,89	25,64
Pančevo	Maj	293,55	10,85
Pančevo	Jun	259,38	10,09
Pančevo	Jul	271,80	12,48
Pančevo	Avgust	309,82	16,84
Pančevo	Septembar	337,64	31,31
Pančevo	Oktobar	257,51	35,47
Pančevo	Novembar	208,80	52,44
Pančevo	Decembar	122,35	48,41
Prosečno		297,78	36,29

Zeleno Brdo	Januar	115,99	33,75
Zeleno Brdo	Februar	186,30	34,61
Zeleno Brdo	Mart	230,38	29,52
Zeleno Brdo	April	275,92	24,29
Zeleno Brdo	Maj	317,92	18,55
Zeleno Brdo	Jun	289,96	14,04
Zeleno Brdo	Jul	323,70	15,38
Zeleno Brdo	Avgust	382,83	23,01
Zeleno Brdo	Septembar	241,98	29,37
Zeleno Brdo	Oktobar	195,35	32,28
Zeleno Brdo	Novembar	128,51	31,55
Zeleno Brdo	Decembar	97,51	39,54
Prosečno		252,07	27,70

Tabela 4.4. Srednje mesečne vrednosti srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih grešaka (σ) za Supit-Kapelov metod

4.1.3 Koulsonov metod

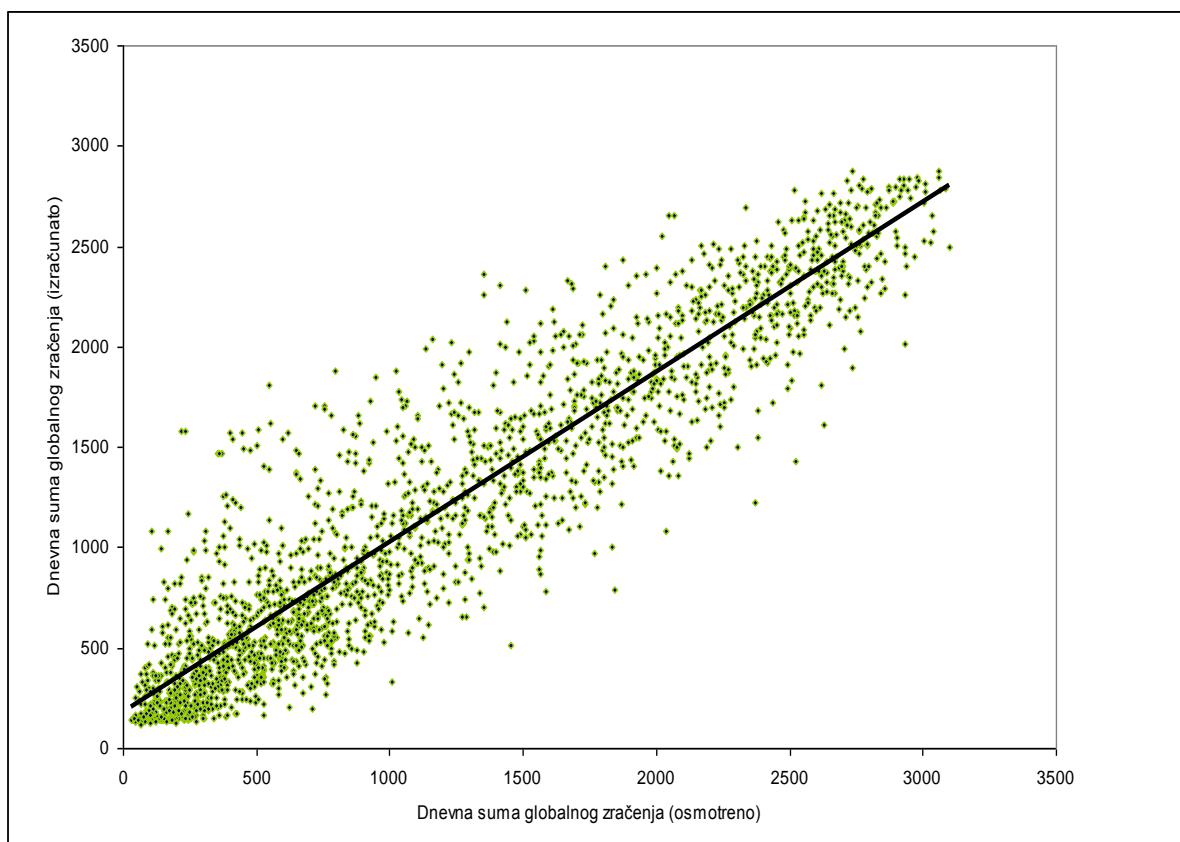
Na osnovu osmotrenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na lokalitetima Novi Sad, Zeleno Brdo i Pančevo, izračunata je vrednost empirijskog parametra u Koulsonovoj formuli. Vrednosti koeficijenta po mesecima, izračunate za svaku stanicu pojedinačno prikazani su u Tabeli 3.5. Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da vrednosti koeficijenta ζ po mesecima najviše variraju za lokalitet Novog Sada, zbog kratkog seta podataka, a najmanje za lokalitet Zelenog Brda.

Stanica	Mesec	ζ
Novi Sad	Januar	1,83
Novi Sad	Februar	1,79
Novi Sad	Mart	1,66
Novi Sad	April	1,88
Novi Sad	Maj	1,78
Novi Sad	Jun	1,99
Novi Sad	Jul	2,01
Novi Sad	Avgust	2,25
Novi Sad	Septembar	2,13
Novi Sad	Oktobar	1,87
Novi Sad	Novembar	1,76
Novi Sad	Decembar	1,81
Prosečno		1,88
Pančevo	Januar	1,78
Pančevo	Februar	1,60
Pančevo	Mart	1,53
Pančevo	April	1,56
Pančevo	Maj	1,31
Pančevo	Jun	1,38
Pančevo	Jul	1,42
Pančevo	Avgust	1,53
Pančevo	Septembar	1,73
Pančevo	Oktobar	1,84

Pančevo	Novembar	1,80
Pančevo	Decembar	1,80
	Prosečno	1,61
Zeleno Brdo	Januar	1,71
Zeleno Brdo	Februar	1,65
Zeleno Brdo	Mart	1,61
Zeleno Brdo	April	1,56
Zeleno Brdo	Maj	1,46
Zeleno Brdo	Jun	1,45
Zeleno Brdo	Jul	1,56
Zeleno Brdo	Avgust	1,53
Zeleno Brdo	Septembar	1,61
Zeleno Brdo	Oktobar	1,69
Zeleno Brdo	Novembar	1,68
Zeleno Brdo	Decembar	1,80
	Prosečno	1,58

Tabela 4.5 Izračunate vrednosti empirijskih koeficijenata u Koulsenovoj formuli

S obzirom da koeficijent ξ u empirijskim formulama, najviše zavisi od geografskog položaja stанице за коју се одређује, prosečne vredности коeficijenата за Beograd i Novi Sad se razlikuju. Mora se naglasiti да се добило готово потпуно слaganje са истраживањем које су обавили Katić i saradnici 1978. Oni су за вредност empirijsког кофицијента ξ за локалитет Новог Сада добили вредност 1.89, док у овом истраживању је добијена вредност од 1.88.



Slika 4.3 Korelacija između osmotrene i dnevne sume globalnog zračenja izračunate Koulsonovom formulom.

Nešto lošija procena dnevne sume globalnog zračenja Koulsonovom formulom u odnosu na Angstrom-Preskotov i Supit-Kapelov metod primetna je na slici gde je prikazana korelacija između osmotrene i izračunate dnevne sume globalnog zračenja.

Analizom srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih odstupanja osmotrenih i izračunatih vrednosti dnevne sume globalnog zračenja za svaki mesec pojedinačno, primećuje se dosta bolja procena za lokalitet Novog Sada, u odnosu na Beograd. Dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli 3.4. Kao i kod prethodna dva metoda, analizom izračunatih grešaka, primećeno je da model dosta slabije procenjuje globalno zračenje u hladnjem periodu godine. Koulsenov metod, a stoga i izračunati koeficijenti ostavljaju mogućnost procene globalnog zračenja u toplijem delu godine, s obzirom na jednostavnost i dostupnost podataka za pomenuti metod.

Stanica	Mesec	RMSE(kJ/cm ²)	$\sigma(\%)$
Novi Sad	Januar	92,41	50,15
Novi Sad	Februar	161,41	33,80
Novi Sad	Mart	425,11	44,74
Novi Sad	April	349,00	26,62
Novi Sad	Maj	325,21	37,63
Novi Sad	Jun	407,61	27,57
Novi Sad	Jul	467,06	28,90
Novi Sad	Avgust	402,34	23,15
Novi Sad	Septembar	265,12	24,77
Novi Sad	Oktobar	222,14	48,99
Novi Sad	Novembar	191,84	58,13
Novi Sad	Decembar	88,22	60,33
Prosečno		311,10	32,49
Pančevo	Januar	152,21	38,35
Pančevo	Februar	262,59	36,96
Pančevo	Mart	418,11	53,75
Pančevo	April	415,92	40,74
Pančevo	Maj	333,50	13,52
Pančevo	Jun	360,62	15,78
Pančevo	Jul	448,82	32,00
Pančevo	Avgust	327,09	17,38
Pančevo	Septembar	391,94	39,69
Pančevo	Oktobar	319,71	36,13
Pančevo	Novembar	236,02	48,06
Pančevo	Decembar	122,10	49,82
Prosečno		343,12	52,93

Zeleno Brdo	Januar	128,74	38,56
Zeleno Brdo	Februar	205,41	43,72
Zeleno Brdo	Mart	273,28	40,23
Zeleno Brdo	April	388,00	43,16
Zeleno Brdo	Maj	451,51	31,53
Zeleno Brdo	Jun	409,83	28,02
Zeleno Brdo	Jul	382,91	24,72
Zeleno Brdo	Avgust	420,32	26,69
Zeleno Brdo	Septembar	341,44	54,20
Zeleno Brdo	Oktobar	234,15	47,32
Zeleno Brdo	Novembar	153,55	43,04
Zeleno Brdo	Decembar	109,36	49,81
Prosečno		321,60	50,79

Tabela 4.6. Srednje mesečne vrednosti srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih grešaka (σ) za Koulsenov metod

4.1.4 Hergrejsov metod

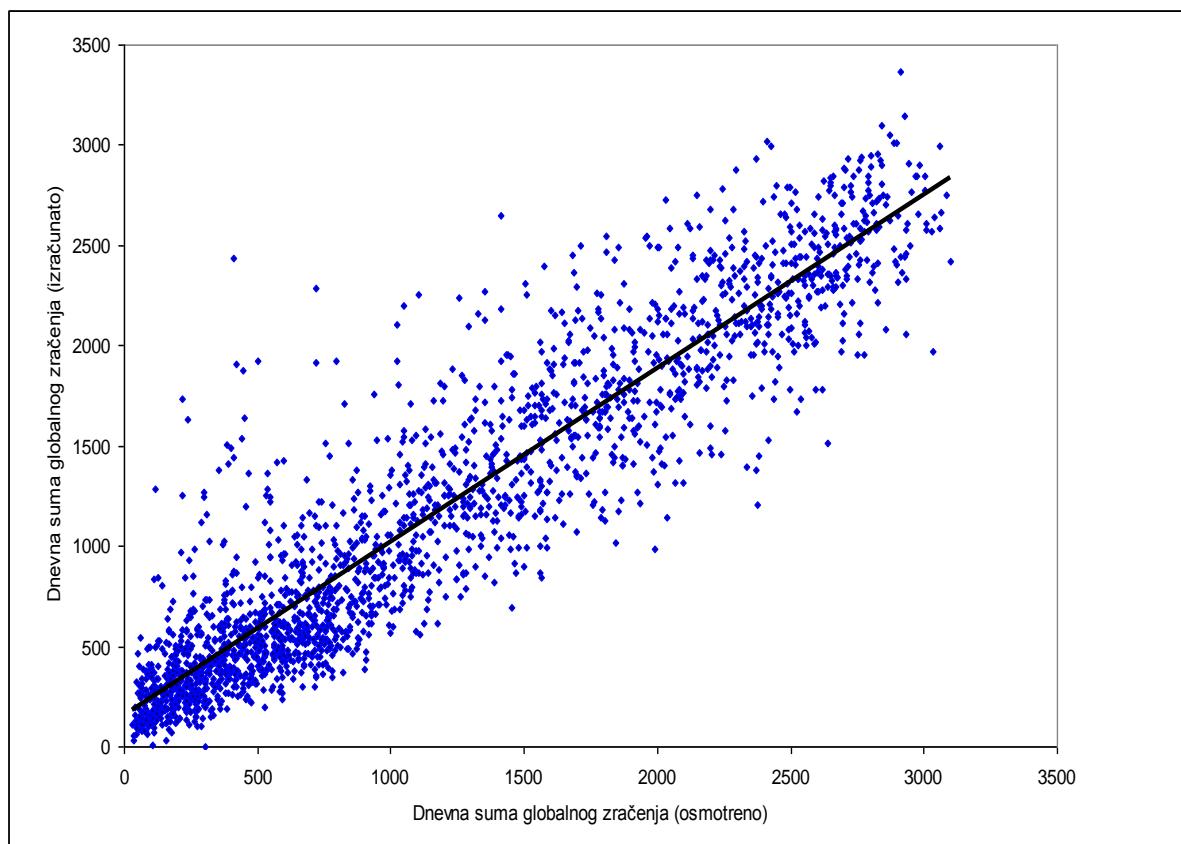
Na osnovu osmotrenih vrednosti intenziteta globalnog zračenja na lokalitetima Novi Sad, Zeleno Brdo i Pančevo, primenom metode najmanjih kvadrata za određivanje parametara linearne funkcije izračunate su vrednosti empirijskih parametara u Hergrejsovoj formuli. Vrednosti koeficijenata po mesecima, izračunate za svaku stanicu pojedinačno prikazani su u Tabeli 3.7. Iz prikazanih rezultata može da se zaključi da vrednosti koeficijenta a_h varijaju od 0.07 (Novi Sad, avgust) do 0.33 (Pančevo, jun). Vrednosti koeficijenta b , zavise od perioda godine i imaju veću amplitudu varijacije u odnosu na koeficijent a . Najveće vrednosti koeficijenta b , odgovaraju mesecima sa najvišom prosečnom mesečnom temperaturom, a najmanje mesecima sa najnižom prosečnom temperaturom.

Stanica	Mesec	A	b
Novi Sad	Januar	0,14	-0,24
Novi Sad	Februar	0,09	0,30
Novi Sad	Mart	0,19	-1,24
Novi Sad	April	0,11	0,13
Novi Sad	Maj	0,20	-3,11
Novi Sad	Jun	0,21	-3,53
Novi Sad	Jul	0,17	-1,72
Novi Sad	Avgust	0,07	2,13
Novi Sad	Septembar	0,13	-0,63
Novi Sad	Oktobar	0,17	-0,85
Novi Sad	Novembar	0,21	-0,88
Novi Sad	Decembar	0,12	-0,20
Prosečno		0,13	-0,33
Pančevo	Januar	0,17	-0,26
Pančevo	Februar	0,17	-0,18
Pančevo	Mart	0,21	-1,15
Pančevo	April	0,25	-3,03
Pančevo	Maj	0,16	0,69

Pančevo	Jun	0,33	-5,85
Pančevo	Jul	0,27	-3,27
Pančevo	Avgust	0,22	-1,65
Pančevo	Septembar	0,21	-1,75
Pančevo	Oktobar	0,19	-1,15
Pančevo	Novembar	0,12	0,18
Pančevo	Decembar	0,16	-0,24
Prosečno		0,19	-0,62
Zeleno Brdo	Januar	0,19	-0,35
Zeleno Brdo	Februar	0,20	-0,56
Zeleno Brdo	Mart	0,21	-1,09
Zeleno Brdo	April	0,25	-2,69
Zeleno Brdo	Maj	0,27	-3,96
Zeleno Brdo	Jun	0,29	-4,63
Zeleno Brdo	Jul	0,22	-2,03
Zeleno Brdo	Avgust	0,22	-2,04
Zeleno Brdo	Septembar	0,28	-3,03
Zeleno Brdo	Oktobar	0,22	-1,23
Zeleno Brdo	Novembar	0,18	-0,32
Zeleno Brdo	Decembar	0,20	-0,45
Prosečno		0,18	-0,53

Tabela 4.7 Izračunate vrednosti empirijskih koeficijenata u Hergrejsovoj formuli

Kao i kod prva dva pomenuta metoda vrednosti koeficijenta a_h najmanje variraju za lokalitet Zelenog Brda, jer je set podataka dovoljno dug, čime se izbegla mogućnost da slučajne greške (merenja) ozbiljnije utiču na rezultate istraživanja. S obzirom da koeficijent a_s u empirijskoj formuli, najviše zavisi od geografskog položaja stanice za koji se određuje, prosečne vrednosti koeficijenata sve tri stanice su približne vrednostima koje je dobio Supit u svojim istraživanjima, za zemlju iz regionala, Sloveniju. Ovim istraživanjem je utvrđena vrednost koeficijenta a_h na osnovu dugogodišnjeg niza izmerenih intenziteta globalnog zračenja za Ljubljano i Portorož. Koeficijenti iznose 0.18 i 0.22, redom. Tim vrednostima najviše odgovaraju prosečne vrednosti koeficijenata dobijenih za Pančevo i Zeleno Brdo.



Slika 4.4 Korelacija između osmotrene i dnevne sume globalnog zračenja izračunate Hergrejsovom relacijom.

Nešto lošija procena dnevne sume globalnog zračenja Hergrejsovom metodom u odnosu na Angstrom-Preskotov i Supit-Kapelov metod, primetna je na slici gde je prikazana korelacija između osmotrene i izračunate dnevne sume globalnog zračenja.

Kao i kod svih dosadašnjih testiranih metoda u cilju kvantitativne analize dobijenih rezultata određene su 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 3.8. Analizom izračunatih grešaka, primećeno je da model slabije procenjuje globalno zračenje u hladnjem periodu godine. Mnogo bolje procene dnevnih suma globalnog zračenja za sve stanice omogućavaju korištenje ove formule u periodu od aprila do septembra. Prosečne vrednosti relativnih odstupanja za sve tri stanice se ne razlikuju puno. Validnost dobijenih rezultata pokušali smo da procenimo poredeći izračunate greške sa greškama koje je za isti metod dobio Trnka u svom radu. Poređenje je pokazalo da su vrednosti relativnih odstupanja za Novi Sad, Pančevo i Zeleno Brdo, redom 43.20, 44.64 i 42.01%, što u odnosu na relativna odstupanja izračunata za Hergrejovu relaciju, u pomenutom istraživanju, od prosečno 32%, daje nešto veću grešku, ali ne u prevelikom iznosu.

Stanica	Mesec	$RMSE(kJ/cm^2)$	$\sigma(\%)$
Novi Sad	Januar	155,75	87,69
Novi Sad	Februar	194,80	48,73
Novi Sad	Mart	437,83	40,00
Novi Sad	April	366,43	44,54
Novi Sad	Maj	383,20	40,10
Novi Sad	Jun	269,87	25,22
Novi Sad	Jul	216,19	12,08
Novi Sad	Avgust	261,30	14,78
Novi Sad	Septembar	191,25	18,82
Novi Sad	Oktobar	174,65	42,81
Novi Sad	Novembar	160,01	54,11
Novi Sad	Decembar	121,00	62,46
Prosečno		296,36	43,20
Pančevo	Januar	204,63	54,70
Pančevo	Februar	259,05	35,69
Pančevo	Mart	469,80	57,30
Pančevo	April	364,29	28,51
Pančevo	Maj	373,31	14,27
Pančevo	Jun	344,16	14,47
Pančevo	Jul	467,73	28,36
Pančevo	Avgust	364,94	19,57
Pančevo	Septembar	374,41	34,64
Pančevo	Oktobar	269,30	39,81
Pančevo	Novembar	229,55	61,63
Pančevo	Decembar	149,81	62,12
Prosečno		354,39	44,64
Zeleno Brdo	Januar	164,13	53,91
Zeleno Brdo	Februar	285,99	53,88
Zeleno Brdo	Mart	332,71	41,53
Zeleno Brdo	April	313,51	26,37
Zeleno Brdo	Maj	382,72	21,96
Zeleno Brdo	Jun	410,85	23,33
Zeleno Brdo	Jul	516,70	30,06
Zeleno Brdo	Avgust	422,77	26,13
Zeleno Brdo	Septembar	275,74	32,83
Zeleno Brdo	Oktobar	251,86	40,88
Zeleno Brdo	Novembar	182,29	53,14
-Zeleno Brdo	Decembar	141,88	61,20
Prosečno		345,43	42,01

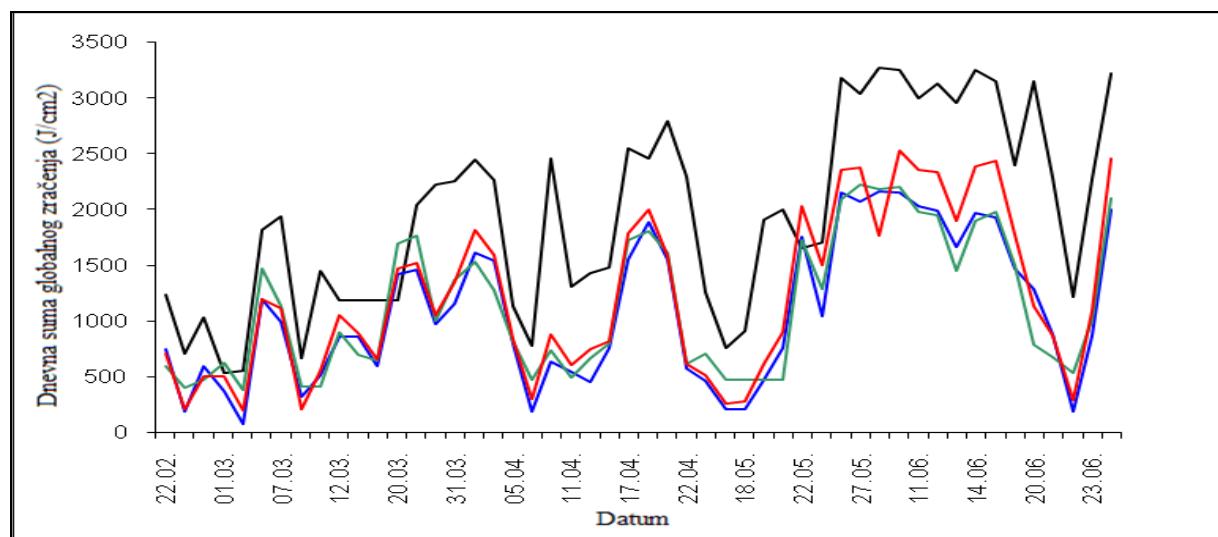
Tabela 4.8. Srednje mesečne vrednosti srednjih kvadratnih grešaka (RMSE) i relativnih grešaka (σ) za Hergrejsov metod

4.2 Dinamički metod

Pored statističkog modeliranja, uzet je u obzir i dinamički metod modeliranja sunčevog zračenja. U tu svrhu iskorišćen je regionalni numerički model Workstation Eta. Obavljeno je poređenje prognoziranih dnevних suma zračenja dobijenih preko modela i

osmotrenih dnevnih suma zračenja sa automatskih stanica Republičkog-hidrometeorološkog zavoda za četiri lokaliteta.

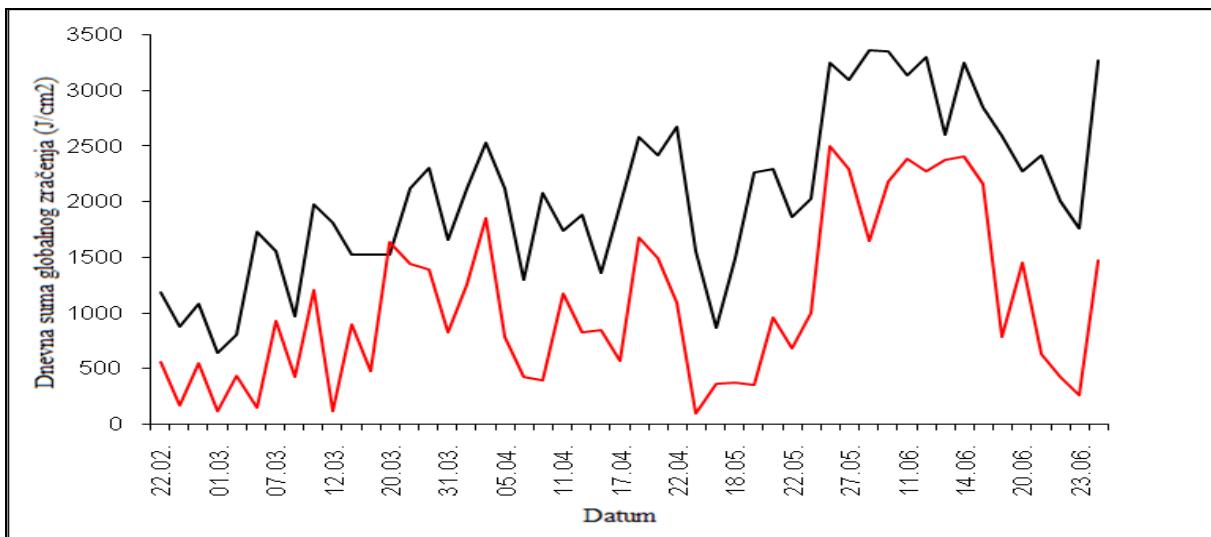
Za Novi Sad je obavljeno i poređenje sa procenjenim dnevnim sumama zračenja dobijenim Angstrom-Preskotovom relacijom i dnevnim sumama zračenja koje su izmerene piranometrom smeštenim na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu. Crnom linijom označen je hod prognozirane dnevne sume sunčevog zračenja Eta modelom, crvenom izmerene vrednosti sa automatske stanice na Rimskim Šančevima, plavom osmotrene sume piranometrom, a zelenom procenjene sume preko Angstrom-Preskotove relacije. Primećuje se gotovo identičan hod procenjene i osmotrene dnevne sume zračenja pomoću piranometra. S obzirom da su osmatranja vršena na dva različita mesta i da su empirijski koeficijenti računati za set podataka koji je došao sa Prirodno-matematičkog fakulteta, hod dnevne sume zračenja sa automatske stanice u Rimskim šančevima se razlikuje, ali u neznatnoj meri. Iako se hod prognoziranih dnevnih suma sa Eta modelom poklapa sa hodom izmerenih i procenjenih suma, primetno je da je za određen iznos pomeren u y pravcu, tj. da su sume za određenu vrednost veće nego što bi trebale da budu.



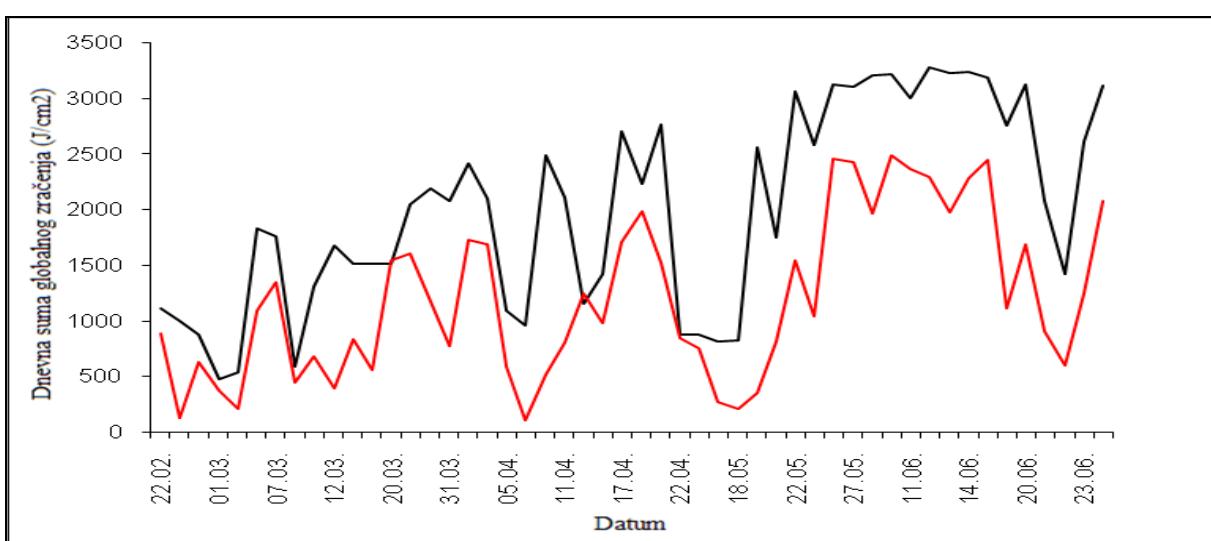
Slika 4.5 Hod dnevne sume globalnog zračenja za Novi Sad po danima

— - Eta model, — - RHMZ, — - Empriija — - PMF

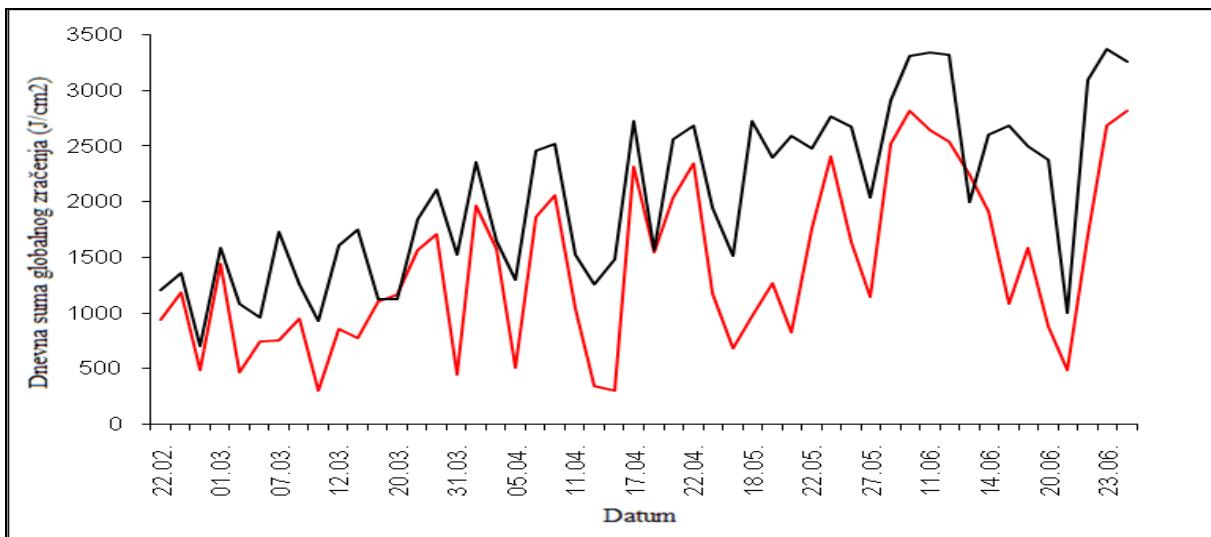
Poređenjem prognoziranih i osmotrenih dnevnih suma sa automatskih stanica, za preostala dva lokaliteta u Srbiji, Beograd i Kopaonik, primeti se takođe izvesno odstupanje prognoziranih vrednosti u odnosu na osmotrene.



Slika 4.6 Hod dnevne sume globalnog zračenja za Beograd po danima



Slika 4.7 Hod dnevne sume globalnog zračenja za Beograd po danima

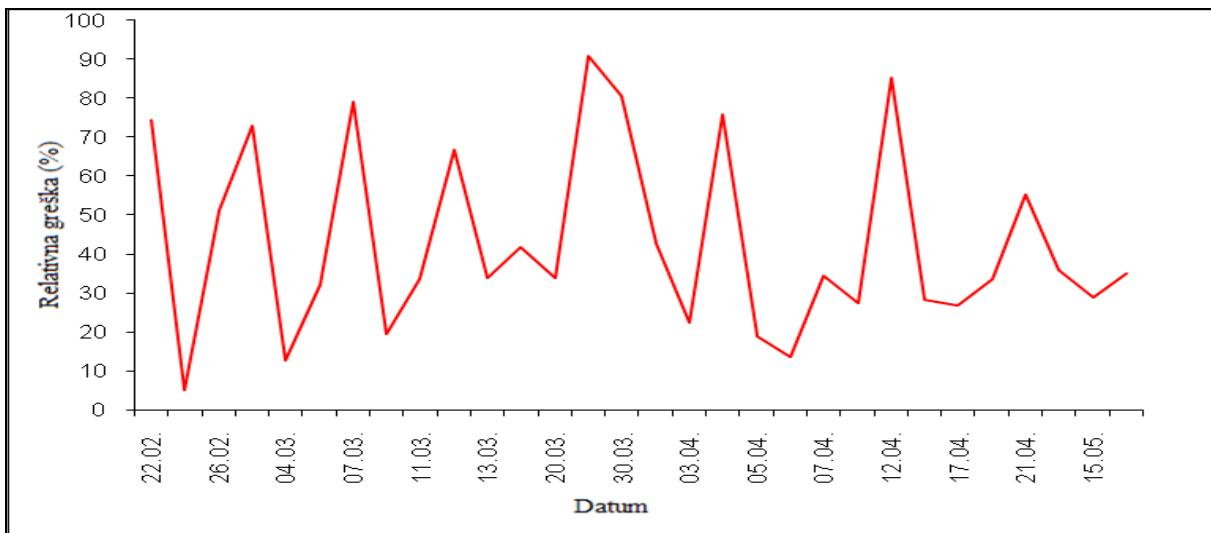


Slika 4.8 Hod dnevne sume globalnog zračenja za Beč po danima

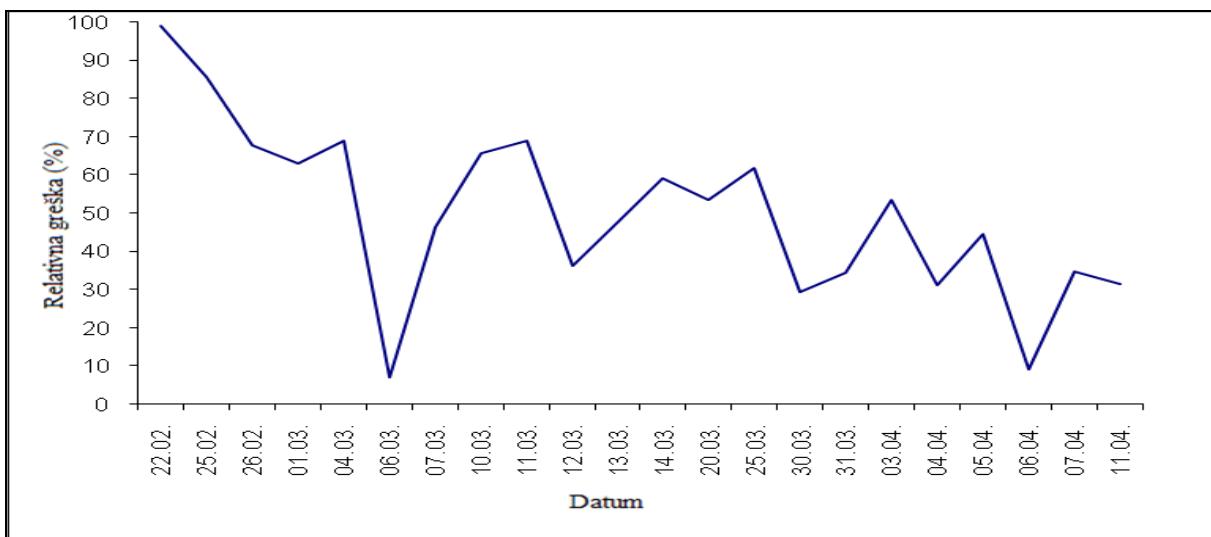
— - Eta model, — - AMS Beč

U cilju kvantitativne analize dobijenih rezultata izračunata su relativna odstupanja osmotrenih i prognoziranih vrednosti dnevne sume globalnog zračenja za svaki dan pojedinačno, gde su osmotrene vrednosti uzete za tačne. Prikazan je hod relativnog odstupanja po danima za sva četiri lokaliteta, s tim što su izostavljeni dani u kojima je relativna greška prevazilazila vrednost od 100%.

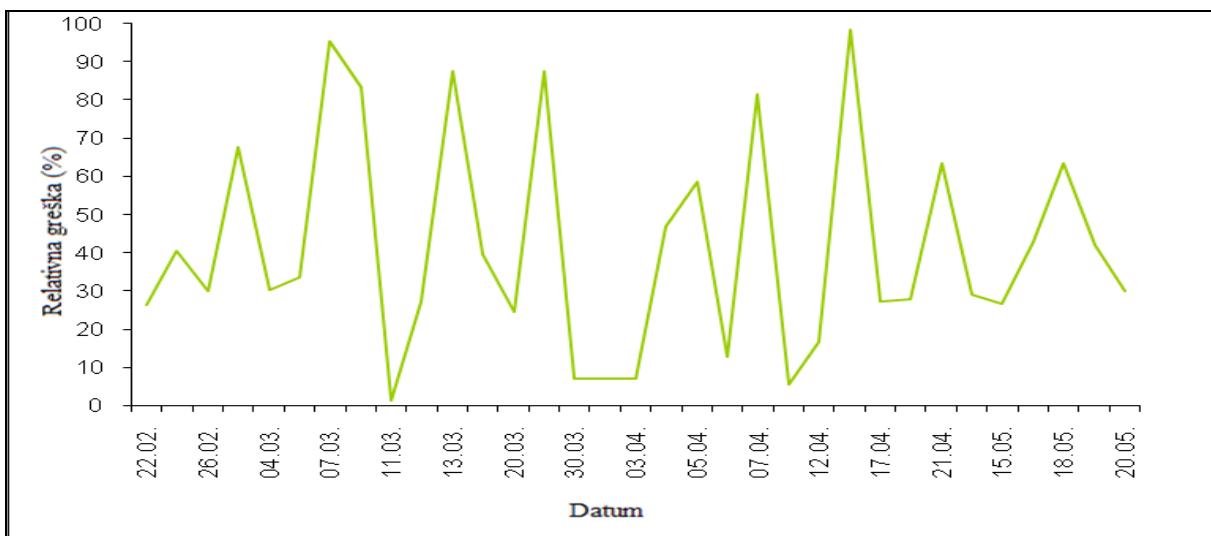
Za lokalitet Rimskih Šančeva za 19 dana relativno odstupanje prevaziđa vrednost od 100%. Za Kopaonik 27, za Beograd 17, a za Beč 14 dana.



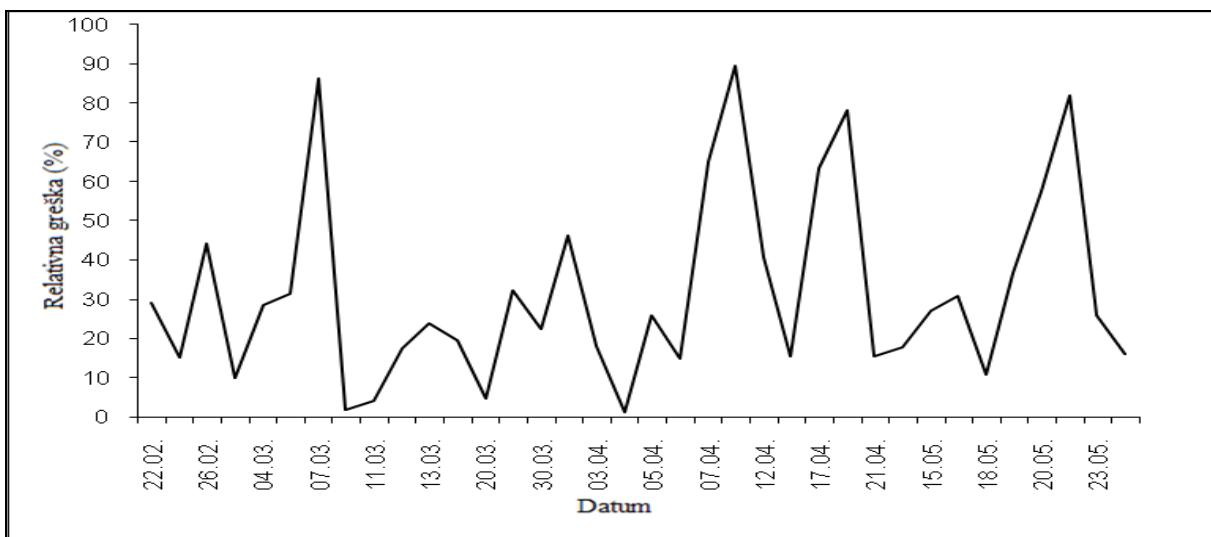
Slika 4.9 Hod relativnog odstupanja za Novi Sad po danima



Slika 4.10 Hod relativnog odstupanja za Kopaonik po danima

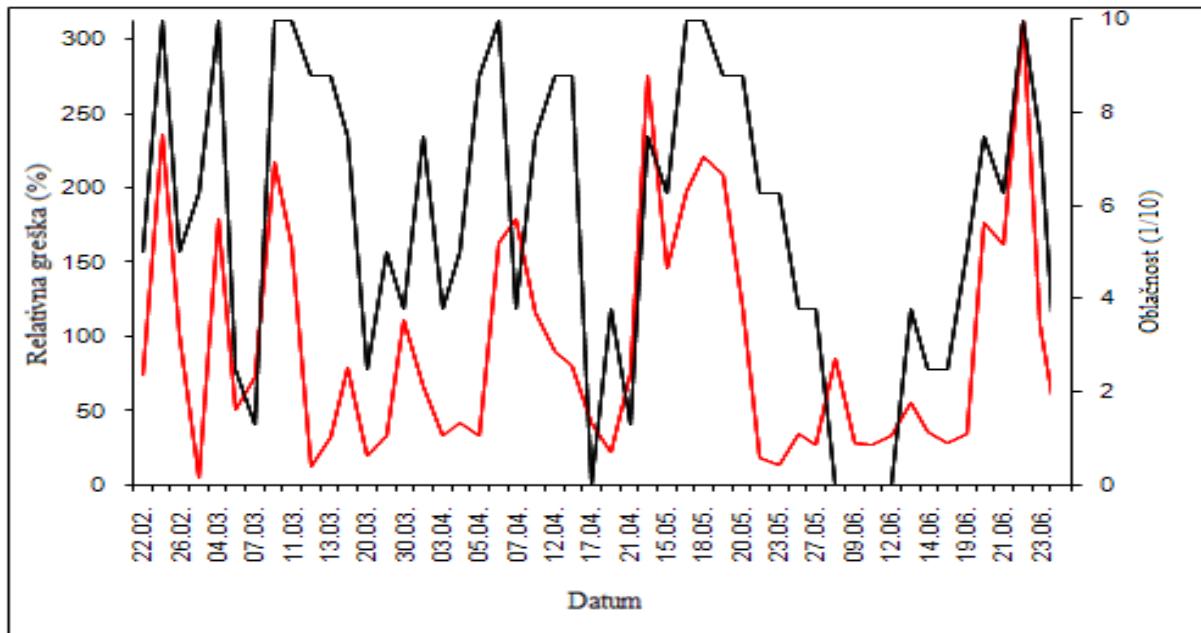


Slika 4.11 Hod relativnog odstupanja za Beograd po danima



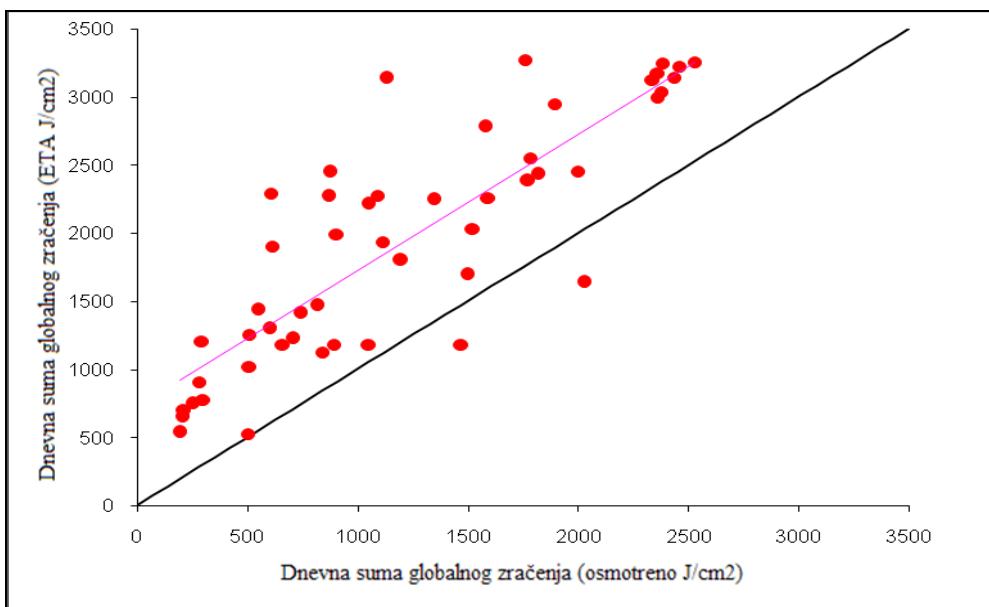
Slika 4.12 Hod relativnog odstupanja za Beč po danima

Ako se pogleda hod relativne greške po danima i uporedi sa srednjom dnevnom oblačnošću primećuje se da regionalni numerički model Workstation Eta slabije prognozira kratkotalsno zračenje u danima u kojima je oblačnost veća. Poređenje je vršeno za lokalitet Rimskih Šančeva. Za slučaj potpuno oblačnih dana ($n=10/10$) prosečna relativna greška iznosi čak 211%, a u slučaju potpuno bezoblačnih dana ($n=0/10$), njena vrednost pada na 43%. Problem verovatno leži u nedovoljno dobrom parametrisanju oblaka u modelu. Za slučaj bezoblačnih dana ili slabo oblačnih dana, model bolje procenjuje kratkotalsno zračenje.

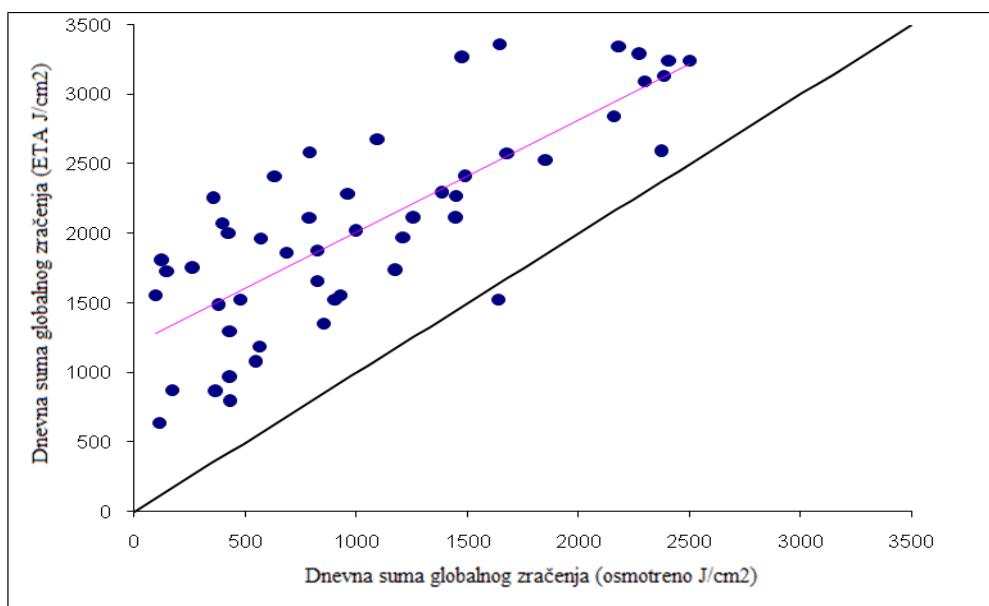


Slika 4.13 Hod relativnog odstupanja i srednje dnevne oblačnosti za Novi Sad po danima

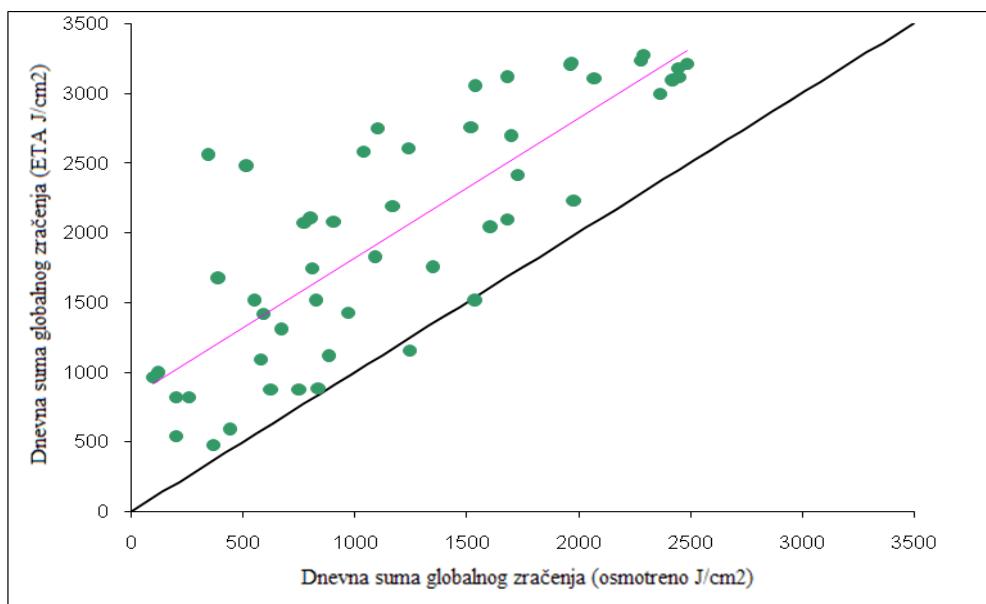
Korelacija osmotrene i prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za sva četiri lokaliteta najbolje prikazuje koliko je odstupanje prognoziranih vrednosti u odnosu na izmerene. Što su vrednosti osmotrenih dnevnih suma zračenja veće, a to će biti u slučaju bezoblačnih ili slabo oblačnih dana, kriva linearne zavisnosti naginje ka pravoj ($x=y$), koja bi se javila u slučaju da prognozirane vrednosti odgovaraju osmotrenim.



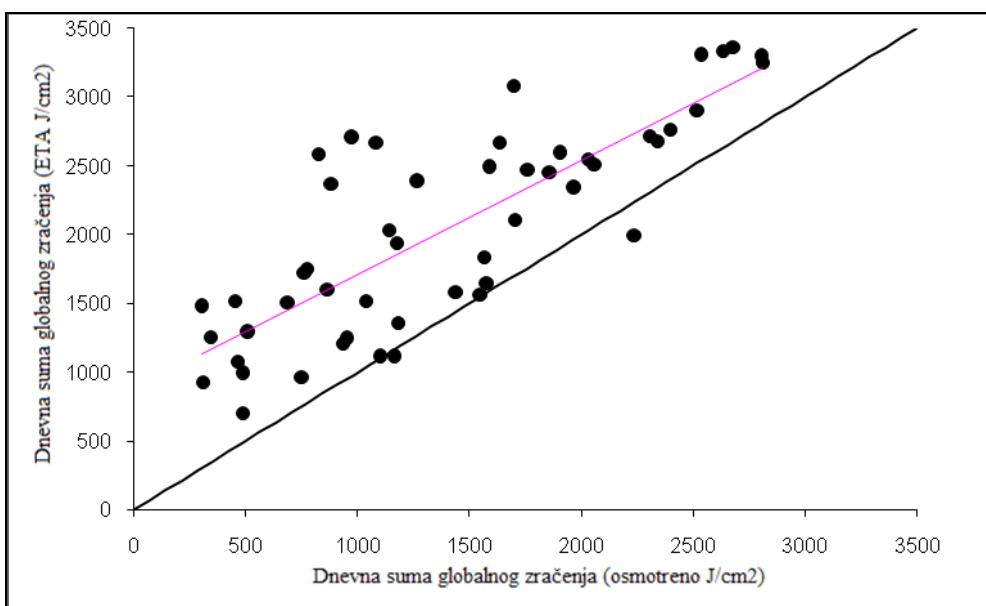
Slika 4.14 Korelacija između osmotrene i prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za Novi Sad



Slika 4.15 Korelacija između osmotrene i prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za Kopaonik



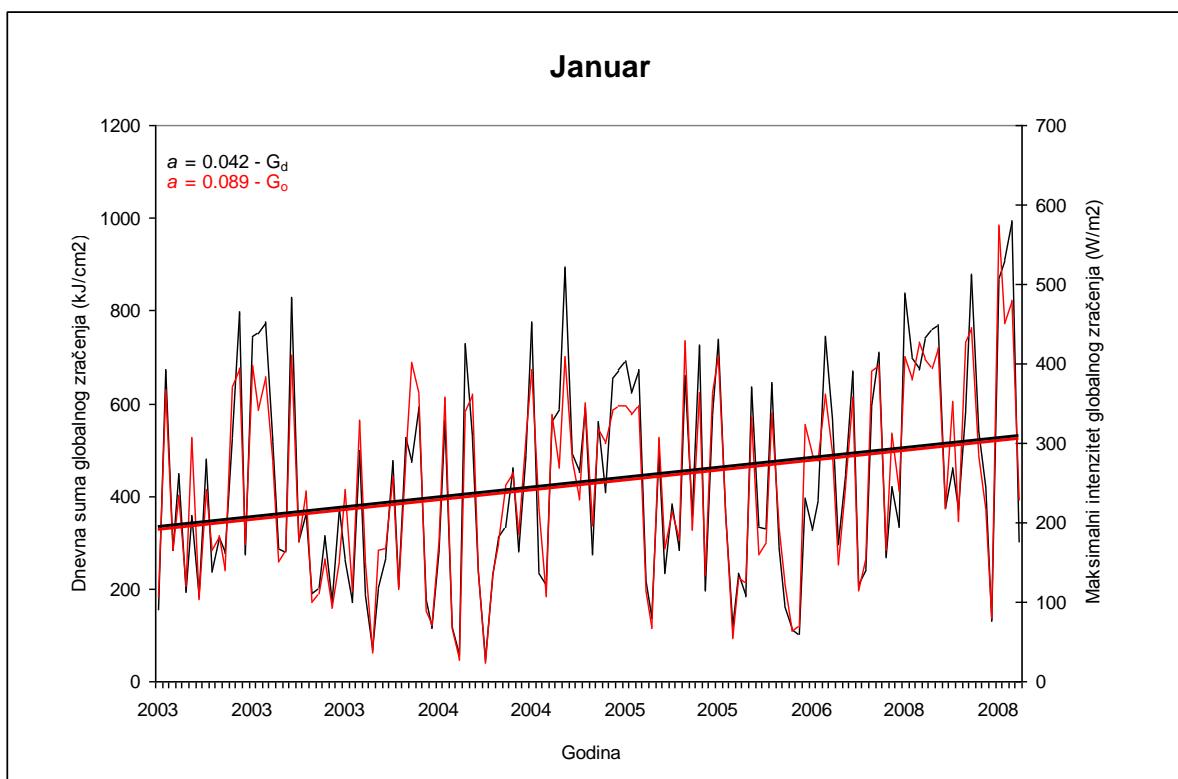
Slika 4.16 Korelacija između osmotrene i prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za Beograd



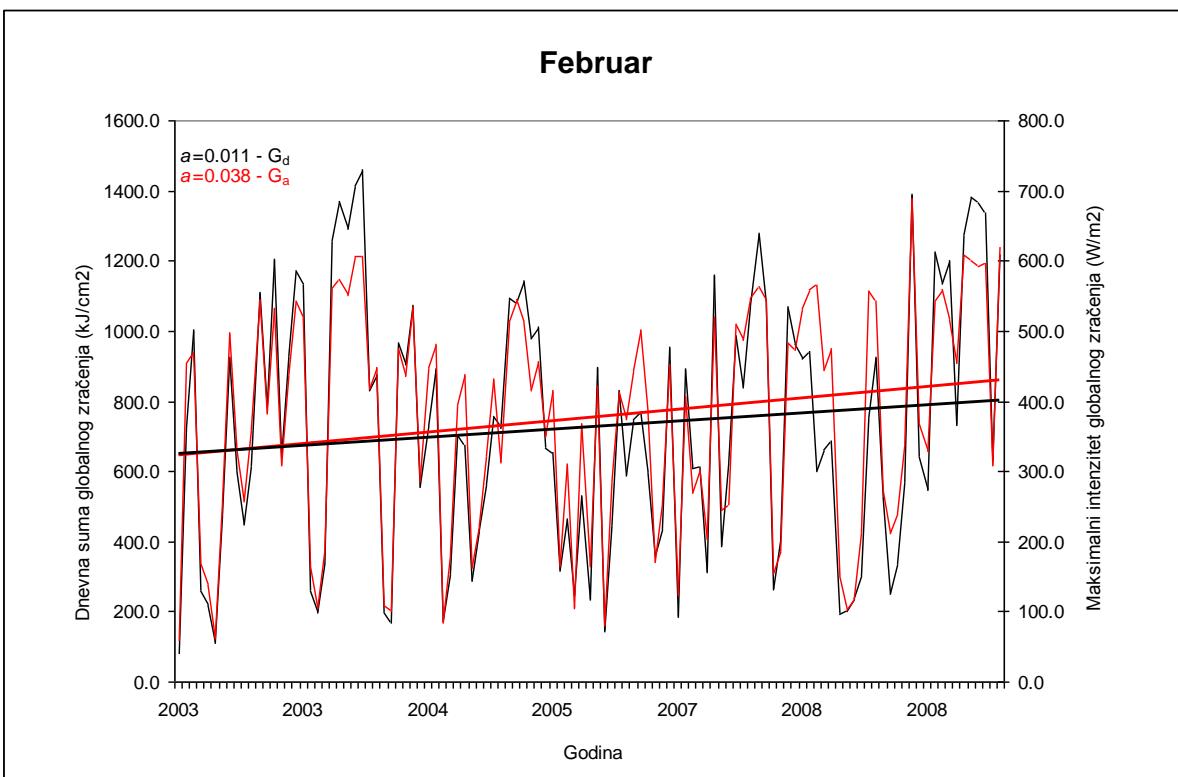
Slika 4.17 Korelacija između osmotrene i prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za Beč

4.3 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja

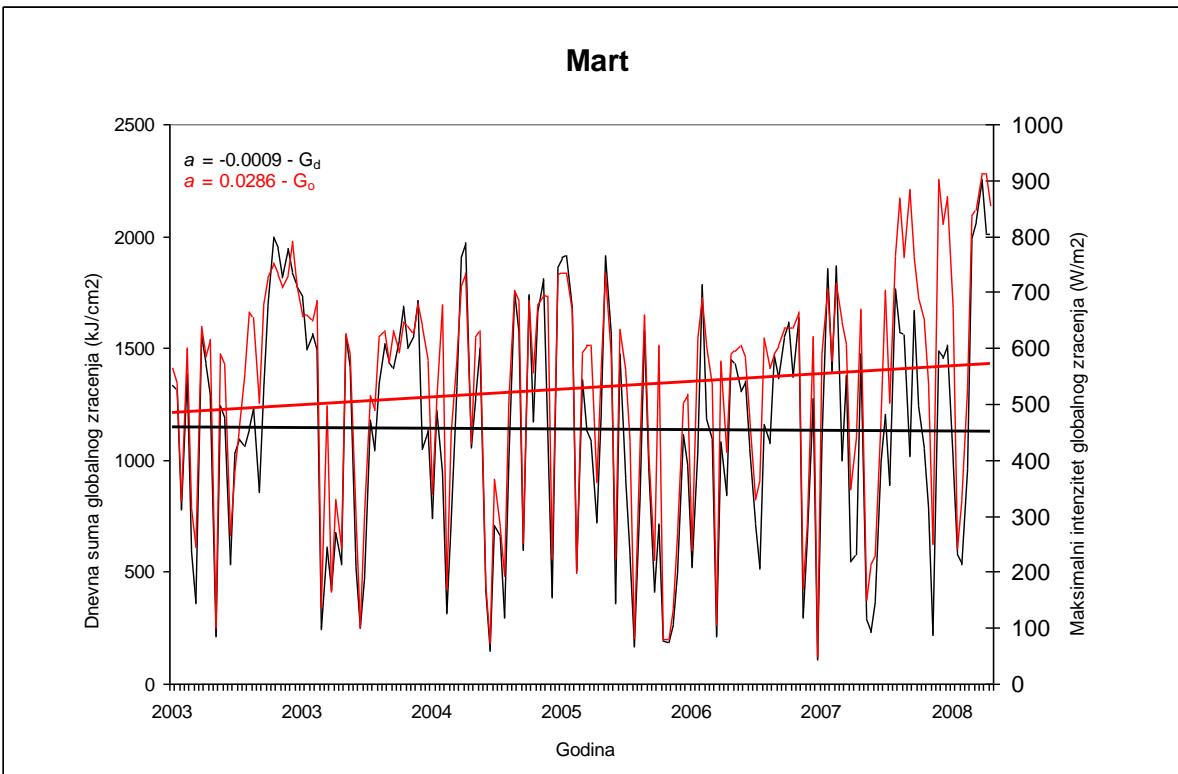
Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja izračunat je prema podacima dobijenim sa meteoroloških stanica u Pančevu i na Zelenom Brdu, za period od januara 2003. do januara 2009. godine. Dobijeni rezultati su prikazani na Slici 3.2. Analizirajući po mesecima, primećuje se rastući 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 značajnjem 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 $0.032 \text{ W/m}^2\text{dan}$.



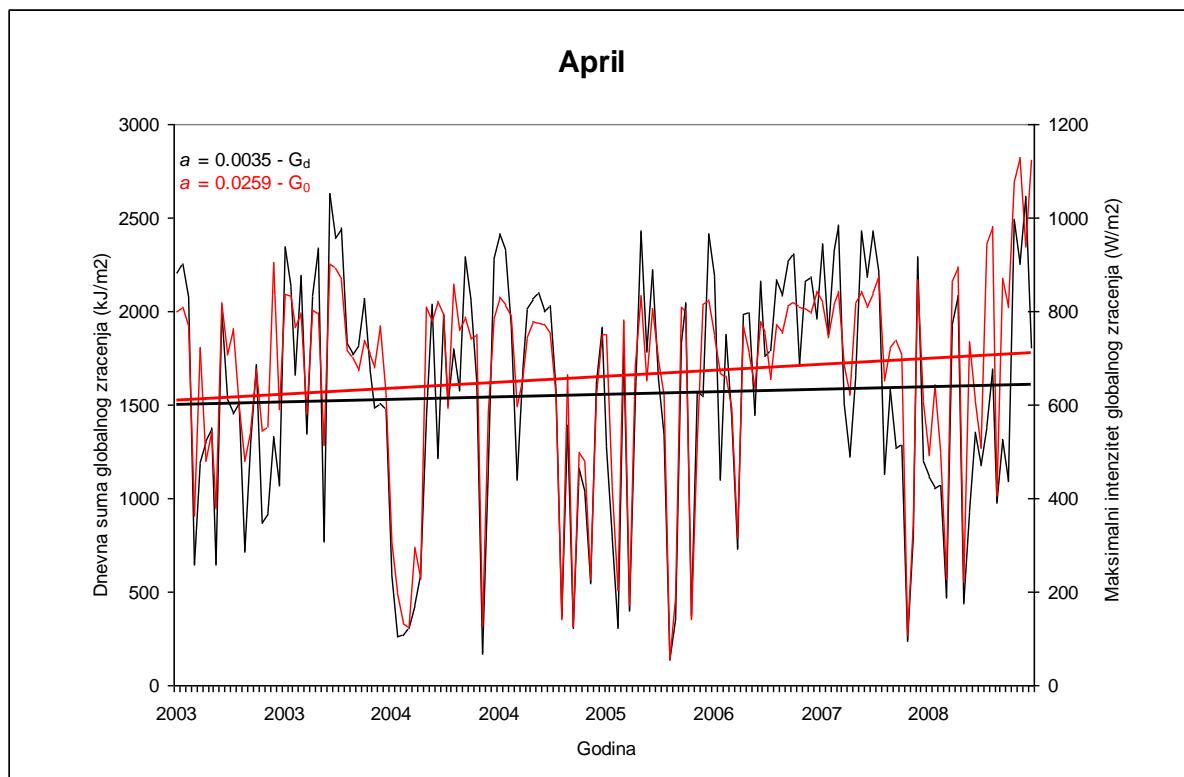
Slika 4.18 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec januar



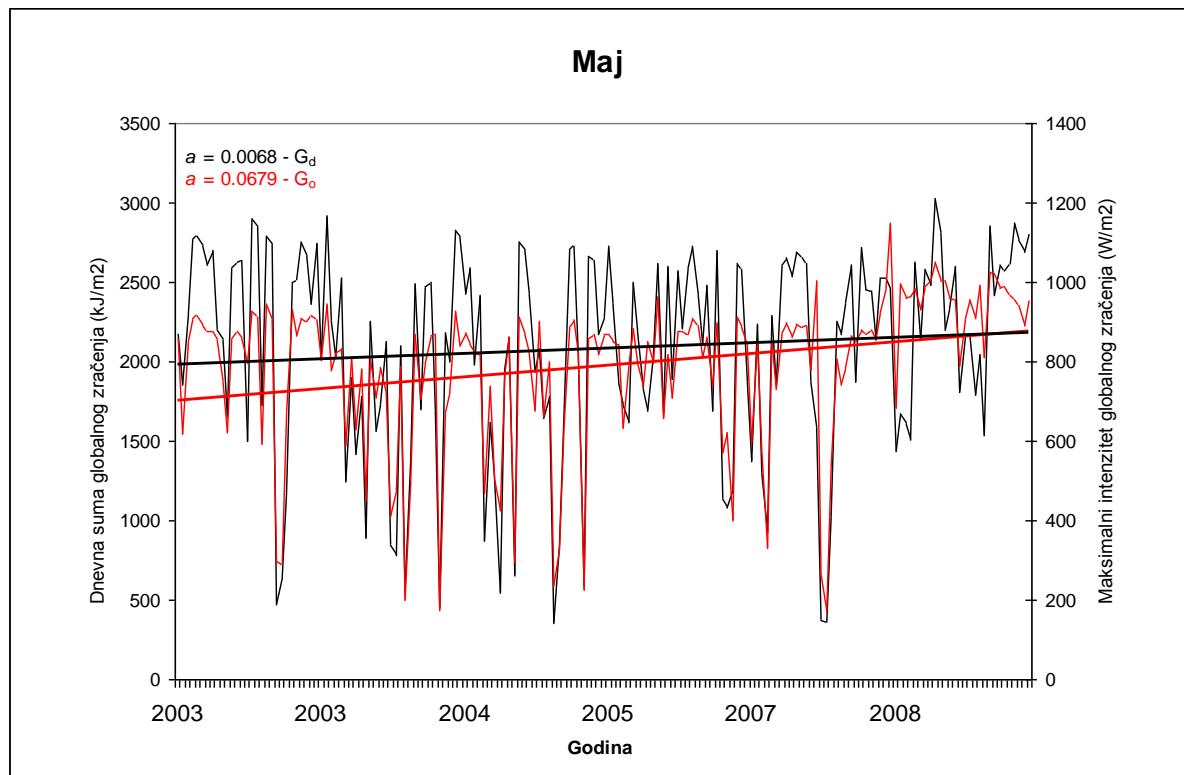
Slika 4.19 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec februar



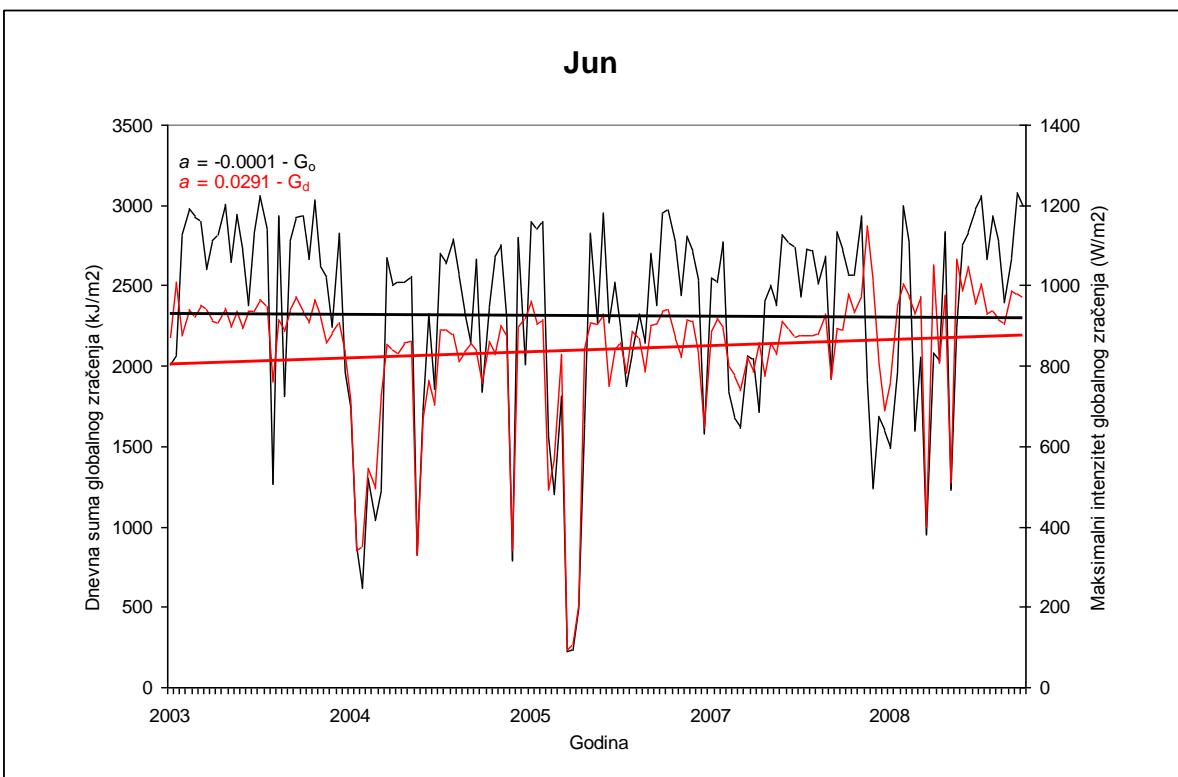
Slika 4.20 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec mart



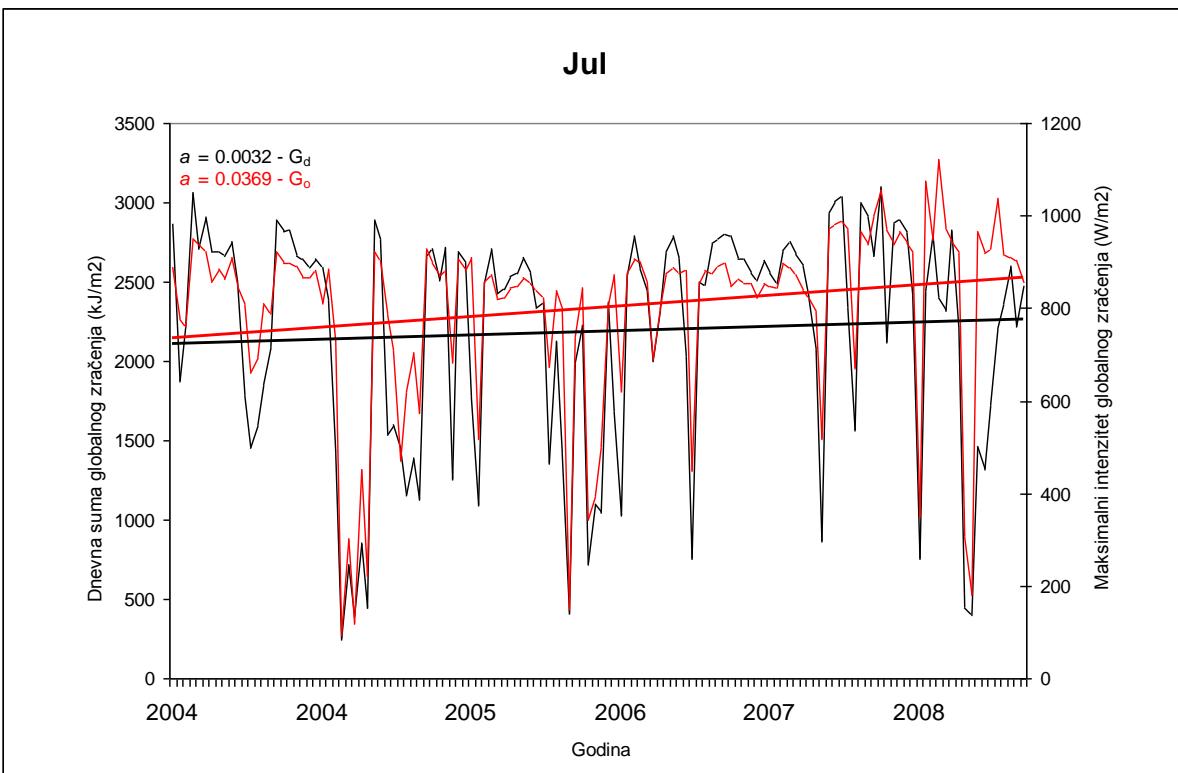
Slika 4.21 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec april



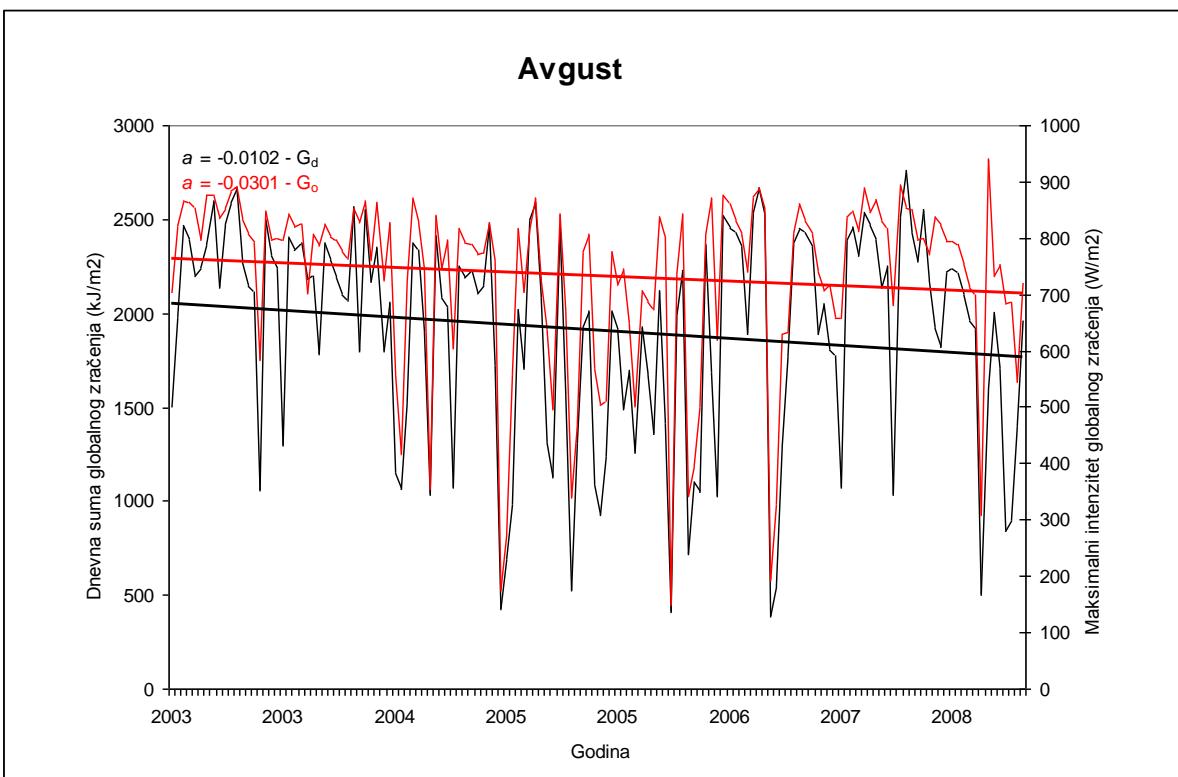
Slika 4.22 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec maj



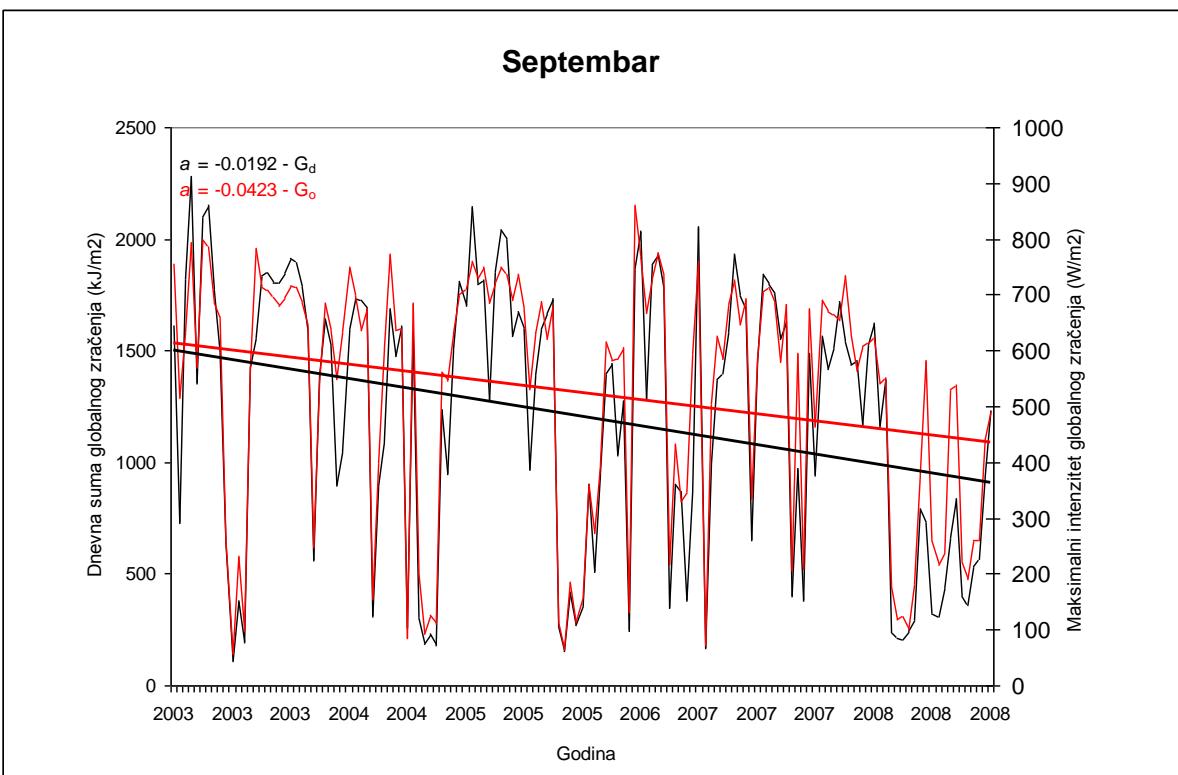
Slika 4.23 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec jun



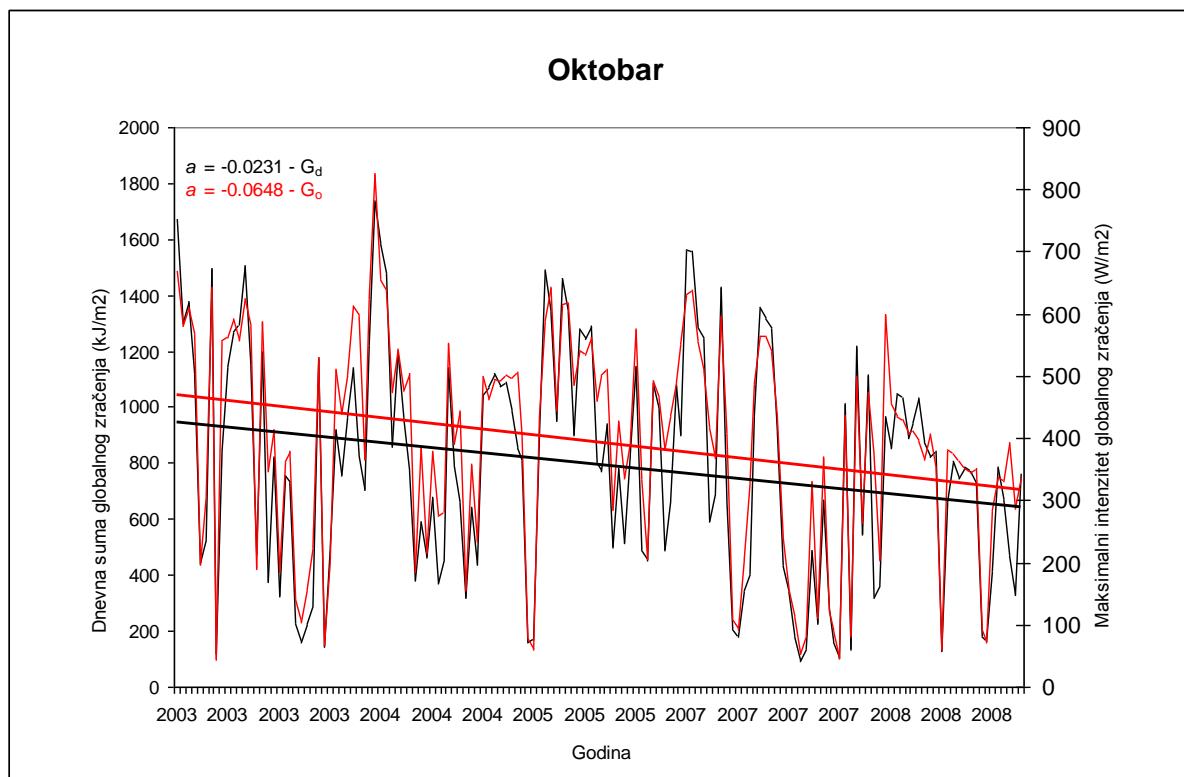
Slika 4.24 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec jul



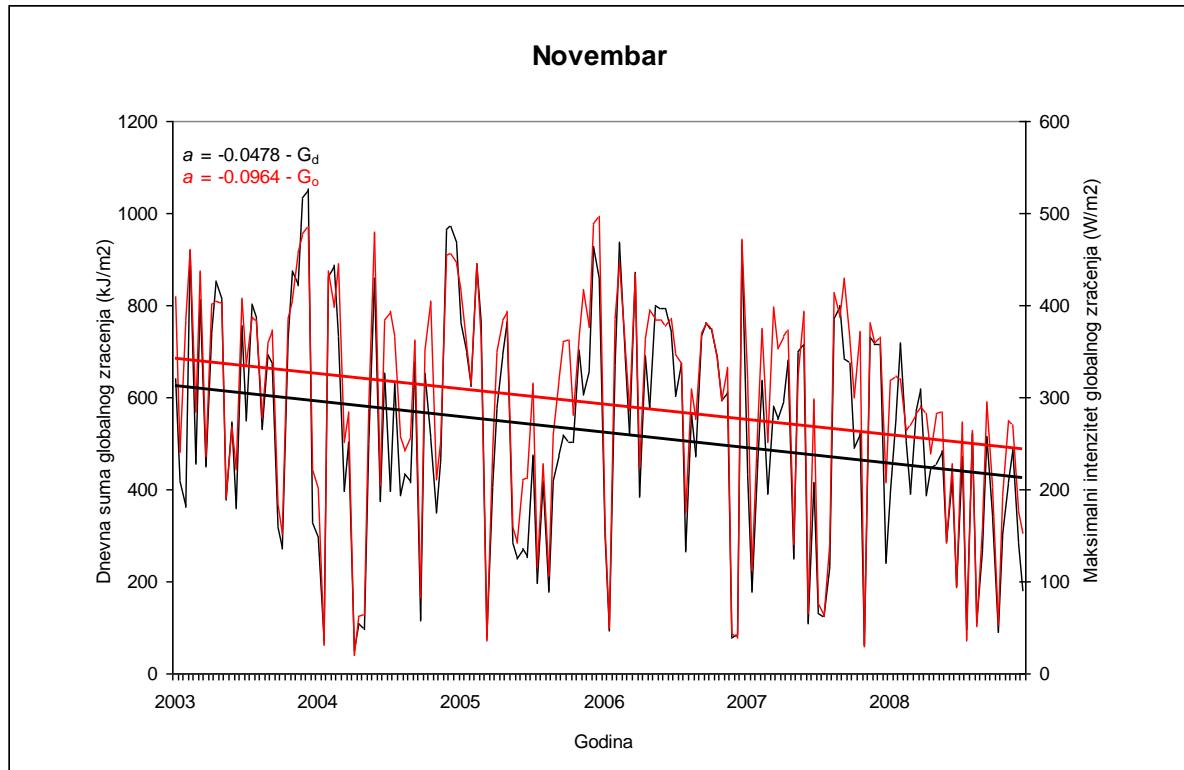
Slika 4.25 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec avgust



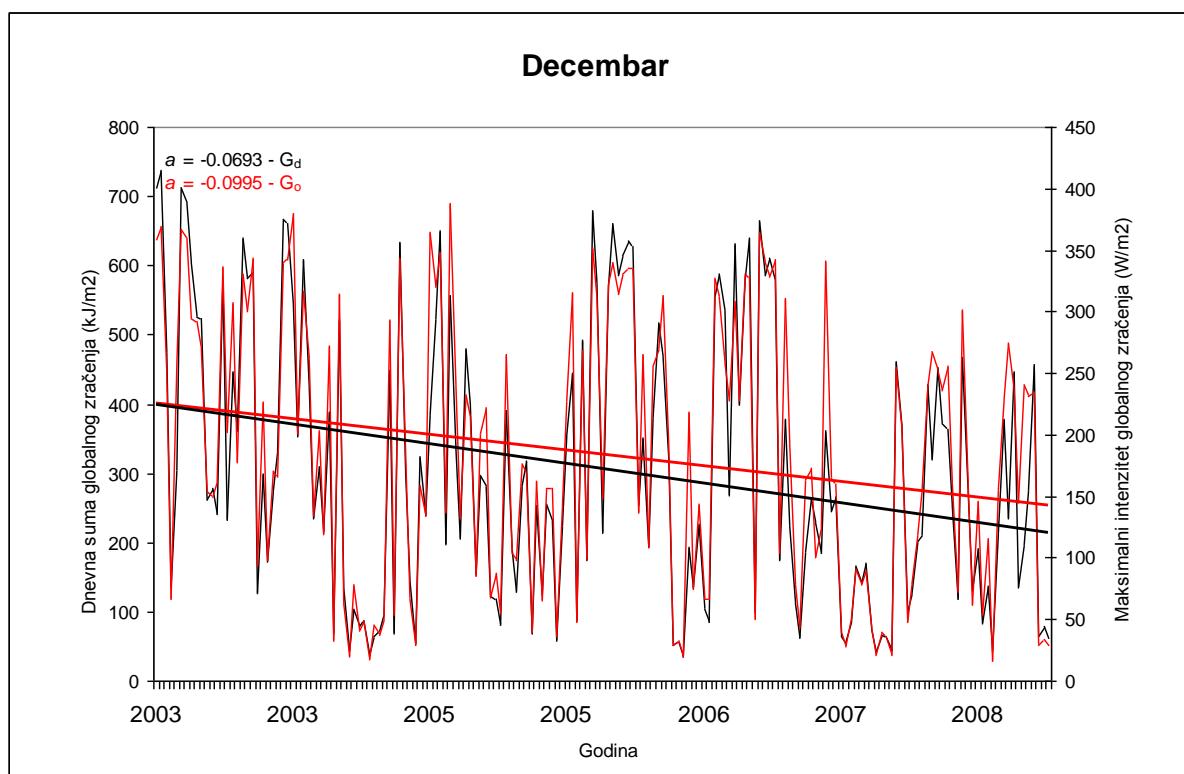
Slika 4.26 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec septembar



Slika 4.27 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec oktobar



Slika 4.28 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec novembar



Slika 4.29 Trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja za mesec decembar

5 Zaključak

U ovom radu je analiziran i upoređen statistički i dinamički pristup modeliranju u proceni dnevne sume globalnog zračenja.

Analiza statističkom modeliranja sunčevog zračenja, obuhvatala je proveru tačnosti i primenljivosti četiri empirijske relacije, Angstrom-Preskotov, Supit-Kapelov, Koulsenov i Hergrejsov metod za procenu dnevne sume globalnog zračenja. Za svaku od empirijskih relacija, potrebno je bilo odrediti koeficijente koji karakterišu ovo geografsko područje. Za određivanje koeficijenata bilo je potrebno obezbediti kontinuirani niz izmerenih vrednosti globalnog zračenja, kao i vrednosti merenih meteoroloških promenljivih, trajanja sunčevog sjaja, srednje dnevne oblačnosti i dnevne temperaturne amplitude.

Za dobijanje tačnih vrednosti empirijskih koeficijent i a_a i b_a u Angstrom-Preskotovoju 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 Novi Sad 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 parametrisati u ovakvim relacijama. Naime, srednja dnevna vrednost trajanja Sunčevog sjaja se određuje na osnovu merenja obavljenih korišćenjem heliografa na meteorološkoj stanci. U slučaju oblačnih dana, ako piranometar i heliograf ne stoje jedan pored drugog, uvek postoji mogućnost da je oblak lociran u zoni stанице i zaklanja heliograf ali da nije neposredno iznad piranometra, i obrnuto. Na taj način dolazi do greške u uspostavljanju korelacije izmedju 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.

Pored Angstrom-Preskotovg metoda, koji se pokazao kao najpouzdaniji u proceni dnevne sume globalnog zračenja, testirani su još i Supit-Kapelov, Koulsenov i Hergrejsov metod. Na osnovu osmotrenih srednjih dnevnih oblačnosti i temperaturne amplitude kod Supit-Kapelovog metoda je postignuta veoma zadovoljavajuća procena dnevne sume globalnog zračenja. Kao i kod prethodno testiranog metoda, i ovaj nešto slabije procenjuje globalno zračenje u hladnijem periodu godine, što opet ukazuje na problem pravilnog parametrisanja oblačnosti u ovakvim relacijama.. Vrednosti izračunatih empirijskih koeficijenata odgovaraju očekivanim vrednostima za ovaj region.

Jednostavnost i dostupnost podataka, bio je jedan od razloga zašto je Koulsenov metod izabran za testiranje i određivanje empirijskih koeficijenata. Iako procena dnevne sume zračenja u zimskim mesecima nije bila na zadovoljavajućem nivou, ostavljena je mogućnost da se metod koristi u toplijem delu godine, s obzirom da zahteva samo osmotrene vrednosti srednje dnevne oblačnosti, koje se mogu dobiti subjektivnom procenom posmatrača. Vrednosti dobijenih koeficijenata za Novi Sad, u potpunosti odgovaraju vrednostima koje su dobijene u ranijim istraživanjima.

Hergejsov metod, koji je takođe jednostavan i zahteva samo osmotrene vrednosti dnevne temperaturne amplitute pokazao je sličnu procenu dnevne sume zračenja, kao i Koulsenov metod. Za razliku od Angstrom-Preskotovog i Supit-Kapelovog metoda, koji se mogu koristiti za gotovo čitav period godine, Hergrejsov, kao i Koulsenov metod ostavljaju mogućnost procene zračenja u toplijem delu godine. Vrednosti empirijskih koeficijenata, takođe odgovaraju očekivanim vrednostima.

Kao primer dinamičkog modeliranja trasnporta Sunčevog zračenja iskoršćen je regionalni model za kratkoročnu prognozu vremena Workstation Eta. Iz modela su preuzete prognozirane dnevne sume globalnog zračenja za pedeset dana u periodu od kraja februara do početka jula za koje je model puštan. Analiza ovakvog vida modeliranja zahtevala je poređenja sa osmotrenim vrednostima. Izvršeno je poređenje za tri lokaliteta u Srbiji, Kopaonik, Beograd i Novi Sad, a da bi se se izbegla sistematska greška koja može da se javi u osmatračkim sistemima u kojima su sve stanice istovremeno kalibrisane i puštene u rad, pored podataka iz mreže automatskih stanica RHMZ-a korišćeni su i podaci imereni na meteorološkoj stanci u Beču. Primećeno je sistematsko odstupanje prognoziranih vrednosti u odnosu na osmotrene vrednosti. Odstupanja su bila utoliko veća, ukoliko je oblačnost bila veća. Najverovatniji razlog leži u tome što su oblaci veoma komplikovani za parametrisanje u numeričkim modelima, što dovodi do zaključka da u Eta modelu oblaci nisu pravilno

parametrisani, što je u skladu sa zapažanjima koji su izneli Tarasova i Fernandez u svom istraživanju (Tarasova, T.A., Fernandez, 2005).

Analizom statističkog i dinamičkom modeliranja za lokalitet Novog Sada, u kome su upoređene prognozirane dnevne sume dobijene iz regionalnog modela sa procenjenim vrednostima dobijenim Angstrom-Preskotovom relacijom, vidi se nadmoćnost statističkog modeliranja u odnosu na dinamičko. Jedna od prednosti statističkog modeliranja su jednostavnost i primenljivost. I u slučaju najvećih odstupanja za testirane empirijske relacije, a to se odnosi na hladniji period godine, statističko modeliranje bolje procenjuje dnevne sume globalnog zračenja. Ipak, ono što empirijski pristup ne može omogućiti, za razliku od dinamičkog, je procena dnevnog hoda intenziteta sunčevog zračenja.

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 značajnjem 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. Dobijene vrednosti maksimalnih intenziteta zračenja u prolećnim mesecima jasno pokazuju da uzrok osmotrene pojave leži u ekstremnim vrednostima ove veličine.

Za testiranje još nekih metoda, kao i preciznije određivanje empirijskih koeficijenata u testiranim metodama, potrebno je obezbediti podatke o još nekim meteorološkim parametrima, te proširiti i kompletirati već postojeće nizove podataka o izmerenom zračenju. Takođe, potrebno je za što veći broj dana preuzeti prognozirane vrednosti flukseva kratkotalasnog zračenja iz numeričkih modela, i uporediti ih sa osmotrenim i procenjenim vrednostima, kako bi se mogla napraviti što opsežnija analiza i poređenje dinamičkog i statističkog modeliranja. Time bi se otvorila mogućnost detaljnog analiziranja i otkrivanja problema, koji dovodi do sistematskog odstupanja Eta modela u prognozi kratkotalasnog zračenja.

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. Klabzuba, J., Bureš, R., Kožnarova, V., 1999. Model vypočtu denních sum globálního záření pro použití vrstových modelek, *Proceedings of the Bioklimatologicke pracovnedni 1999 Zvolen*, 121–122.
6. Mihailović, Dragutin, 1988. Sunčev 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. Tarasova, T.A., Fernandez, J.P.R., Pisnichenko I.A., Marengo J.A., Ceballos, J.C., Botinno M.J., 2005. Impact of New Solar Radiation Parameterization in the Eta Model on the Simulation of Summer Climate over South America, *Journal Of Applied Meteorology And Climatology, Volume 45*, 318-333.
12. Kapor, Darko, 2005. Skripte sa predavanja predmeta ‘Zračenje u atmosferi’.

13. Mihailović Dragituin, 2003. Skripte sa predavanja predmeta 'Modeliranje fizičkih procesa u atmosferi'.
14. Graeme L. Sthepens, 1984. The Parametrization of Radiation for Numerical Weather Prediction and Climate Models, *Monthly weather review, Volume 112*, 826-867.
15. Cr. Paltineanu, I.F. Mihailescu, V. Torica, and A.N. Albu, 2002. Correlation between sunshine duration and global solar radiation in south-eastern Romania, *Int. Agrophysics, 16*, 139-145
16. Yamamoto, G., 1962: Direct absorption of solar radiation by atmospheric water vapour, carbon dioxide and molecular oxygen. *J.Atmos. Sci. 19*, 182-188
17. Fels, S. B., and M. D. Schwarzkopf, 1975: The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations. *J. Atmos. Sci., 32*, 1475-1488.
18. Hoke, J. E., N. A. Phillips, G. J. Dimego, J. J. Tuccillo, and J. G. Sela, 1989: The regional analysis and forecast system of the National Meteorological Center. *Weather and Forecasting, 4*, 323-334.
19. Benjamin, S. G., K. J. Brundage, L. L. Morone, NOAA/NWS, 1994: Implementation of the Rapid Update Cycle. <http://maps.fsl.noaa.gov/tpbruc.cgi>
20. Morcrette, J.-J., 1991: Radiation and cloud radiative properties in the ECMWF operational weather forecast model. *J. Geophys. Res., 96*, 9121-9132.
21. Anthes,R. A., and T. T. Warner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Monthly Wether. Review., 106*, 1045-1078.
22. Walshaw, C.D., and C.D. Rodgers, 1963: The Effect of Curtis-Godson approximattion on the accuracy heating rate calcualtions, *Quart. J. Roy Meteor.,15*, 21-27
23. Mesinger, F., 1993: Forecasting upper tropospheric turbulence within the framework of the Mellor-Yamada 2.5 closure. Res. *Activities in Atmos. and Oceanic Modelling, Rep. No. 18, WMO, Geneva*, 4.28-4.29.
24. Janjic, Z.I., 1994: The step-mountain Eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev., 122*, 927-945.
25. Janjic, Z. I., 2002: Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 scheme in the NCEP Meso model. *NCEP Office Note No. 437*, 61 pp.
26. Matthew E. Pyle, Vladimir Djurdjević, and Fedor Mesinger,2008: A Guide to the Eta Model, *Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy*

27. Betts, A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Arctic airmass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 693-709.
28. Staudenmaier, Jr., M., NWSO Sacramento, 1996: Western Region Technical Attachment No. 96-06 a Description of the MESO ETA Model. <http://nimbo.wrh.noaa.gov/wrhq/96TAs/TA9606/ta96-06.html>
29. <http://www.hidmet.gov.rs/>
30. <http://eosweb.larc.nasa.gov/>
31. <http://www.supit.net/>
32. <http://atmo.tamo.edu/>

BIOGRAFIJA

Aleksandar Janković rođen je 07.12.1985 godine u Doboju, Bosna i Hercegovina. Godine 1991., zbog izbjjanja 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". Godine 2004. upisuje Prirodno-matematički fakultet, odsek fizika, smer meteorologija, u Novom Sadu i završava ga 2009. godine. Diplomirao 30.10. 2010. godine odbranom diplomskog rada pod nazivom 'Analiza empirijskih formula za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja'.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Master rad

Aleksandar Janković

Prof. D. Kapor, doc. B. Lalić

Analiza empirijskih formula za izračunavanje dnevne sume globalnog zračenja

Srpski (latinica)

Srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2010

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,

Novi Sad

(4/72/0/2/6/13/0)

Meteorologija i modeliranje životne sredine

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Primenjena meteorologija

Globalno zračenje, empirijske formule

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

<i>Važna napomena:</i>	nema
VN	
<i>Izvod:</i>	
IZ	Računati su empirijski koeficijenti u Angstrom-Preskotovoj, Koulsenovoj, Hergrejsovom i Supit-Kapelovoj formuli za tri lokaliteta pomoću kojih se na osnovu osmotrene srednje dnevne oblačnosti, dnevne temperaturne amplitufe i relativnog trajanja sunčevog sjaja može proceniti dnevna suma globalnog zračenja. Izačunat je i trend dnevne sume i maksimalnog intenziteta globalnog zračenja po mesecima. Obavljen je i poređenje dinamičkog i statističkog modeliranja, sa osmotrenim vrednostima dnevne sume globalnog zračenja. Rezultati su prikazani grafički i analizirani.
<i>Datum prihvatanja teme od NN</i>	
<i>veća:</i>	
DP	
<i>Datum odbrane:</i>	21.12.2010
DO	
<i>Članovi komisije:</i>	
KO	
<i>Predsednik:</i>	Prof. Darko Kapor, PMF-Novi Sad
<i>član:</i>	Doc. Maja Stojanović, PMF-Novi Sad
<i>član:</i>	Doc. B. Lalić, Poljoprivredni fakultet – Novi 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: 2010

PY

Publisher: Author's reprint

PU

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

PP

Physical description: (4/72/0/2/6/13/0)

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: Several empirical methods for estimating global radiation were tested for three sites in Belgrade and Novi Sad. Trend of daily

AB

global radiation and maximum intensity of global radiation were calculated by the months. Beside statistical method, dynamical approach for estimating global radiation was also tested and compared with empirically calculated and observed values of global radiation. The results were graphically presented and analyzed.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

21.12.2010

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Prof. Darko Kapor, PMF-Novi Sad

Member:

Doc. Maja Stojanović, PMF-Novi Sad

Member:

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