



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Analiza vrednosti UV indeksa dobijenih modelom NEOPLANTA i empirijskim modelom

- master rad -

Mentor:

dr Zorica Podraščanin

Kandidat:

Milica Atlagić

Novi Sad, 2014.

Neizmernu zahvalnost dugujem svom dragom mentoru Dr Zorici Podrščanin za odabir teme, za veliku pomoć i beskrajno strpljenje u izradi i pisanju rada. Posebno se zahvaljujem na posvećenom vremenu, entuzijazmu i bezrezervnoj podršci.

Zahvaljujem se članovima komisije, prof. dr Zoranu Mijatoviću i Dr Igoru Balazi na korisnim savetima i sugestijama.

Najlepše se zahvaljujem svojim profesorima i asistentima sa Departmana za fiziku i Katedre za meteorologiju koji su svojom naučničkom zanesenošću nesebično prenosili svoja znanja, doprineli da se moje studije završe uspešno i pokazali mi da je svako učenje podjednako teško i važno.

Hvala mojim kolegicama i kolegama koji su učinili da vreme studiranja bude ispunjeno prijateljstvom i radošću.

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj porodici na beskrajnoj ljubavi i podršci.

Autor

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Osnovi zračenja.....	3
2.1.	Apsorpcija i emisija zračenja	4
2.2.	Sunce kao izvor zračenja.....	5
3.	UV zračenje	8
3.1.	Definicija i podela UV zračenja.....	8
3.2.	UV indeks i minimalna eritemalna doza	10
3.3.	Faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja na Zemlji.....	14
4.	Instrumenti za merenje UV zračenja.....	21
5.	Modeli za prognozu intenziteta UV zračenja	23
6.	Materijal i metode.....	24
6.1.	Model NEOPLANTA	24
6.2.	Razvoj empirijskog modela (<i>Allaart i sar., 2004</i>) za predviđanje UV indeksa pomoću solarnog zenitnog ugla i debljine ozonskog omotača	26
6.3.	Monitoring intenziteta UV zračenja i debljine ozonskog omotača u Novom Sadu.....	30
6.3.1.	Monitornig intenziteta UV zračenja u Novom Sadu	30
6.3.1.1.	Princip rada YANKEE UVB-1 detektora.....	31
6.3.2.	Monitoring debljine ozonskog omotača u Novom Sadu.....	33
6.3.2.1.	Princip rada MICROTOPS II instrumenta	33
7.	Rezultati i diskusije.....	35
7.1.	Poređenje vrednosti UVI dobijenih iz modela sa izmerenim vrednostima za svako godišnje doba.....	36
7.2.	Poređenje vrednosti UVI dobijenih iz modela i izmerenih vrednosti za sva godišnja doba uz primenu koeficijenta korelacije i metoda najmanjih kvadrata.....	42
7.3.	Maksimalne vrednosti UVI dobijene iz modela i izmerene za sve posmatrane dane	45

7.4. Poređenje maksimalnih vrednosti UVI dobijenih modelima i merenjima uz korišćenje relativne greške.....	47
8. Zaključak.....	49
9. Literatura.....	51

1. Uvod

Krajem prošlog veka otkrivena je veza između povećanja intenziteta ultraljubičastog (UV) zračenja i broja obolelih od raka kože što budi interesovanje za određivanje intenziteta solarnog UV zračenja, odnosno UV indeksa (UVI) kao opšte prihvачene jedinice mere UV zračenja. Najefikasniji način za određivanje vrednosti solarnog UVI je direktno merenje njegove vrednosti. Međutim, ovakva merenja su skupa i prostorno retko raspoređena. Primera radi, u našoj zemlji se vrednosti UVI mere samo u Novom Sadu i Beogradu, dok se u okolnim zemljama kao što su Bosna i Hercegovina, Makedonija, Crna Gora i Hrvatska i ne vrši monitoring vrednosti UVI. Razvijene zemlje kao što je na primer Austrija, poseduju mrežu mernih stanica za monitoring vrednosti UVI koja obuhvata teritoriju cele države.

S druge strane, mnogo jednostavniji način za određivanje UVI, i u slučajevima bezoblačnog dana skoro jednakо efikasan, je prognoza intenziteta UV zračenja. Za razliku od merenja koja predstavljaju trenutne vrednosti ili vrednosti izmerene u prošlosti, prognoza UVI daje vrednosti i za blisku budućnost (par dana unapred). Poznavanje vrednosti UVI u narednim danima omogućava planiranje zaštite prilikom aktivnosti koje se odvijaju pod direktnim dejstvom UV zračenja. Na taj način moguće je zaštiti delove tela koji su izloženi UV zračenju, sprečiti oštećenja biljnog pokrivača i ugrožavanje životinjskog sveta.

Postoje tri vrste modela za prognozu UVI: 1) modeli višestrukog rasejanja, 2) brzi spektralni modeli i 3) empirijski modeli. Prve dve grupe modela opisuju fizička svojstva UV zračenja i samim tim za njihovu primenu je neophodno poznavanje većeg broja promenljivih veličina (albedo, koncentracija aerosola...), dok se empirijski modeli oslanjaju na što jednostavniju vezu između jednostavnih parametara kao što su debljina ozonskog omotača i vrednost solarnog zenitnog ugla (SZA).

U Republici Srbiji postoje merenja vrednosti UVI, ali još uvek nedostaje njihova precizna prognoza. Trenutno, prognozirane vrednosti UVI koje se mogu naći na zvaničnom sajtu Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije su prognoze preuzete iz Nemačke meteorološke službe (Deutscher Wetterdienst-DWD) iako je u Novom Sadu 2006. godine u Centru za meteorologiju i modeliranje životne sredine (Center for Meteorology and Environmental Predictions-CMEP) razvijen model višestrukog rasejanja NEOPLANTA (*Malinović i sar.*, 2006). Testiranje modela NEOPLANTA je izvedeno poređenjem sa izmerenim vrednostima UVI u Novom

Sadu pri čemu su dobijena dobra slaganja prognoziranih i izmerenih vrednosti. Ukoliko se želi da se ovaj model upotrebi za prognozu UVI za sva veća mesta u Srbiji ne treba zaboraviti da će pored velikog broja ulaznih parametara biti utrošeno i dosta računskog vremena. Da bi se smanjilo računsko vreme, a ipak dobili verodostojni rezultati moguće je koristiti empirijski model.

Cilj ovog rada je testiranje empirijskog modela (*Allaart i sar.*, 2004) za potrebe prognoze UVI, za početak u Novom Sadu, a kasnije i u celoj Srbiji. Izabrani empirijski model, koji za predviđanje vrednosti UVI koristi dva parametra: solarni zenitni ugao i debljinu ozonskog omotača, biće testiran sa izmerenim vrednostima UVI u Novom Sadu i rezultatima dobijenim upotrebom već pomenutog modela NEOPLANTA.

Ovaj rad je podeljen u osam poglavlja. Na početku rada uvedeni su sledeći osnovni pojmovi: zračenje, apsorpcija, emisija i Sunce kao izvor zračenja na Zemlji. U trećem poglavlju definisano je UV zračenje i data je njegova podela. Opisani su pojmovi UV indeksa i minimalne eritemalne doze kao i faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja na Zemlji. U četvrtom poglavlju opisani su instrumenti za merenje trenutnih vrednosti intenziteta UV zračenja dok su u petom poglavlju opisani modeli koji služe za prognoziranje vrednosti intenziteta UV zračenja. Detaljno su u šestom poglavlju objašnjeni model NEOPLANTA i empirijski model (*Allaart i sar.*, 2004). Takođe, opisan je monitoring intenziteta UV zračenja i debljine ozonskog omotača u Novom Sadu, gde je dat princip rada YANKEE UVB-1 detektora i MICROTOPS II instrumenta. U sedmom poglavlju poređene su vrednosti UVI dobijene iz modela NEOPLANTA i empirijskog modela sa vrednostima izmerenim u Novom Sadu za svako godišnje doba. Slaganje rezultata detaljnije je objašnjeno primenom koeficijenta korelacije i metoda najmanjih kvadrata. Pored toga, analizirane su dobijene maksimalne vrednosti UVI iz modela NEOPLANTA i empirijskog modela sa izmerenim vrednostima UVI, a kvalitet prognoze ilustovan je vrednostima relativne greške.

2. Osnovi zračenja

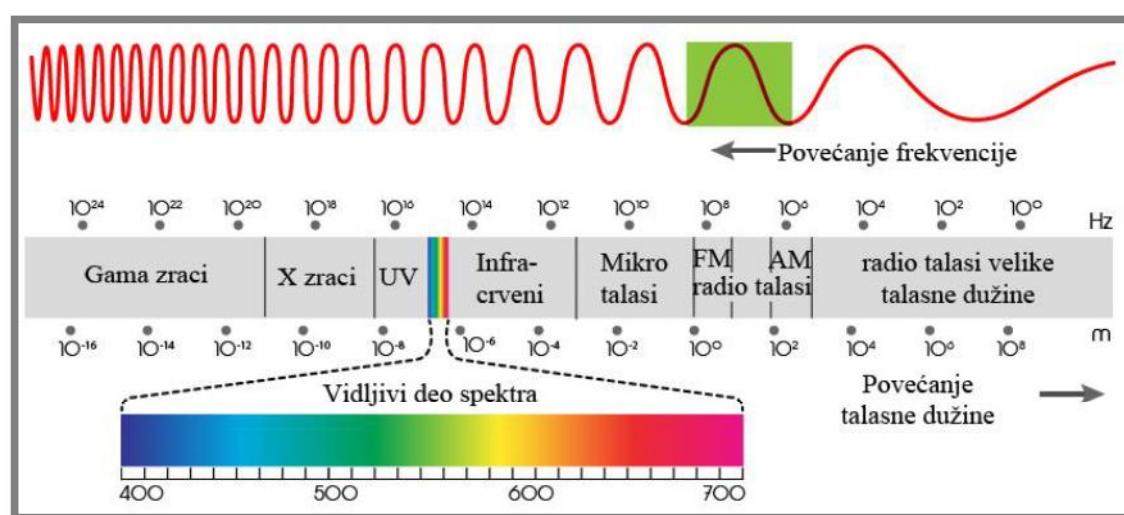
Razmena energije između Zemlje i vacionskog prostora odvija se putem elektromagnetskog zračenja. Zemlja i njena atmosfera stalno apsorbuju Sunčevu zračenje. S druge strane, Zemlja i atmosfera neprekidno emituju sopstveno zračenje u prostor. Posmatrajući Zemlju i atmosferu kao celinu, u proseku se primljeno i emitovano zračenje tokom vremena gotovo kompenzuju.

Elektromagnetno zračenje je kombinacija oscilujućeg električnog i magnetnog polja koja zajedno putuju kroz prostor u obliku međusobno normalnih talasa. Ovo zračenje je nosilac elektromagnetske interakcije (sile) i može se interpretirati kao talas ili kao čestica. Čestice koje kvantifikuju elektromagnetno zračenje su fotoni. Čestična priroda zračenja može da se opiše Plankovom relacijom:

$$E = h\nu \quad (1)$$

gde je E energija fotona, h Plankova konstanta, a ν frekvencija talasa.

Na elektromagnetno zračenje se takođe može gledati kao ansambl talasa koji putuju kroz vakuum brzinom svetlosti $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$. Ovi talasi mogu pripadati kontinuarnom opsegu talasnih dužina. Zračenje svih mogućih talasnih dužina određuje elektromagnetni spektar. (Slika 1.)



Slika 1. Elektromagnetni spektar.

2.1. Apsorpcija i emisija zračenja

Atmosfera je gasni omotač Zemlje čije se 99.9% mase nalazi u sloju do 50 km visine. Najvećim delom se sastoji od gasova koji se u trajnom obliku mogu naći u molekulskom stanju kao što su azot i kiseonik. Atmosfera može da apsorbuje, reflektuje ili propusti Sunčeve zračenje i tako odredi količinu zračenja koja stiže do tla.

Energija svakog molekula se može grubo razložiti na nekoliko komponenata. Pre svega tu je energija elektrona u odnosu na jezgro. Elektroni koji se kreću u orbitama oko jezgra pojedinačnih atoma raspolažu određenom količinom kinetičke i elektrostatičke potencijalne energije. Pored toga manje količine energije su povezane sa vibracijama pojedinačnih atoma oko srednjih položaja u molekulu i rotacijom molekula oko svog centra mase, mada je u praksi teško razdvojiti ove dve vrste energije. Za svaku moguću kombinaciju orbita elektrona, vibracije i rotacije može se identifikovati jedan određeni energetski nivo koji predstavlja sumu pomenuta tri tipa energije. Molekul može preći na viši energetski nivo apsorbujući elektromagnetno zračenje ili pasti na niži emitujući ga. Izolovani molekul može da apsorbuje i emituje energiju samo u količinama koje odgovaraju dozvoljenim promenama njegovog energetskog nivoa, odnosno može da reaguje samo sa zračenjem određenih talasnih dužina. Orbitalne promene su obično povezane sa topotnim, ultraljubičastim i vidljivim zračenjem, vibracione sa infracrvenim talasnim dužinama dok rotacioni prelazi imaju najmanje promene energije i povezani su sa zračenjem u mikrotalasnom opsegu.

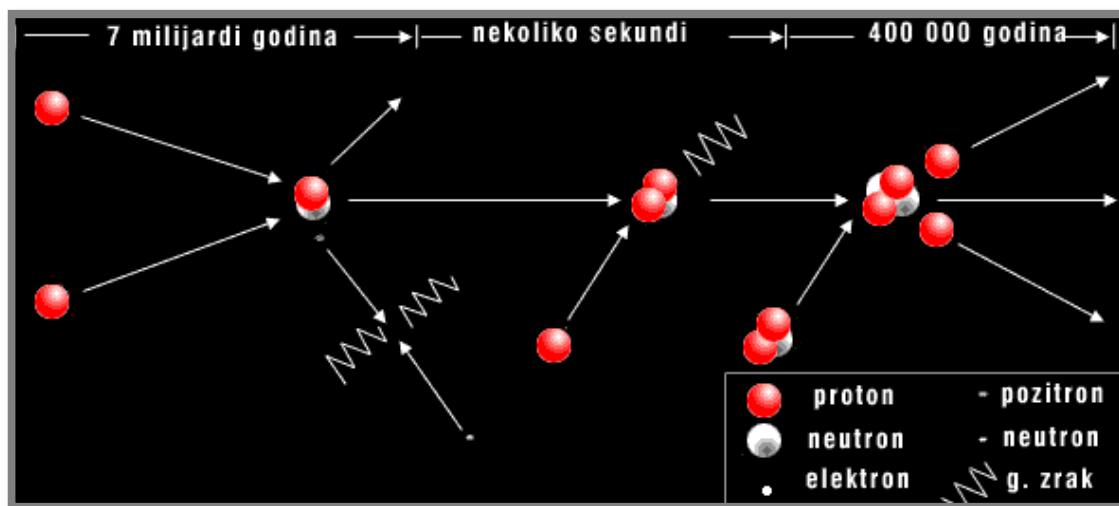
Molekul može da apsorbuje ili emituje zračenje čija je energija dovoljno velika da izazove njegovo raspadanje na atome. Nestabilni atomi se takođe mogu kombinovati da bi formirali stabilne molekule pri čemu oslobođaju višak energije u obliku zračenja. Ovakav način interakcije molekula u atmosferi sa zračenjem se naziva fotohemijska reakcija. Fotodisocijacija se odvija pod dejstvom zračenja dovoljno kratkih talasnih dužina koje povećava energiju molekula do praga kada fotodisocijacija započinje, pri čemu eventualni višak energije prelazi u kinetičku energiju atoma i temperatura gasa se povećava. Većina fotohemijskih reakcija u Zemljinoj atmosferi se dešava pod uticajem ultraljubičastog i vidljivog zračenja. Svaki atom se može ionizovati delovanjem zračenja dovoljno kratkih talasnih dužina

pri čemu se jedan ili više spoljnih elektrona odvajaju sa atomskih orbita. Jonizacija je povezana sa talasnim dužinama kraćim od oko $1 \mu\text{m}$.

2.2. Sunce kao izvor zračenja

Izvor gotovo celokupne energije koja dolazi do Zemlje je Sunce. Sunce je žuta zvezda radijusa $6.96 \times 10^5 \text{ km}$ i mase $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ nastala pre oko 4.6 milijardi godina. Sastoji se uglavnom od vodonika (92.1%), helijuma (7.8%) i teških elemenata Fe, Si, Ne i C (0.1%).

Izvor energije Sunca je nuklearna reakcija fuzije koja se odvija u jezgru Sunca. To je serija od tri sudara između delova atoma poznata kao proton-proton ciklus. (Slika 2.)



Slika 2. Proton-proton ciklus. (Astronomija, 2009)

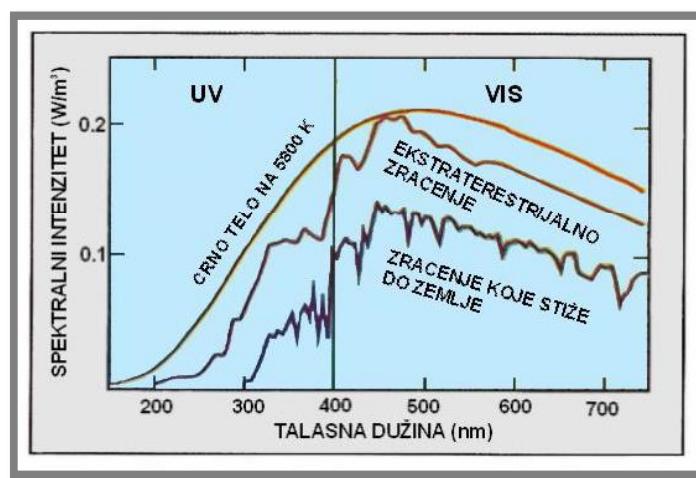
Proton-proton ciklus počinje sudarom dva protona. Prilikom ovog sudara nastaju deuterijum, pozitron i neutrino. Verovatnoća da dođe do sudara dva protona na Zemlji je jednom u sedam milijardi godina, ali se na Suncu ovaj proces odvija kontinualno zbog velike količine gama zraka i nastaje helijum III koji se sastoji od dva protona i jednog neutrona. Poslednji sudar proton-proton ciklusa odigrava se oko 400000 godina kasnije kada se jezgro helijuma III sudara sa drugim jezgrom helijuma III. Konačan rezultat ovog sudara su dva slobodna protona i jedno obično jezgro helijuma IV, koje se sastoji od dva protona i dva neutrona. Svi slobodni protoni odlaze da oslobode druge protone i započnu novi ciklus. Količina energije koja se

oslobodi tokom ovog ciklusa iznosi 19.48 MeV. Zbog oslobađanja tako velike količine energije temperatura u jezgru Sunca iznosi oko 15×10^6 K.

Energija koja se oslobodi u jezgru u vidu elektromagnetskog zračenja prenosi se kroz unutrašnji sloj Sunca zračenjem, pa se ovaj sloj naziva radijativna zona. U ovoj zoni se nalaze visoko jonizovani gasovi. Na radijacionu zonu se naslanja konvektrivna zona. Gasovi u njoj su manje jonizovani i mogu u ogromnim petljama da prenose energiju do fotosfere, vidljive površine Sunca. Kada dospeju na površinu, ovi gasovi gube energiju zračenja u svemir, hlađe se i kao teži padaju nazad gde se zagrevaju i ponovo započinju kretanje.

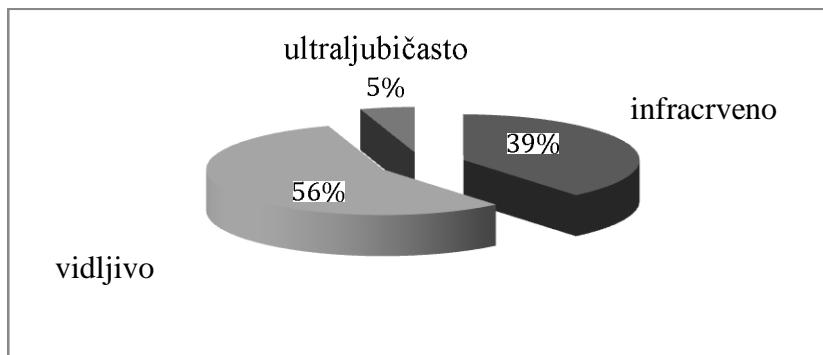
Fotosfera, vidljiva oblast Sunca, je oblast u kojoj nastaje veći deo elektromagnetskog zračenja koje stiže do Zemlje. Temperatura tog sloja se kreće od 4000 K do 8000 K. Merenje spektralne raspodele energije zračenja Sunca se slaže sa Plankovom krivom zračenja absolutnog crnog tela temperature oko 6000 K. Efektivna temperatura fotosfere se može procenti i iz Štefan-Bolcmanovog zakona i ona iznosi oko 5800 K. Oblast iznad fotosfere se naziva Sunčeva atmosfera i sastoji se iz hromosfere i korone.

Kao što je već rečeno, izvor elektromagnetskog zračenja je fotosfera i njena temperatura iznosi oko 5800 K. Međutim, na površini Sunca se nalaze pojave kao što su Sunčeve pege, granule i spikule koje utiču na spektar elektromagnetskog zračenja koje stiže do Zemlje, pa se ono razlikuje od spektra zračenja absolutno crnog tela zagrejanog do temperature od 5800 K. (Slika 3.)



Slika 3. Spektar zračenja absolutno crnog tela i Sunčev spektar na gornjoj granici atmosfere i na površini Zemlje (Mijatović i sar., 2002).

Spektar Sunčevog zračenja na gornjoj granici atmosfere naziva se ekstraterestrijalno zračenje i leži u oblasti talasnih dužina od 0.015 do $1000 \mu\text{m}$. Deo ekstraterestrijalnog zračenja se pri prolasku kroz atmosferu apsorbuje i do površine Zemlje stiže izmenjeni spektar. Zračenje koje dospeva do Zemljine površine obuhvata deo spektra od 0.29 do $3 \mu\text{m}$. Od toga infracrveno (0.78 - $3 \mu\text{m}$) zračenje sačinjava 56% , vidljivo (0.4 - $0.78 \mu\text{m}$) 39% , dok ultraljubičasto (0.29 - $0.4 \mu\text{m}$) čini 5% (Slika 4.) (Mijatović i sar., 2002).



Slika 4. Procentualna raspodela Sunčevog zračenja koje dospeva do površine Zemlje.

3. UV zračenje

3.1. Definicija i podela UV zračenja

Ultraljubičasto zračenje čini 5 % energije koja dolazi do gornje granice atmosfere i predstavlja deo elektromagnetskog spektra koji se nalazi u oblasti talasnih dužina od 100 do 400 nm. U zavisnosti od gledišta i u zavisnosti od efekta koji proizvodi u različitim sistemima, oblast UV zračenja se može podeliti na različite načine (Slika 5.).

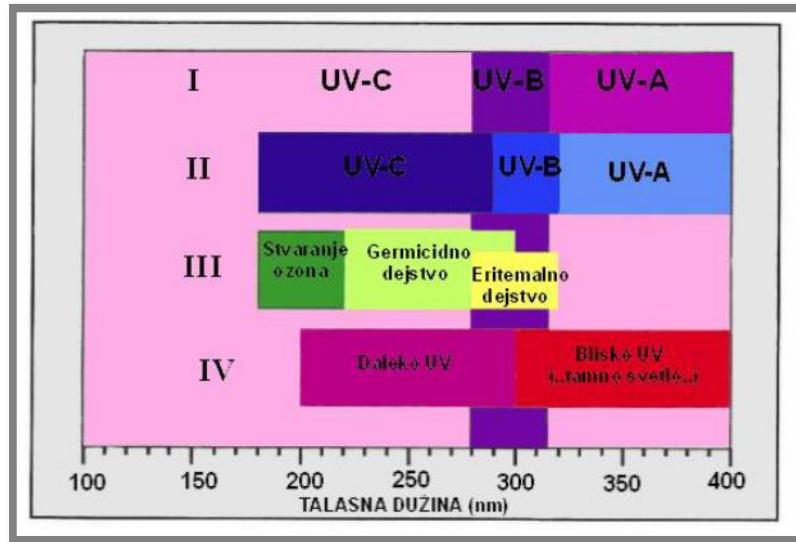
Prva podela spektra UV zračenja je prema definiciji CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, publication No. 69, 1985: UV-C oblast (100 – 280 nm), UV-B oblast (280 – 315 nm) i UV – A oblast (315 – 400 nm).

Naredna podela spektra UV zračenja je na osnovu biološkog dejstva UV zračenja na žive organizme i deli se na tri oblasti: UV-C oblast (180 – 290 nm), UV-B oblast (290 – 320 nm) i UV – A oblast (320 – 400 nm). Neke od granica između oblasti su uzete donekle proizvoljno. Granica između UV-B i UV-C oblasti uzeta je za 290 nm jer je malo verovatno da će UV zračenje kraćih talasnih dužina dospeti do Zemljine površine, izuzev na većim nadmorskim visinam. Odabir granice od 320 nm između UV-B i UV-A je još proizvoljniji. Iako je zračenje talasnih dužina kraćih od 320 nm više fotobiološki aktivno nego UV zračenje dužih talasnih dužina, skorašnja fotomikrobiološka istraživanja pokazala su da bi granica od 330 – 340 nm više odgovarala (*Peak i Peak*, 1986).

Spektar UV zračenja se takođe može podeliti na osnovu hemijskog dejstva. Zračenje od 175 do 220 nm je zračenje zahvaljujući kojem se u stratosferi formira ozon. Zračenje u oblasti talasnih dužina od 220 nm do 300 nm ima germicidno dejstvo, dok zračenje u oblasti od 280 nm do 320 nm ima najjače dejstvo na kožu i naziva se eritemalna oblast.

Sa stanovišta spektroskopije, UV oblast zračenja se deli na daleku (vakuumsku) oblast UV zračenja od 200 do 300 nm i na blisku oblast, poznatu kao 'tamno svetlo', koja obuhvata interval talasnih dužina od 300 do 400 nm (*Mijatović i sar.*, 2002).

U daljem tekstu biće korišćena biološka podela spektra UV zračenja.



Slika 5. Podela UV dela spektra po različitim kriterijumima (Mijatović i sar., 2002).

UV-A zračenje čini oko 98 % od ukupnog solarnog UV zračenja koje stiže do Zemljine površine. To je zračenje najmanje energije iz oblasti UV spektra za koje atmosfera predstavlja transparentnu sredinu, te je zbog toga i zastupljeno u tako velikom procentu. Prema svom dejstvu, UV-A zračenje je najmanje štetno za biološke sisteme, ali ne i potpuno bezopasno, naročito pri dužim izlaganjima većim intenzitetima ovog zračenja. UV-A zračenje je našlo široku primenu u medicini, kako u dijagnostičke tako i u terapijske svrhe. U terapijske svrhe se koristi hemijsko dejstvo UV-A zračenja (315-345 nm). Zbog svoje sposobnosti da stimuliše sintezu vitamina D iz njegovog provitamina, ovo zračenje se uspešno koristi u terapiji rahičisa, za formiranje pigmenta, kao i u heliterapiji. U dijagnostičke svrhe se UV-A zračenje ovih talasnih dužina još naziva i 'tamno svetlo'. Koristi se u fluorescentnoj mikroskopiji, fluorescentnoj fotografiji, kao i pri makroskopskim posmatranjima. UV-A zračenje se prostire kroz vazduh i staklo.

UV-B zračenje zbog visoke energije svojih fotona ima destruktivno dejstvo na biološki svet. Energije fotona UV-B zračenja su dovoljno velike da aktiviraju niz fotohemijskih reakcija u organizmu, koje mogu dovesti do pojave raznih oštećenja tkiva kože i očiju. Preko 90 % solarnog UV-B zračenja se apsorbuje u atmosferi od strane ozona, kiseonika, vodene pare i ugljen-dioksida. Međutim, i onaj mali procenat ovog zračenja, koji stiže do Zemljine površine, može da izazove niz neželjenih efekata zbog stanjenog ozonskog sloja. UV-B zračenje se prostire kroz vazduh i kvarc, dok se u običnom staklu apsorbuje.

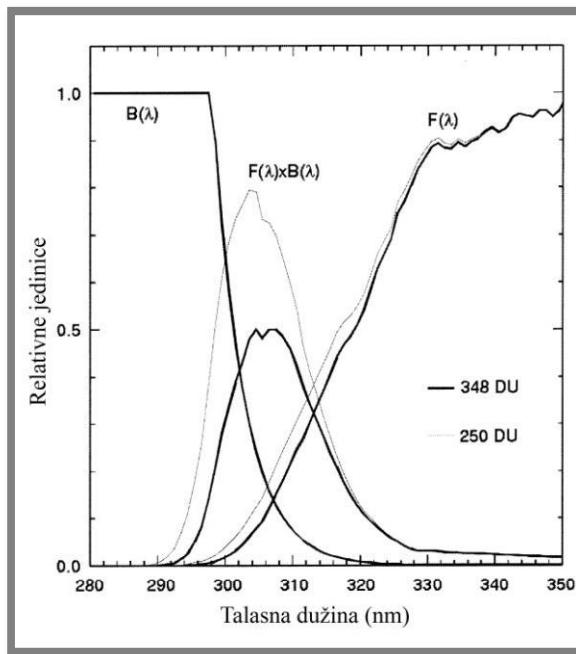
UV-C zračenje je zračenje najveće energije iz spektra UV oblasti, koje se kao prirodno zračenje ne sreće na Zemlji, jer se potpuno apsorbuje u ozonskom sloju atmosfere - stratosferi. UV-C zračenje je izuzetno štetno za žive organizme, jer deluje destruktivno na DNK, koja je sastavni deo svake žive ćelije i nosilac celokupnog genetskog materijala jedinke. Sa druge strane, ovo zračenje je korisno za opstanak živog sveta, jer učestvuje u fotohemimskim reakcijama sinteze ozona. UV-C zračenje talasnih dužina od 260 do 290 nm ima baktericidno dejstvo, te se koristi za sterilizaciju vazduha u pojedinim prostorijama i za sterilizaciju vode. U tu svrhu se koriste posebno izrađeni veštački izvori UV-C zračenja, tzv. germicidne lampe. Usled prekomerne izloženosti ljudskog organizma ovom zračenju može doći do snažnog slepila i teških opekotina kože. Iako povrede nastale pri kratkotrajnom izlaganju UV-C zračenja mogu nestati za par dana, one su veoma bolne (*Sutherland, 1997*).

Pored negativnih efekata na biološki svet, dejstvo UV zračenja ima i niz pozitivnih efekata, bez kojih se život na našoj planeti ne bi mogao zamisliti. Veliki deo solarnog UV zračenja se apsorbuje u atmosferi, ali onaj deo koji stiže do Zemljine površine ima važna pozitivna dejstva na mnoge organizme, pa i na čoveka. Prirodno UV zračenje je u malim dozama neophodno za sintezu vitamina D i kalcioferola zahvaljujući kome se u kosti 'ugrađuje' kalcijum, koji je neophodan za njihov normalan rast, razvoj i funkciju.

3.2. UV indeks i minimalna eritemalna doza

Potreba da se javnosti da razumljiva informacija o vrednosti UV zračenja i njegovom mogućem štetnom dejstvu na ljudsku kožu navela je naučnike da definišu parametar koji će se upotrebljavati kao pokazatelj izlaganja UV zracima. Početkom aktivnosti na ovom polju, u svetu su se pojavile jedinice prihvatljive za javnu upotrebu, ali su one bile definisane na različite načine. Tokom poslednjih desetak godina pažnja je bila posvećena unifikaciji imena merne jedinice prihvatljive za javnost i njenoj definiciji. Parametar je nazvan UV indeks (UVI) i definisan je kao intenzitet UV zračenja otežanog biološkim spektrom od 25 mWm^{-2} . Prema tome vrednost intenziteta UV zračenja od 25 mWm^{-2} odgovara vrednosti od 1 UV indeksa, dok vrednosti od 250 mWm^{-2} odgovara vrednosti od 10 UV indeksa (*Mijatović i sar., 2002*).

Ukoliko se žele odrediti vrednosti UV indeksa potrebno je poznavati spektar biološki aktivnog zračenja koji se dobija kombinacijom spektra UV zračenja (290-400 nm) kojem se organizam izlaže i spektra biološkog dejstva (Slika 6.).



Slika 6. Biološki aktivno UV zračenje. Preklapanje između spektralnog intenziteta $F(\lambda)$ i spektra biološkog dejstva $B(\lambda)$ pokazuje spektar biološki aktivnog zračenja $F(\lambda) \times B(\lambda)$. Deblja i tanja linija koje su upotrebljene za oznaku spektra intenziteta UV zračenja i biološki aktivnog spektra pokazuju vrednosti pri različitoj debljinji ozonskog omotača (Madronich i sar., 1998).

UV zračenje koje stiže do gornje granice atmosfere je u opsegu od 100 do 400 nm međutim do površine Zemlje stiže samo određena količina UV zračenja. Intenzitet ovog zračenja je označen sa $F(\lambda)$ i prikazan je na Slici 6. UV-C zračenje (100-280 nm) je u potpunosti apsorbovano atmosferskim kiseonikom i ozonom. Talasne dužine u UV-B (280-315 nm) opsegu su značajno, ali ne i u potpunosti apsorbovane ozonom, dok su talasne dužine u UV-A (315-400 nm) delu spektra slabije apsorbovane ozonom, pa samim tim mnogo lakše dospevaju na Zemljinu površinu. Može se zaključiti da je količina UV zračenja koje stigne na Zemljinu površinu u direktnoj vezi sa debljinom ozonskog omotača.

Spektar biološkog dejstva $B(\lambda)$ opisuje efikasnost UV zračenja određene talasne dužine da izazove biološki efekat na živi organizam. Određuje se u

laboratorijskim istraživanjima za različite biološke vrste i delove organizama. Ovaj spektar biološkog dejstva je definisan od strane Mek Kinija i Difija (*McKinley i Diffey, 1987*), i prihvacen je od strane CIE. Analitički oblik ove funkcije je:

$$B(\lambda) = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda < 298\text{nm} \\ 10^{0.094(298-\lambda)} & \text{za } 298\text{nm} < \lambda < 328\text{nm} \\ 10^{0.015(39-\lambda)} & \text{za } 328\text{nm} < \lambda < 400\text{nm} \\ 0 & \text{za } \lambda > 400\text{nm} \end{cases} \quad (2)$$

Uočava se da je vrednost funkcije $B(\lambda)$ jednaka jedinici za talasne dužine koje su manje od 298 nm, što znači da zračenje ovih talasnih dužina ima štetno biološko dejstvo i da će izlaganje organizma ovom zračenju sigurno izazvati negativne posledice. Na talasnim dužinama iznad 325 nm funkcija $B(\lambda)$ dostiže vrednosti bliske nuli, što označava da zračenje ovih talasnih dužina nije biološki štetno. Međutim, stvarni aktivni spektar zavisi i od sprektralne raspodele zračenja kojem se izlaže organizam. U slučaju kada spektar biološkog dejstva predviđa vrlo intenzivno negativno dejstvo do njega neće doći ukoliko ne postoji izloženost organizma zračenju. Isto tako, ako teorijski spektar predviđa slab uticaj zračenja, stvarni uticaj zračenja je pojačan ukoliko je intenzitet zračenja kojem je organizam izložen u toj oblasti talasnih dužina veliki. Spektar biološki aktivnog zračenja se dobija množenjem funkcija $F(\lambda)$ i $B(\lambda)$:

$$BA(\lambda) = B(\lambda) \cdot F(\lambda) \quad (3)$$

Maksimum ovog spektra se nalazi u intervalu talasnih dužina od 300 do 320 nm i većinom obuhvata oblast UV-B zračenja. Spektri tipa $BA(\lambda)$ spektra se nazivaju otežani spektri jer pored spektra zračenja iz određenog izvora zračenja uzimaju u obzir i njegovo biološko dejstvo (*Madronich i Flocke, 1997*).

Intenzitet zračenja u nekom intervalu talasnih dužina izražava se u mWm^{-2} što je fizička jedinica koja služi za izražavanje apsolutnih vrednosti intenziteta zračenja. Stoga, intenzitet UV zračenja (mWm^{-2}) se dobija integraljenjem funkcije raspodele zračenja u oblasti talasnih dužina od 280 do 400 nm, što ustvari predstavlja povšinu ispod krive $F(\lambda)B(\lambda)$.

$$I_{UV} = \int_{280}^{400} B(\lambda) F(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

Ovakav način prikazivanja intenziteta UV zračenja (mW m^{-2}) nije bio pogodan za informisanje javnosti niti za široku upotrebu, jer je neupućenima dobijena vrednost gotovo bila neupotrebljiva. Stoga je uveden UVI kao bezdimenziona veličina i izračunava se na sledeći način:

$$UVI = I_{UV} \cdot \frac{1000}{25} = I_{UV} \cdot 40 \quad (5)$$

Tabela 1. Podela intenziteta UV zračenja prema vrednosti UV indeksa.

UV indeks	NIVO ZRAČENJA
1-3	Nizak
3-5	Srednji
5-7	Visok
7-9	Veoma visok
>9	Ekstremno visok

Kako je uticaj UV zračenja na organizme kumulativan, osim intenziteta veoma je bitno i vreme izlaganja UV zračenju. Količina UV zračenja koju organizam primi u nekom vremenskom periodu je proizvod intenziteta zračenja i vremena izlaganja. Integracijom biološki aktivnog UV zračenja po vremenu izlaganja dobija se aktivna UV doza (D) koja se izražava u J m^{-2} :

$$D = \int \int B(\lambda) F(\lambda) d\lambda dt \quad (6)$$

Kada je reč o dejstvu UV zračenja na ljudsku kožu uveden je pojam Minimalna Eritemalna Doza (MED) koji predstavlja onu dozu zračenja koja izaziva crvenilo kože koja nije bila izlagana delovanju Sunca i zavisi od tipa kože. Vrednosti minimalne eritemalne doze za različite tipove kože nalaze se u Tabeli 2.

Tabela 2. Definicija fototipova kože za evropsku populaciju (*Vanicek i sar.*, 1999).

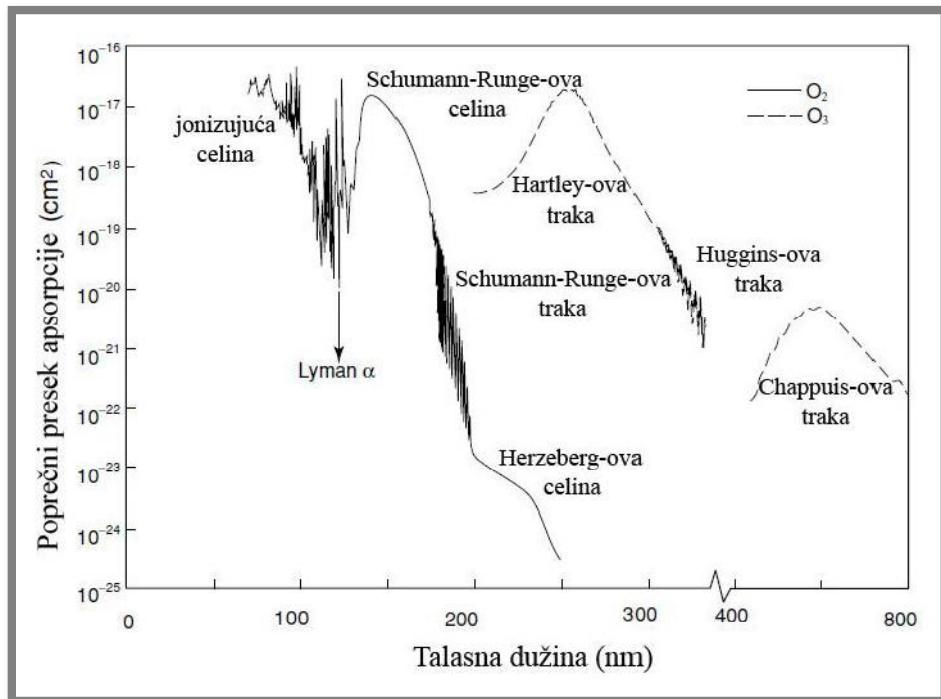
Fototipovi kože	I	II	III	IV
Stvaranje tena	nikad	ponekad	uvek	uvek
Opekotine od Sunca	uvek	ponekad	retko	nikad
Boja kose	crvena	plava	braon	crna
Boja očiju	plava	plava /zelena	siva/ braon	braon
1 MED	200 J/m ²	250 J/m ²	350 J/m ²	450 J/m ²

3.3. Faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja na Zemlji

Kvalitet i kvantitet ultraljubičastog zračenja na površini Zemlje zavisi od energije koja dolazi sa Sunca i transmitivnih osobina atmosfere. Podela najvažnijih faktora koji utiču na intenzitet UV zračenja koje stiže do površine Zemlje (u opsegu koji je relevantan za izračunavanje UV indeksa, od 280 do 400 nm) mogu se svrstati na sledeći način:

Molekularni azot. UV apsorpcioni spektar najzastupljenijeg gasa u atmosferi je talasnih dužina od 112 do 145 nm što predstavlja tzv. Lajmanova- Birge-Hopfeldova (Lyman-Birge-Hopfield) traka. U opsegu od 85 do 100 nm spektar azota se sastoji od traka čije vrednosti koeficijenta apsorpcije značajno osciluju. Za apsorpciju Sunčevog spektra od strane azota može se reći da je gotovo bezznačajna. Međutim, on je ipak značajan u apsorpciji UV zračenja jer disosuje, stupa u hemijske reakcije i na taj način postaje izvor drugih polutanata (HNO_2 , HNO_3) koji se takođe apsorbuju u UV oblasti.

Molekularni kiseonik. UV apsorpcioni spektar O_2 počinje sa slabom Hercbergovom (Herzberg) trakom čiji je opseg od 200 do 260 nm. Ova apsorpciona traka nema veliki značaj u apsorpciji međutim ima značajnu ulogu u stvaranju ozona. Pored Hercbergovog kontinuma se nalaze Šuman- Runge trake (Schumann-Runge) čiji je opseg od 175 do 200 nm. Na 175 nm trake konvergiraju u jači kontinuum disocijacije u kojem dolazi do pobuđivanja jednog od atoma kiseonika. Što čini Šuman-Runge kontinuum koji se proteže do 130 nm i predstavlja najvažniji apsorpcioni spektar O_2 . Ispod 102.6 nm, apsorpcija O_2 je u formi jonizujućeg kontinuma. Poprečni presek apsorpcije O_2 i O_3 po talasnim dužinama je prikazana na Slici 7.



Slika 7. Apsorpcioni poprečni presek ozona i molekularnog kiseonika u UV delu spektra (Liou, 1980).

Ozon. Apsorpcija UV zračenja od strane ozona je posledica elektronskih prelaza i u opsegu talasnih dužina od 200 do 300 nm je poznata kao Hartlijeve (Hartley) trake. Nešto slabija apsorpcija UV zračenja je između 300 i 360 nm što predstavlja Hugins (Huggins) traku (Liou, 1980). Ozon u potpunosti apsorbuje UV-C komponentu zračenja koja je najopasnija po živi svet, i većinu UV-B komponente, tako da je UV zračenje koje stiže do Zemlje je prevenstveno UV-A zračenje sa malim udelom UV-B zračenja.

Sloj ozona koji najvećim delom apsorbuje UV zračenje nalazi se na visini od 15 do 30 km i naziva se stratosferski ozon. Intenzitet UV zračenja zavisi od debljine i raspodele ozona. Naučnik koji se prvi bavio proučavanjem i merenjem debljine ozonskog omotača je G.M.B Dobson, po kome je i jedinica za izražavanje debljine ozona dobila naziv. Dobsonova jedinica DU (Dobson Unit) predstavlja debljinu ozonskog omotača kompresovanog na 1013 Pa pri temperaturi od 0 °C. Prema tome 1 DU predstavlja debljinu ozonskog omotača od 1 mm, te ukoliko je debljina ozonskog omotača 300 DU biosferu štiti sloj ozona debljine od svega 3 mm od štetnog UV zračenja.

Distribucija ozona je određena atmosferskim i hemijskim procesima. Vreme života ozona u nižoj stratosferi je do nekoliko meseci, ali lokalna debljina ozona se menja svakodnevno pod dejstvom stratosferskih vetrova. Proizvodnja ozona je velika u tropima, ali debljina ozonskog sloja je tu ipak mala zbog globalne atmosferske cirkulacije kojom se ozon transportuje ka većim geografskim širinama. Zbog globalne atmosferske cirkulacije debljina ozona raste sa povećanjem geografske širine. Promena količine ozona izražena je u srednjim geografskim širinama zbog povećane cirkulacije vazdušnih masa na nivou troposfera-stratosfera koja je izazvana razlikom temperature u zavisnosti od godišnjeg doba. Cirkulacija je najjača u zimskom periodu kada je smanjeno i solarno zračenje koje može da izazove razaranje ozona. To uzrokuje nagomilovanje ozona u stratosferi, pa je i tada debljina ozona maksimalna. Početkom proleća slabi atmosferska cirkulacija i povećava se solarno zračenje, što izaziva smanjenje debljine ozona. Smanjenje količine ozona traje do zime. Velike vrednosti debljine ozonskog omotača su od februara do juna, a male vrednosti od kraja septembra do januara.

Na Antarktiku se tokom zime, kada nema svetlosti u nižoj i srednjoj stratosferi, cirkumpolarnim vetrovima stvaraju oblasti sa izuzetno niskom temperaturom. Kada se temperatura u tim oblastima spusti ispod -80°C formiraju se polarni stratosferski oblaci sastavljeni od leda i azotne kiseline. Zbog već pomenute opšte cirkulacije vazduha, do polova dospevaju velike količine polutanata, pa se tu stvaraju i rezervoari hlora. Iako postoji velika količina supstanci koje utiču na razaranje ozona, do toga ne dolazi, jer je za početak fotohemijskih reakcija neophodna svetlost. Krajem polarne noći počinje razaranje ozona. Razaranje ozona traje svega do početka leta, kada počinje sinteza ozona. U periodu od početka razaranja do početka sinteze, debljina ozonskog omotača može da se smanji od 50 % do 90 %. Količina materija koje štetno utiču na razaranje ozona je povećano dejstvom antropogenih faktora čime je povećano i razaranje ozona. Shodno tome, kada se u toku leta vrši sinteza ozona, ne može da se sintetiše količina ozona koja bi mogla da nadoknadi njegov gubitak tokom zime.

Pored navedenih glavnih apsorbera UV zračenja u atmosferi postoje i drugi apsorberi prikazani u Tabeli 3. Pored apsorbera u tabeli su prikazani i efekti apsorpcije.

Tabela 3. Apsorberi UV zračenja.

Gas	(nm)	proizvodi
N ₂	<100	
O ₂	<245	2O
O ₃	180-350	O+O ₂
H ₂ O	<210	OH+O
H ₂ O ₂ (vod. peroksid)	<350	2OH
NO ₂ [*]	<600	NO+O
HNO ₂ (azotasta kis.)	<400	NO+HO ₂
HNO ₃ (azotna kis.)	<330	NO+OH
H ₂ CO (formaldehid)	250-360	H ₂ +CO
SO ₂	<340	SO+O
CFCl ₃ (freon)	<230	CFCl ₂ +Cl

Visina Sunca. Pojam visina Sunca se odnosi na visinu Sunca iznad horizonta. Umesto ove veličine veoma često se upotrebljava ugao Sunca meren u odnosu na normalu na Zemljinu površinu koji se naziva solarni zenitni ugao (Solar Zenith Angle - *SZA*) (Slika 8.). Za velike uglove elevacije zraci Sunca padaju pod velikim uglom u odnosu na površinu Zemlje. Tada je broj fotona koji dospeva na površinu Zemlje u jedinici vremena maksimalan, jer je prolazak kroz sloj apsorbera najkraći. Sunčeva elevacija pored toga što zavisi od doba dana zavisi i od geografske širine i datuma u godini. Najveći intenzitet UV zračenja je u letnjim mesecima oko podneva.

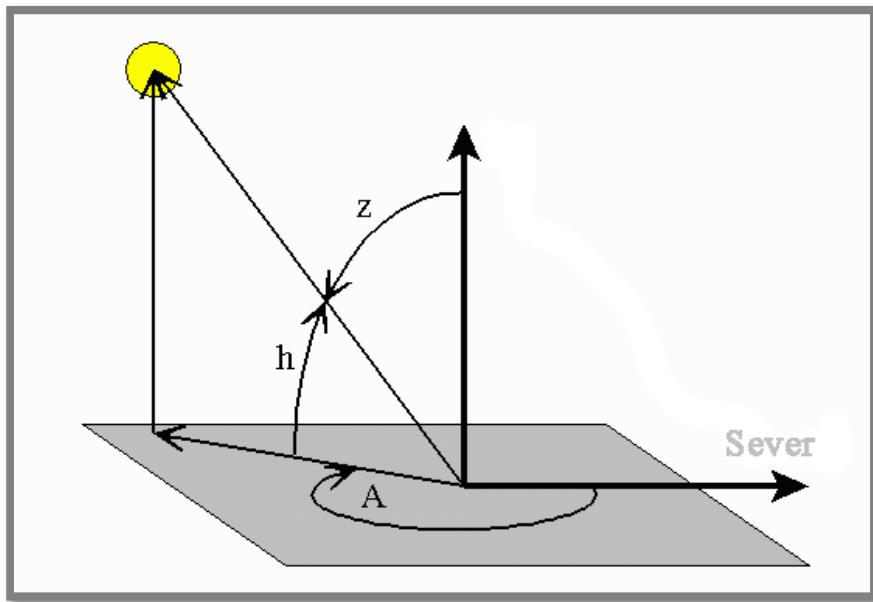
Zenitni ugao Sunca za tačku koja se nalazi na geografskoj širini ϕ i geografskoj dužini λ (koje su izražena u radijanima), za dan kada je deklinacija Sunca:

$$\delta_s = \phi_r \cos(2\pi d - d_r / d_z) \quad (7)$$

gde je $\phi_r = 23.45^\circ$, d je redni broj dana u godini, d_r dan letnjeg solsticija i d_z prosečan broj dana u godini, može da se izračuna iz jednačine oblike:

$$\sin\psi = \sin\phi \sin\delta_s - \cos\phi \cos\delta_s \cos(\frac{\pi t_{UTC}}{12} - \lambda) \quad (8)$$

gde je sa t_{UTC} označen vremenski trenutak za koji se računa zenitni ugao izražen u UTC (coordinated universal time).



Slika 8. Visina Sunca (h), azimutni ugao (A) i ugao elevacije (z). (NOAA, 2014)

Doba dana. Sunce je najviše na nebu oko podneva i tada Sunčevi zraci prelaze najkraći put kroz atmosferu pa je zbog toga količina dospelog zračenja najveća. Oko 20-30% ukupnog dnevnog UV zračenja dođe do površine oko jedan sat pre ili posle podneva, dok 75% između 9 h pre i 3 h posle podne.

Nadmorska visina. Intenzitet UV zračenja se povećava sa visinom jer se iznos apsorbera smanjuje sa visinom. Merenja pokazuju da se intenzitet UV zračenja povećava 6-8% na svakih 1000 m visine.

Rasejanje. Rasejanje je fizički proces u kojem čestica koja se nalazi na putu prostiranja elektromagnetskih talasa neprekidno izvlači energiju iz upadnog talasa i nanovo zrači tu energiju u svim pravcima. Sunčev zračenje je raspršeno na molekulima vazduha i ostalim česticama u atmosferi kao što su aerosoli i vodene kapljice, a zraci koji su barem jednom rasejani se nazivaju difuzni. Kada se u određenoj zapremini nalazi veliki broj čestica, svaka čestica rasejava i upadno zračenje i zračenje koje su rasejale druge čestice. Ovakvo rasejanje kod kog se zračenje rasejava više od jedanput, naziva se višestruko rasejanje.

Količina i smer rasejane svetlosti zavisi od dimenzija čestica na kojima su zraci rasejani, talasne dužine zraka i upadnog ugla svetlosti. Dimenzije čestica u atmosferi na kojima dolazi do rasejanja leže u opsegu od 10^{-4} m (molekuli gasa) do 10^{-12} m (krupne kapi kiše i grad). Relativni intenzitet prostorne raspodele rasejane

svetlosti zavisi od odnosa dimenzija čestice i talasne dužine zračenja, a kriva koja to pokazuje naziva se indikatrisa rasejanja. Mala čestica ima tendenciju da jednako rasejava svetlost kako unapred tako i unazad, dok se uvećanjem dimenzija čestice, rasejana energija sve više koncentriše u smeru unapred. Tako je svetlost rasejana na molekulama vazduha podjednako usmerena u oba smera dok je svetlost rasejana na krupnijim česticama kao što su aerosoli i oblačne kapi više usmerena unapred. Intenzitet zračenja rasejanog u nekom pravcu je obrnuto proporcionalan talasnoj dužini što znači da je udeo difuznog zračenja u ukupnoj UV oblasti veći nego u vidljivom delu spektra.

Da bi se opisala energija koju su čestice udaljile iz ulaznog snopa uvodi se termin poprečni presek ekstinkcije σ . Predstavlja sumu poprečnog preseka rasejanja i apsorpcije. Veličina je simetrična geometrijskoj površini i izražava se u jedinici površine. Pokazuje koliko ulazne energije udalji jedna čestica neke materije iz ulaznog snopa zračenja tako da se energija raspodeli izotropno po površini sfere.

Oblaci. Oblaci umanjuju Sunčeve zračenje na Zemljinoj površini iako promene u ultraljubičastom delu spektra nisu tako velike kao u ukupnom intenzitetu jer voda u oblacima mnogo više apsorbuje infracrveno od ultraljubičastog zračenja. Međutim, rizik od preteranog izlaganja štetnom UV zračenju može da bude povećan jer je pri oblačnom vremenu upozoravajući osećaj topote smanjen. U kojoj meri će oblaci umanjiti UV zračenje zavisi od vrste i debljine oblaka.

U okviru projekta COST-713 nalazi se preporuka za korekciju UV indeksa izračunatog pri vedrom nebu za vrstu i iznos oblaka množenjem vrednosti faktorima (Cloud Modification Factor - CMF) prikazanim u Tabeli 4. UV zračenje najviše mogu da umanje niski oblaci koji su najveće debljine. Ipak, čak i debeli oblaci ako su razbacani po nebu smanjuju UV zračenje manje od 10% dok vrlo debeli olujni oblaci mogu praktično u potpunosti da uklone UV zračenje, čak i leti. Oblaci male debljine (srednji) koji su razbacani po nebu jako malo umanjuju UV zračenje osim ako direktno ne pokrivaju Sunce, dok ukoliko je Sunce prekriveno ovom vrstom oblaka u potpunosti UV zračenje se umanjuje za oko jednu polovinu. Visoki oblaci skoro da nemaju uticaj na intenzitet UV zračenja.

Tabela 4. Faktor korekcije UV indeksa (Cloud Modification Factor - CMF) u prisustvu tri vrste oblaka za različite iznose oblačnosti izražene u osminama prekrivenosti neba (*Vanicek i sar.*, 1999).

Niski <3000		Srednji 3000-7000 m		Visoki >7000 m	
osmine	CMF	osmine	CMF	osmine	CMF
0-2	1	0-4	1.0	0-5	1.0
3-5	0.8	5-7	0.75	6-8	0.9
6-7	0.5	8	0.5		
8	0.2				

Oblaci mogu da i povećaju zračenje u UV-B oblasti tako da ono bude veće do 8% od istog pri vedrom nebu. Ovo je moguće zbog višestrukog rasejanja između viših i nižih oblaka, a efekat je naročito povećan kada je rasejanje unazad usmereno ka cirusima na višim visinama (*Sabburg i Wong*, 2000).

Refleksija sa površine. Iznos reflektovanog zračenja zavisi od osobina same podloge. Neke površine kao što su trava, zemlja i voda reflektuju manje od 10% upadnog zračenja, svež sneg oko 80 %, a čak do 95 % UV zračenja prodire u vodu dok 50 % dospeva do dubine od 3 m. Značajno je to da tokom proleća pri vedrom nebu sneg može povećati UV zračenje na nagnutim površinama i do letnjih vrednosti o čemu naročito treba voditi računa na većim geografskim širinama i nadmorskim visinama.

4. Instrumenti za merenje UV zračenja

Instrumenti za merenje UV zračenja se mogu svrstati u četiri kategorije: instrumenti širokog opsega, filterski radiometri, spektralni radiometri i dozimetri.

Instrumenti širokog opsega daju vrednost integrisanog spektra biološki aktivnog dejstva UV zračenja na ljudsku kožu u oblasti od 280 do 380 (290-400) nm. Ne obezbeđuju podatke o spektralnim vrednostima zračenja. UV zračenje izaziva fluorescenciju magnezijum volframa i instrument meri napon koji odgovara vrednosti zračenja koje dolazi do senzora, množi ga sa vrednostima biološki aktivnog spektra i takvu vrednost daju kao izlaznu. Kalibracioni faktor koji pretvara izmereni napon u odgovarajuću vrednost funkcije biološki aktivnog dejstva zavisi od Sunčevog zenitnog ugla i iznosa ozona iznad mesta merenja zbog zavisnosti vrednosti UV intenziteta od ovih parametara. Stariji modeli ovih instrumenata imali su problema sa merenjem UV indeksa pri niskim vrednostima debljine ozonskog omotača. U skorošnje vreme ova greška je otklonjena i razvijena je nova generacija širokoopsežnih instrumenata koji se danas široko upotrebljavaju (na primer YANKEE UVB1, SOLAR LIGHT 501 itd.). Prednost ovih instrumenata je jednostavnost, efikasnost i vremenska stabilnost.

Filterski radiometri uz pomoć ovih instrumenata moguće je meriti istovremeno nekoliko opsega talasnih dužina. Upotrebljavaju metalne filtere koji prenose zračenje u intervalima od nekoliko nanometara. Upotrebom više filtera moguće je meriti istovremeno nekoliko opsega talasnih dužina. Cena ovih instrumenata je relativno pristupačna i laki su za upotrebu. Nedostatak je to što filterima opada tačnost sa vremenom upotrebe. Kada se postave u senku mere iradijansu difuznog i direktnog zračenja.

Spektralni radiometri vrše spektralno razložena merenja unutar čitavog UV spektra što je značajno da bi se dobili odgovori na pitanja o hemijskom sastavu atmosfere. Na vrhu instrumenta se nalazi deo koji služi za prikupljanje zračenja različitih talasnih dužina. Razdvojeno zračenje se usmerava ka detektoru gde se zračenje pretvara u električni signal pomoću fotomultiplikatora. Najsavremeniji instrumenti koriste detektore u kombinaciji sa jednostrukim ili dvostrukim monohromatorima. Dvostruki monohromatori imaju prioritet jer imaju sposobnost da umanju doprinos rasejanih zraka susednih talasnih dužina u monohromatoru što bitno menja intenzitet radijacije unutar jedne talasne dužine pri talasnim dužinama manjim

od 320 nm. Ovim instrumentima treba nekoliko minuta da obave merenje i da uračunaju nepouzdanost nastalu zbog privremene promenjivosti zračenja (na primer pri prolazu oblaka). Spektralni instrumenti su dosta skuplji i u nabavci i pri upotrebi od prethodna dva i zahtevaju prisustvo visoko obučenih operatora.

Dozimetri mere aktivnu dozu zračenja koju primi određena površina u određenom periodu vremena. Koriste se u situacijama kada upotreba radiometara nije moguća. Obično se sastoje od malog senzora koji je napravljen od biološkog materijala. Osnovni nedostatak ovih instrumenata je što mogu da odrede samo dozu zračenja.

Osnova UV monitoringa su spektralni radiometri. Međutim ovi instrumenti su preskupi da bi se proizvodili i koristili u velikom broju. Zato su u širokoj upotrebi instrumenti širokog opsega koji se koriste zbog svoje jednostavnosti, vremenskog trajanja merenja i relativno niske cene.

Posle dužeg vremena upotrebe instrumenti pokazuju odstupanja od početnih karakteristika i potrebna je njihova kalibracija. Pored kalibracije za uređaje je bitna i interkomparacija koja se sastoji od poređenja rezultata dobijenih istovremenim korišćenjem različitih instrumenata kalibriranih na različite načine.

5. Modeli za prognozu intenziteta UV zračenja

Pored monitoringu vrednosti UVI potrebno je znati i vrednosti UVI za naredne dane. Poznavanje ovih vrednosti omogućava planiranje zaštite prilikom aktivnosti koje se odvijaju pod direktnim dejstvom UV zračenja. Za prognozu vrednosti UV indeksa koriste se modeli prenosa zračenja uz upotrebu prognoziranih vrednosti atmosferskih parametara. Evropska kooperacija na polju naučnih i tehničkih istraživanja (COST) klasifikovala je modele u tri grupe:

1) Modeli višestrukog rasejanja u obzir uzimaju višestruko rasejanje i u ovu grupu spadaju modeli: DISORT (DIScrete Ordinate Radiative Transfer) (*Stamnes i sar.*, 1988), GOMERTAN (*Rozanov i sar.*, 1997), SBDART (Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer) (*Stamnes i sar.*, 1988), STAR (System for Transfer Atmospheric Radiation) (*Ruggaber i sar.*, 1994, *Nakajima i Tanaka*, 1986), UVSPEC (*Kylling*, 1994; *Mayer i sar.*, 1997) i NEOPLANTA (*Malinović i sar.*, 2006)

2) Brzi spektralni modeli obuhvataju širok opseg različitih modela - od onih koji upotrebljavaju analitičke funkcije pa do onih koji uračunavaju doprinos višestrukog rasejanja. Neki od njih su: Difejev model (*Diffey*, 1977), Grinov model (*Green i sar.*, 1979), TUV (*Madronich*, 1993), SMARTS2 (*Gueymard*, 1995) i SPCTRAL2 (*Bird i Riordan*, 1986).

3) Empirijski modeli su zasnovani na analitičkim funkcijama dobijenim na osnovu veze merenih vrednosti UV i faktora koji utiču na njega. U Kanadskom empirijskom modelu (*Burrows i sar.*, 1994; *Vanicek*, 1997) osnovni faktori koji se uzimaju u obzir pri prognozi UVI su visina Sunca i sadržaj ozona u atmosferi, dok se efekti aerosola i albeda zanemaruju. Kao i Kanadskom modelu, tako i Švajcarskom (*Renaud i sar.*, 1997) uzimaju se u obzir samo visinu Sunca i debljinu ozonskog omotača.

6. Materijal i metode

6.1. Model NEOPLANTA

Numerički model NEOPLANTA (*Malinović, 2003*) izrađava unavaju intenzitet direktnog i difuznog UV zračenja kao i UV indeks pri uslovima bezoblačnog neba za opseg talasnih duflina od 280 do 240 nm sa rezolucijom od 1 nm. Model uključuje efekte O₃, SO₂, NO₂, aerosola i devet različitih tipova podloga (albedo) na UV zračenje. Pored izrađavanja trenutnih vrednosti zračenja za određeni solarni zenitni ugao, model daje vrednosti UV indeksa za celi dan u intervalu od pola sata od izlaska do zalaska Sunca.

U modelu NEOPLANTA atmosfera je podeljena u nekoliko paralelnih slojeva (maksimalno 40), za koje je prepostavljeno da su homogeni i vrednosti meteoroloških parametara u svakom pojedinačnom sloju su uzete za konstante. Vertikalna rezolucija modela je 1 km za visine ispod 25 km i 5 km iznad ove visine. Gornja granica najvišeg sloja u modelu je 100 km. Model sadrži podatke o vertikalnom profilu meteoroloških parametara standardne atmosfere, ali je moguće koristiti vrednosti koje su prognozirane pomoći u atmosferskog modela.

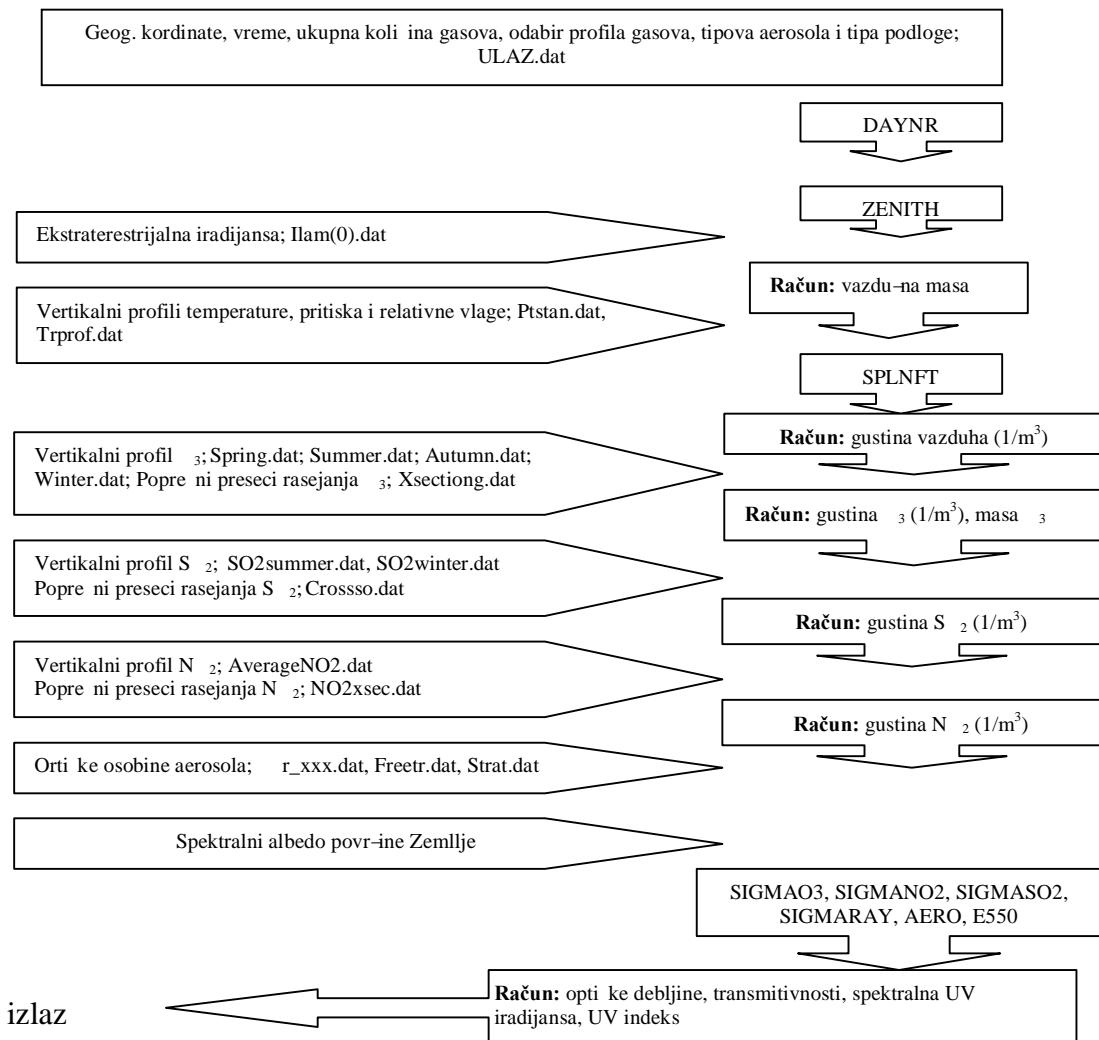
Potrebni ulazni parametri modela NEOPLANTA su geografske koordinate i vreme ili solarni zenitni ugao, uz nadmorsku visinu, spektralni albedo, i ukupna količina gasova. Model uključuje sopstveni vertikalni profil gasova, poprečne preseke ekstinkcije, intenzitet ekstraterestrijskog solarnog zračenja pomerenog ka duflim talasnim duflinama, optičke osobine aerosola za 10 različitih tipova aerosola i spektralni albedo za devet različitih vrsta podloga. Izlazi koji se dobijaju iz modela su intenzitet direktnog, difuznog i globalnog UV zračenja koji su podeljeni na UV-A (320-400 nm) i UV-B (280-320 nm) deo spektra, intenzitet biološki aktivno spektra, UV indeks, transmitivnost direktnog i difuznog zračenja i optička debljina atmosfere (*Malinović i sar., 2006*).

Kao što je već ranije pomenuto, 10 različitih smetača aerosola, koji se dobijaju iz OPAC (Optical Properties of Aerosols and Clouds) modela su dostupni u NEOPLANTA modelu. Ovi tipovi aerosola se razlikuju jedni od drugih po koeficijentu rasejanja i faktoru asimetričnosti. OPAC softver takođe daje optičke osobine aerosola gornje atmosfere koji reprezentuju osobine aerosola slobodne troposfere (planetarni granični sloj-12 km) i stratosfere (12-36 km). Vertikalna

distribucija aerosola je OPAC modelom predstavljena eksponencijalnim profilom. U proceni koliine aerosola u površinskom sloju NEOPLANTA daje jednu od sledećih opcija: upotreba skupova podataka sa prosečnom kolicinom aerosola, dobijenih OPAC modelom, korijenje koeficijenta zamske enosti izračunate po Angstromu (Angstrom, 1961), upotreba parametra vidljivosti i korijenje optičku debljinu aerosola na 550 nm (Mijatović i sar., 2010).

Struktura modela prikazana je u obliku blok-scheme (Slika 9.) (Malinović, 2003) i sastoji se od:

- Programa UV koji predstavlja osnovni program i sluffi za izračunavanje spektralne UV iradijanse, UV indeksa i učestovanja svih ulaznih podataka;
- Potprograma DAYNR koji na osnovu datuma računa redni broj dana u godini;
- Potrograma ZENITH koji na osnovu datuma, vremena i geografskih koordinata računa Sunčev zenithni ugao;
- Potprograma SPLNFT koji uz pomoć splajn (spline) metoda interpoliše vrednosti ulaznih vrednosti meteoroloških elemenata na srednju visinu svakog sloja;
- Potprograma SIGMAO3 koji vrši linearnu interpolaciju poprečnih preseka apsorpcije ozona na srednju temperaturu svakog sloja za bilo koju talasnu duflinu;
- Potprograma SIGMAO2 koji vrši linearnu interpolaciju poprečnih preseka apsorpcije SO₂ na srednju temperaturu svakog sloja za bilo koju talasnu duflinu;
- Potprograma SIGMRAY koji izračunava poprečni presek ekstinkcije molekula vazduha;
- Potprograma e550 koji na osnovu optičke debljine aerosola na 550 nm iz baze podataka trafi odgovarajući koeficijent ekstinkcije;
- Potprograma AERO koji na osnovu izabranog tipa aerosola učita datoteku sa optičkim osobinama; na osnovu relativne vlastnosti u svakom sloju u ulaznom skupu podataka linearnom interpolacijom određuje koeficijent ekstinkcije aerosola, albeda jednostrukog rasejanja i koeficijent asimetrije za svaku talasnu duflinu; izračunava Angstromov koeficijent .



Slika 9. Blok-sema koda modela NEOPLANTA (Malinović, 2003)

6.2. Razvoj empirijskog modela (*Allaart i sar.*, 2004) za predviđanje UV indeksa pomoću solarnog zenitnog ugla i debljine ozonskog omotača

Razlog kreiranja empirijskog modela za izračunavanje UVI je da bi se on koristio kao jednostavan alat za operativnu prognozu UVI. Najjednostavniji metod za dizajniranje ovakvih modela je da se koristi jedna ili regresije, koja je dobijena uklapanjem osmotrenih vrednosti UVI za ograničen niz atmosferskih parametara. Ovaj metod vodi poreklo od Kandaskog empirijskog modela (Burrows i sar., 1994), koji je efikasan, lagan je za korištenje i ima optimalnu prihvatanost (Austin i sar., 1994). Jedna ili Burrows i sar. (1994), je međutim ograničena na određeni opseg vrednosti zenitnog ugla Sunca (SZA) i ne prikazuje merenja uzeta sa tropske stanice.

Iz tog razloga *Allaart i sar.* (2004) su izveli revidiranu regresionu formulu koja važi od $0^0 < SZA < 90^0$ i veliki opseg vrednosti debljine ozonskog omotača.

Empirijski model razvijen od strane *Allaart i sar.* (2004) izračunava UVI pri bezoblačnom nebu kao funkciju dve lako predvidive veličine: solarni zenitni ugao i debljina ozonskog omotača. Ova funkcija je izvedena uklapanjem merenja debljine ozonskog omotača, zenitnog ugla i UVI sa dva instrumenta, jednog postavljenog u srednjim geografskim širinama i jednog u tropskim. Ovakav oblik funkcije je odabran da bi se reprezentovala fizička osnova problema. Ova nova funkcija daje dobre rezultate za sve zenitne uglove između 0^0 i 90^0 i širok opseg vrednosti ukupnog ozona.

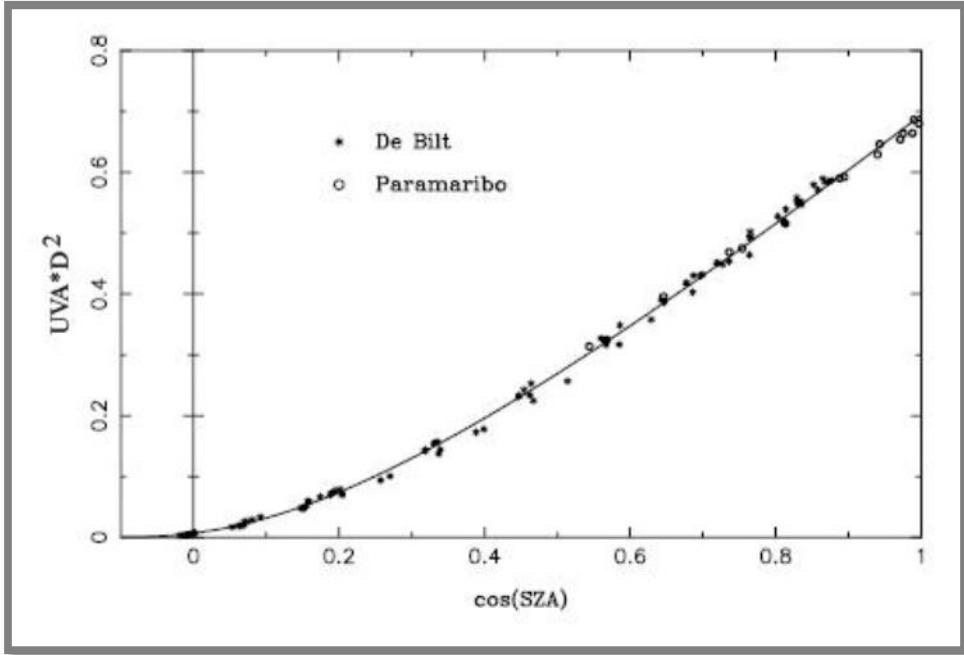
Prilikom izvođenja formule korišćeni su podaci iz dva MKIII Brever (Brewer) spektrometra. Brever spektrometar je dupli monohromator za UV talasne dužine. Instrumenti su locirani u De Bilt (visoke srednje geografske širine) i Paramaribo (tropske). Dobijene vrednosti UVI će dalje biti uklopljene sa izmerenim vrednostima debljine ozonskog omotača i *SZA*. Da bi uklapanje bilo što lakše i da bi se održala jasna fizika problema za početak će biti razmatrana atmosfera bez ozona.

U slučaju atmosfere bez ozona, UVI će zavisiti prevenstveno od *SZA* i rastojanja Zemlje od Sunca. Predstavnik UVI u ovom slučaju će biti ‘UVA’ što predstavlja osmatrani Brever spektar pomnožen sa otežanom funkcijom koja je različita od nule u oblasti spektra gde apsorpcija ozona nije značajna. (Korišćena je otežana parabolična funkcija sa pikom na 350 nm, različita je od nule između 340 i 360 nm.)

Ukoliko bi difuzna svetlost dala neznatan doprinos merenjima UVA, sledeća zavisnost bi bila razumna aproksimacija:

$$UVA = \frac{D_0}{D}^2 * S_0 * \mu_0 * \exp - \frac{\tau_a}{\mu_0} \quad (9)$$

gde je D distanca između Sunca i Zemlje, D_0 je prosečna distanca, $\mu_0 = \cos(SZA)$, S_0 je ekstraterestrijalna vrednost za *UVA* kada je $D = D_0$, i τ_a je atmosferska ekstinkcija (molekularna difuzija i ekstinkcija aerosola) za *SZA* = 0.



Slika 10. $UVA \times D^2$ kao funkcija $\cos(SZA)$ gde simboli označavaju merenja, kriva pokazuje fitovanje. (Allaart i sar., 2004)

Slika 10. pokazuje da je za $\cos(SZA) = 0$, UVA još uvek iznad nule. Što ukazuje na to da rasejana svetlost očigledno igra značajnu ulogu. Da bi se to uzelo u obzir dodato je malo odstupanje ‘ ε ’ za μ :

$$\mu_x = \mu_0 * 1 - \varepsilon + \varepsilon \quad (10)$$

Jednačina (9) sada postaje:

$$UVA = \frac{D_0}{D}^2 * S * \mu_x * \exp \left(-\frac{\tau}{\mu_x} \right) \quad (11)$$

Pri selekciji podataka za uklapanje uzeti su samo oni podaci pri bezoblačnom danu. Za De Bilt uzeta su četiri najsvetlijia dana od proleća do leta 2000 (10. april, 14. maj, 8. jun, 17. jun). Za Paramaribo samo jedan bezoblačan dan je bio zabeležen (17. Septembar 1999). Ograničen broj podataka nije problem jer UVA ne zavisi od debljine ozonskog omotača dok su vrednosti SZA prisutne u podacima.

Jednačina (11) sadrži parametre koji su određeni korišćenjem nelinearne tehnike uklapanja (MRQMIN, Press i sar. 1986). Vrednosti uklapanja su sledeće:

$$S = 1.24 \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0.17$$

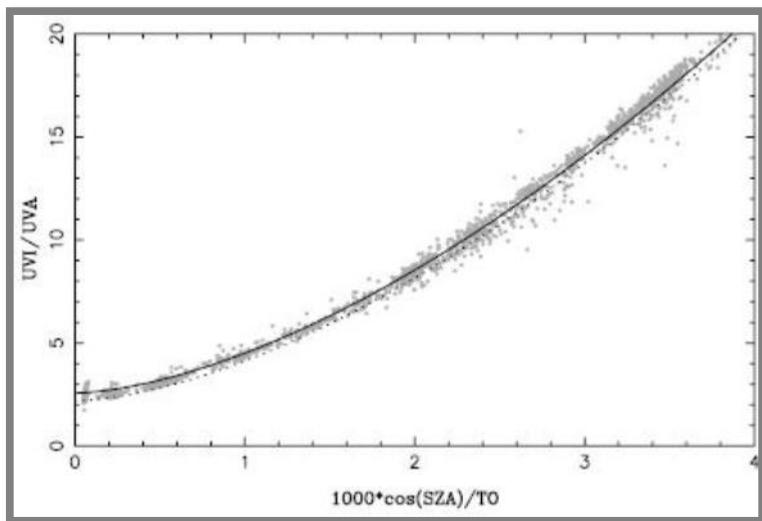
$$\tau = 0.58$$

Prilikom uklapanja koje je predstavljeno krivom na Slici 10. dobijena je vrednost metoda najmanjih kvadrata od $0.009 \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$.

Sledeći korak je bio da se izrazi UVI u funkciji UVA, μ_0 i debljine ozonskog omotača (TO). Pretpostavka prvog reda je da će ekstinkcija zavisiti prevenstveno od količine ozona duž linije od Sunca do stanice (u prvoj aproksimaciji TO/μ_0). Biće korišćen sledeći prediktor:

$$X = 1000 * \frac{\mu_0}{TO} \quad (12)$$

U ovom slučaju veliki skup podataka je neophodan jer se zahteva obiman opseg za TO i SZA vrednosti. U ovom primeru korišćeni su svi podaci UVI za bezoblačno nebo dobijeni Brever spektrometrom za De Bilt za period april- septembar 2000., što je ukupno iznosilo 510 merenja. Takođe su korišćena sva merenja UVI za Paramaribo tokom 1999. godine, izostavljeni su samo podaci UVA gde su odstupanja uklapanja bila veća od 10 % , tako da je ostalo 476 dostupnih merenja.



Slika 11. UVI kao funkcija UVA, SZA i TO . Puna linija predstavlja fit pri debljini ozona od 280 DU, isprekidana linija pokazuje fit pri debljini od 450 DU dok su simbolima prikazani svi korišćeni podaci za uklapanje. (Allaart i sar., 2004)

Simboli na Slici 11. pokazuju vrednosti $\frac{UVI}{UVA}$ kao funkciju od X . Javlja se zavisnost u obliku stepene funkcije, iako slaba zavisnost sa TO još uvek postoji. Uklapane su sledeće funkcije:

$$\frac{UVI}{UVA} = F * X^G + \frac{H}{TO} + J \quad (13)$$

gde je parametar J uključen u slučaju kada su vrednosti UVI različite od nule, a pri čemu je X nula i H predstavlja malu direktnu zavisnost sa ozonom. Ponovo je korišćen MRQMIN algoritam (*Press i sar.* 1986). Rezulati su:

$$F = 2.0$$

$$G = 1.62$$

$$H = 280.0$$

$$J = 1.4$$

Prilikom uklapanja prikazanom na Slici 11. dobijena je greška najmanjeg kvadrata od 0.20. Na osnovu jednačine (13) moguće je izračunati vrednost UVI u funkciji debljine ozonskog omotača i solarnog zenitnog ugla. Ova jednačina je korišćena za dobijanje rezultata opisanih kasnije u radu.

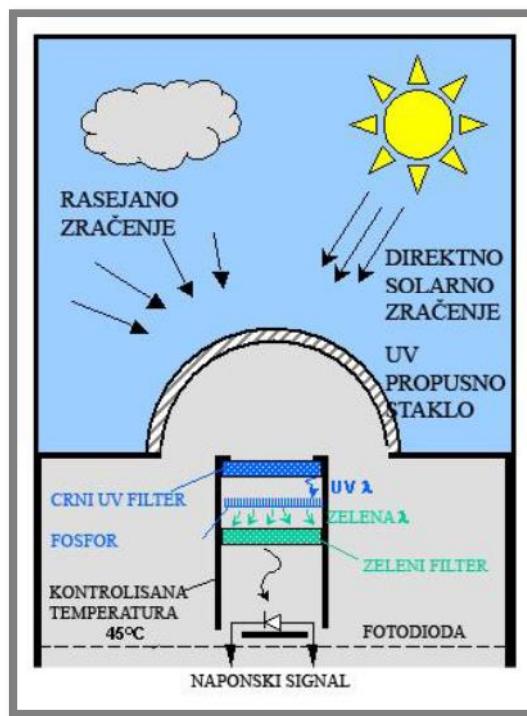
6.3. Monitoring intenziteta UV zračenja i debljine ozonskog omotača u Novom Sadu

6.3.1. Monitoring intenziteta UV zračenja u Novom Sadu

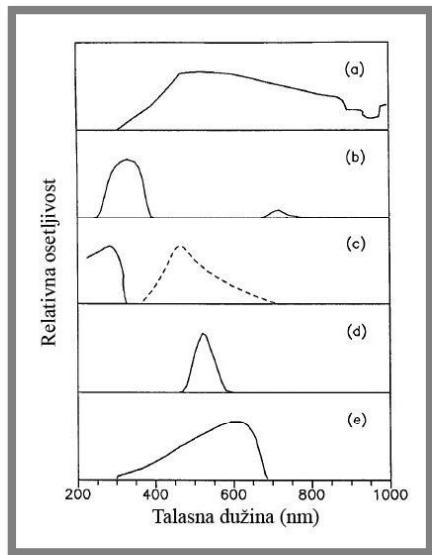
Kontinuirana merenja intenziteta UV zračenja u našoj zemlji vrše se od aprila 2003. godine. Instrument pomoću koga se vrše merenja spada u grupu UVB-1 piranometara i proizvođač mu je Yankee Environmental Systems, Inc. Stoga se vrlo često kraće naziva Yankee. (Slika 12.). Spada u grupu širokopojasnih detektora i meri globalno UV-B zračenje u oblasti talasnih dužina od 280 do 320 nm. Postavljen je na zgradu Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu na nadmorskoj visini od 84 m, geografskoj širini 45.3 N i geografskoj dužini 19.8 E. Merenja se vrše automatski na svakih 30 sekundi, a vrednosti se mogu naći na sajtu www.cmepr.rs gde se mogu pogledati srednje, maksimalne i minimalne vrednosti u proteklih 10 minuta.

6.3.1.1.Princip rada YANKEE UVB-1 detektora

Sunčev zračenje, i direktno i difuzno, prolazi kroz propusnu spoljašnju kupolu od kvarca. Spektar tog zračenja je prikazan na Slici 13a. Propušteno zračenje dospeva do predfiltera napravljenog od crnog stakla, prečnika 25 mm i debljine 1.6 mm. Ovaj filter propusta oko 80 % upadnog UV-B zračenja i veoma malo vidljive crvene svetlosti talasne dužine oko 750 nm (Slika 13b). Zračenje koje prođe kroz predfilter pada na sloj $MgWO_4$ (fuorscentni neorganski fosfor-magnezijum volfram(IV) oksid) koji se nalazi ispod filtera. $MgWO_4$ rasejava crvenu svetlost i apsorbuje UV-B zrake nakon čega ih ponovo emituje u vidljivoj zelenoj oblasti (Slika 13c). Drugi filter od zelenog stakla, prečnika 25 mm i debljine 2.5 mm, propušta zelenu svetlost do fotodiode i apsorbuje crvenu svetlost propuštenu predfilterom (Slika 13d). Fotodioda je sačinjena od galijum arsen fosfora. Maksimalna osetljivost joj je u oblasti zelene svetlosti, koja rapidno opada sa porastom talasnih dužina (Slika 13e). Izlazna struja fotodiode proporcionalna je iznosu apsorbovanog UV-B zračenja. Signal sa fotodiode se dalje vodi na pojačivačku elektroniku tako da je konačni izlazni signal naponski.

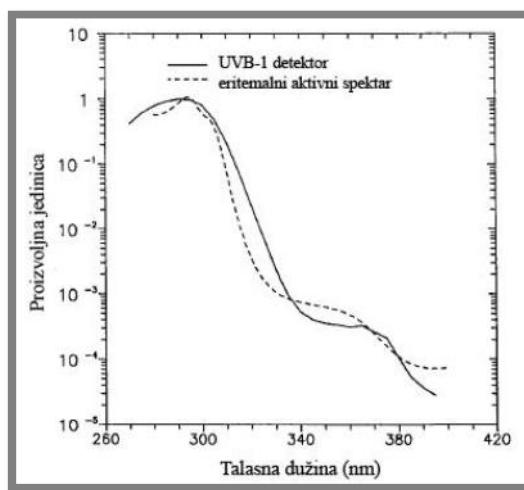


Slika 12. Blok šema YANKEE UVB-1 detektora (Dichter i sar., 1992.).



Slika 13. Relativna osetljivost pojedinačnih elementa YANKEE UVB-1 detektora
(Dichter i sar., 1992.).

Kako se ovaj detektor prevenstveno koristi za određivanje eritemalnog UV zračenja neophodno je naglasiti da se spektralni odgovor UVB-1 detektora malo razlikuje od eritemalnog aktivnog spektra. Razlika je prikazana na Slici 14. Zbog postojanja ove razlike koristi se konverzionalni faktor kojeg daje proizvođač. Po proizvođaču greška merenja je $\pm 5\%$ od idealnog kosinusnog odgovora. UVB-1 detektor je preko odgovarajućeg A/D konvertora povezan sa računarom koji upravlja merenjima (Dichter i sar., 1992.).



Slika 14. Razlika između eritemalnog spektra i spektra UVB-1 detektora (Dichter i sar., 1992.).

6.3.2. Monitoring ozona u Novom Sadu

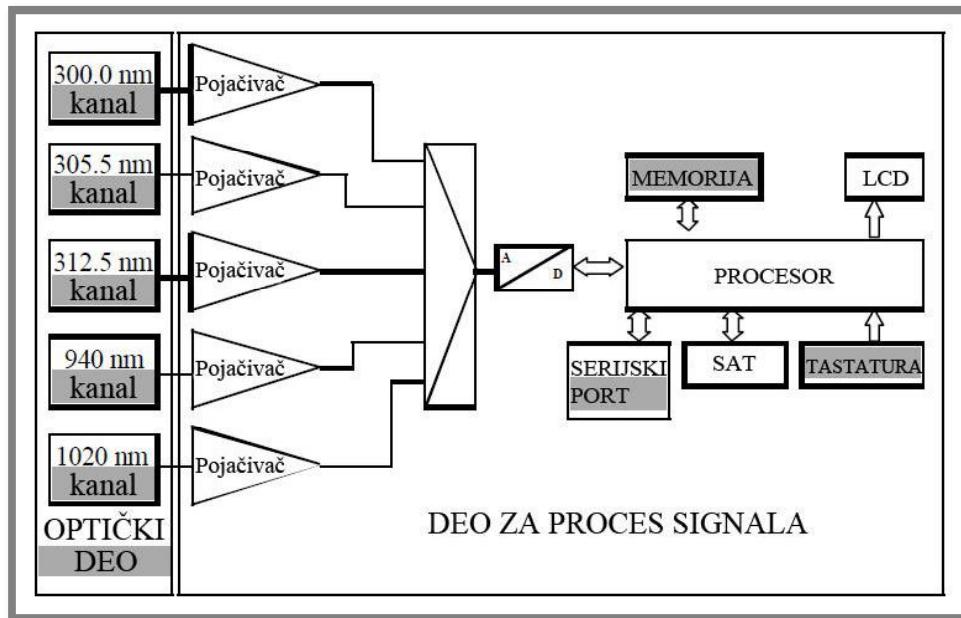
Kontinuirana merenja debljine ozonskog omotača u Srbiji se vrše od avgusta 2007. godine što su ujedno i jedina merenja ovog tipa u Srbiji. Merenja se vrše na Departmanu za Fiziku, Prirodno-matematički fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, instrumentom Solar Light Co, MICROTOPS II. Princip merenja je u pronalaženju odnosa apsorpcije UV zračenja od Sunca na tri različite talasne dužine: 305 nm, 312 nm i 320 nm. Merenja debljine ozonskog omotača se vrše svakodnevno oko podneva samo u slučaju bezoblačnih dana.

6.3.2.1. Princip rada MICROTOPS II instrumenta

Instrument MICROTOPS II je opremljen sa pet precizno postavljenih optičkih kolimatora, sa vidnim poljem od 2.5^0 . Unutrašnje pregrade su takođe ugrađene u uređaj, kako bi eliminisale unutrašnju refleksiju. Svaki kanal sadrži filter uskog opsega i fotodiodu pogodnu za odgovarajući opseg talasnih dužina. Kolimatori su radi stabilnosti hermetički zatvoreni u aluminijumski kalup optičkog bloka.

Sunčeva 'meta' i sklop za nišanje su pričvršćeni na optički blok i laserski podešeni radi osiguranja preciznog poravnanja sa optičkim kanalom. Kada je Sunčev lik usmeren ka centru 'mete', svi optički kanali su usmereni ka solarnom disku. Mala količina cirkumsolarnog zračenja takođe biva 'uhvaćena', ali ne doprinosi velikoj promeni signala.

Zračenja koje je uhvaćeno kolimatom i uskopojasnim filterom osvetljava fotodiode koje pretvaraju optički signal u električni, proporcionalan intenzitetu zračenja. Ovi signali se najpre pojačavaju, a potom konvertuju u digitalni signal pomoću A/D konvertora visoke rezolucije. Signali iz fotodiode se obrađuju u serijama. Konverzija se vrši brzinom od dvadeset konverzija po sekundi, tako da se zbog velike brzine može smatrati da se rezultati čitaju istovremeno (Slika 15.).



Slika 15. Struktura MICROTOPS II instrumenta (*Morys i Anderson, 2001*).

Sloj ozona koji se nalazi u stratosferi je od velike važnosti za život na Zemlji. Talasi manjih talasnih dužina, iz opsega UV zračenja, se mnogo lakše apsorbuju u atmosferi u odnosu na deo opsega UV zračenja većih talasnih dužina. To ukazuje na činjenicu da je količina ozona između osmatrača i Sunca proporcionalna odnosu dveju talasnih dužina ultraljubičastog zračenja sa Sunca. MICROTOPS II koristi tu vezu za dobijanje ukupne vertikalne raspodele ozona, na osnovu merenja intenziteta zračenja na tri talasne dužine iz UV opsega. Slično kao kod tradicionalnog Dopsoneovog instrumenta, merenja na dodatnoj trećoj talasnoj dužini omogućavaju ispravke partikulare disperzije i 'zalutalih' zraka (*Morys i Anderson, 2001*).

7. Rezultati i diskusija

U radu su testirane UVI vrednosti dobijene empirijskim modelom *Allaart i sar.* (2004) i modelom NEOPLANTA. Vrednosti dobijene ovim modelima su poređene sa izmerenim vrednostima UVI u Novom Sadu (45.3N i 19.8E). Kao ulazni parametar u ovim modelima korišćena je debljina ozonskog omotača merena na istom mernom mestu (Tabela 5.) U modelu NEOPLANTA su za vrednosti optičke debljine aerosola, visinu planetarnog graničnog sloja i vertikalne profile meteoroloških veličina korišćene standardne vrednosti.

Kao što je već rečeno izmerene vrednosti UVI u Novom Sadu se dobijaju na svakih 30 sekundi pomoću UVB-1 detektora. Ove vrednosti se usrednjavaju u interval od 10 min i upisuju u bazu podataka. Iako su bile dostupne desetominutne izmerene vrednosti korišćene su polučasovne vrednosti UVI radi jednostavnijeg poređenja sa polučasovnim vrednostima UVI dobijenih upotrebom modela NEOPLANTA.

Posmatrane vrednosti UVI su podeljene na godišnja doba zbog značajne promene vrednosti UVI tokom godine. Za svako godišnje doba, slučajnim odabirom, izabrano je po pet dana iz vremenskog niza od osam godina (2007-2015) (Tabela 6.). Potrebno je istaći da su korišćeni samo bezoblačni dani, jer su vrednosti UVI dobijeni upotrebom modela validni samo za takve dane.

Tabela 5. Debljina ozonskog omotača (DU) za korišćene dane

Dan	Debljina ozonskog omotača (DU)
15.10.2007	279.4
16.10.2007	302.8
17.10.2007	280.5
08.11.2013	161.7
19.11.2009	252.6
29.01.2010	357.7
31.01.2012	222.1
07.02.2011	315.3
08.02.2011	310.8
10.02.2011	299.5
09.04.2009	376.8
15.04.2009	386.8
26.04.2011	371.8
11.05.2009	313.3
19.05.2009	346.1
01.07.2013	376.2
02.07.2012	416.1
03.07.2012	348.9
14.07.2009	325.8
21.07.2009	360.6

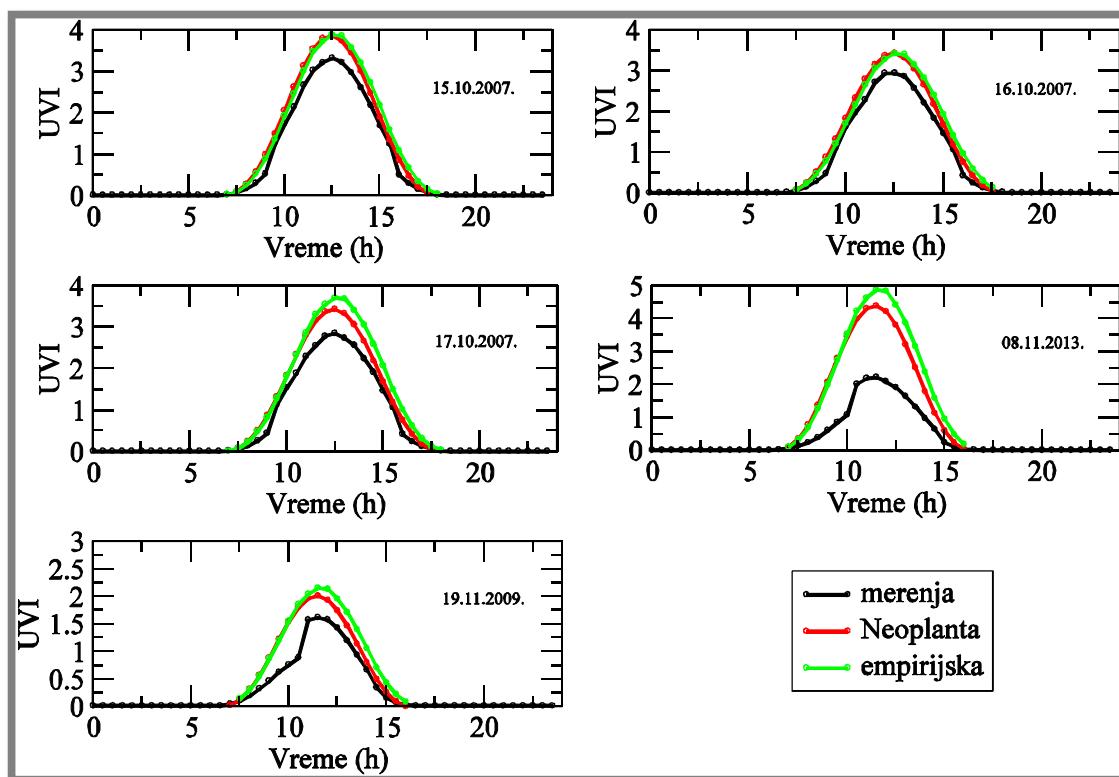
Tabela 6. Dani korišćeni pri testiranju modela

Jesen (23.09.-22.12.)	Zima (22.12.-21.03.)	Proleće (21.03.-22.06.)	Leto (22.06.-23.09.)
15.10.2007	29.01.2010	09.04.2009	01.07.2013
16.10.2007	31.01.2012	15.04.2009	02.07.2012
17.10.2007	07.02.2011	26.04.2011	03.07.2012
08.11.2013	08.02.2011	11.05.2009	14.07.2009
19.11.2009	10.02.2011	19.05.2009	21.07.2009

7.1. Poređenje vrednosti UVI dobijenih iz modela sa izmerenim vrednostima za svako godišnje doba

Polučasovne vrednosti UVI za 5 dana, za 4 godišnja doba izračunate primenom 2 modela, NEOPLANTA i empirijskog, kao i izmerene vrednosti UVI su

predstavljene grafički i analizirana je njihova podudarnost za svako godišnje doba. Tako su na Slici 16. prikazane polučasovne vrednosti UVI računate modelom NEOPLANTA i empirijskim modelom zajedno sa izmerenim vrednostima za 5 jesenjih dana. Može se uočiti da su za dane 15.10.2007. i 16.10.2007. slaganja vrednosti UVI dobijenih modelom NEOPLANTA i empirijskim modelom prilično dobra, dok su za 17.10.2007., 08.11.2013 i 19.11.2009. ta slaganja nesto lošija.



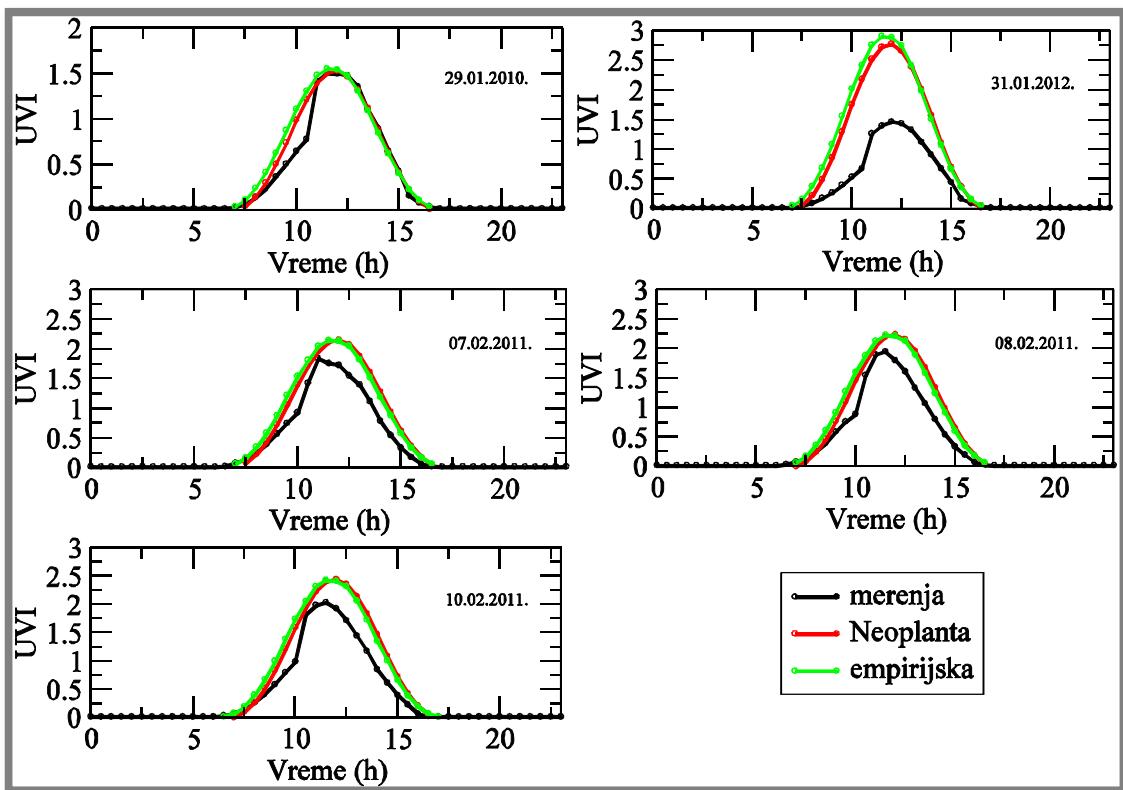
Slika 16. Vrednosti UVI za pet jesenjih dana dobijene merenjima, NEOPLANTA modelom i empirijskim modelom.

U najvećem broju slučajeva vrednosti UVI dobijene iz modela su bliže međusobno nego sa izmerenim vrednostima. Posebno se može izdvojiti 08.11.2013. kada je uočeno značajno odstupanje vrednosti UVI dobijenih modelima od izmerenih vrednosti. Uzrok neslaganja je veoma mala debljina ozonskog omotača koja je za taj dan iznosila svega 161.7 DU. (Tabela 5.) Ove niske vrednosti debljine ozonskog omotača su posledica specifičnih pojava koje se javljaju tokom jeseni i zime na umerenim geografskim širinama severne i južne hemisfere, odnosno mini ozonskih rupa.

Termin mini ozonska rupa je izведен iz poređenja sa antarktičkim ozonskim rupama. Međutim, mini ozonske rupe se u osnovi razlikuju od antarktičkih ozonskih rupa. One su znatno manje od antarktičkih ozonskih rupa kada se posmatra oblast koju prekrivaju. Dok su antarktičke ozonske rupe uzrokovane velikim koncentracijama hlora i brom-a nastalim iz veštačkih hemikalija, mini ozonske rupe predstavljaju prirodni fenomen koji je izazvan određenim vremenskim obrascima. Ozon kod antarktičkih ozonskih rupa nepovratno nestaje usled veštačkih hemijskih jedinjenja, dok kod mini ozonskih rupa dolazi do neravnomjerne distribucije ozona usled određenih vremenskih sistema, ali nakon njihovog prolaska dolazi do ponovnog uravnoteženja koncentracije ozona (*NASA Ozone Watch*, 2013). Neki od mehanizama koji utiču na formiranje mini ozonskih rupa su kretanje vazdušnih masa u oblastima koje imaju različit koeficijent mešanja ozona kao i lokalno vertikalno adijabatsko premeštanje izentropa. Učestalost pojava mini ozonskih rupa zavisi od njihove definicije. Ukupna količina ozona u srednjim geografskim širinama ima značajne sezonske varijacije sa najnižim vrednostima u jesen. Najčešće su minimalne vrednosti ukupne količine ozona dostignute tokom novembra i decembra (*Koch i sar.*, 2005). Ukoliko je vrednost debljine ozonskog omotača 220 DU na oblasti većoj od 500000 km² može se reći da se radi o mini ozonskoj rupi (*Bojkov i Balis*, 2001).

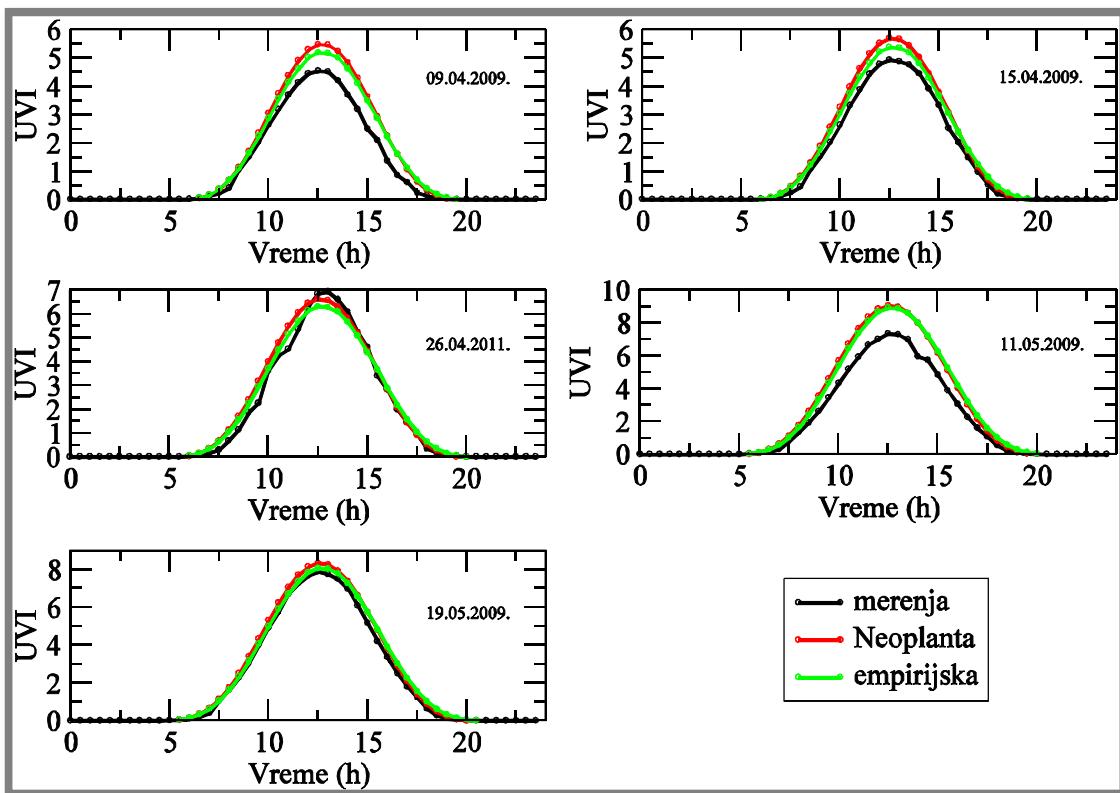
U slučaju da su u modelu NEOPLANTA uzete vrednosti optičke debljine aerosola i sadržaja vode kao promenljive, a ne standardne vrednosti bila bi dobijena znatno bolja poklapanja vrednosti UVI dobijenih ovim modelom sa izmerenim vrednostima UVI (*Mijatović i sar.*, 2010). Međutim, odlučeno je da se uzme model NEOPLANTA u ovom obliku zbog jednostavnije upotrebe i nedostatka ulaznih podataka.

Vrednosti UVI za zimski period dobijene primenom NEOPLANTA i empirijskog modela su međusobno poređeni, kao i sa izmerenim vrednostima (Slika 17.).



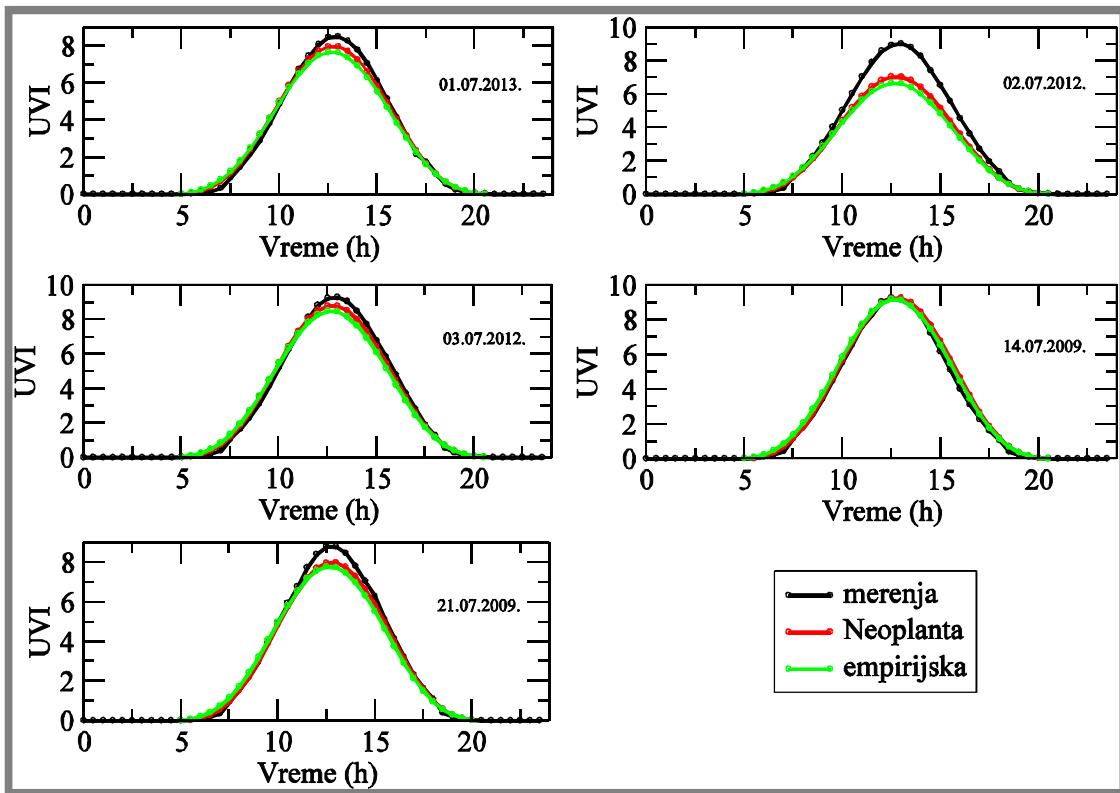
Slika 17. Vrednosti UVI za pet **zimskih dana** dobijene merenjima, NEOPLANTA modelom i empirijskim modelom.

Može se uočiti značajno podudaranje vrednosti UVI dobijenih pomoću oba modela za sve dane, dok je nešto slabije podudaranje sa izmerenim vrednostima. Razlog ovog odstupanja može se naći ukoliko se posmatraju vrednosti debljine ozonskog omotača za te dane (Tabela 5.). Naime, ukoliko je debljina ozonskog omotača veća odstupanja su manja i obrnuto. Ako je debljina ozonskog omotača izuzetno mala, svega 222.1 DU što je bio slučaj na dan 31.01.2012. odstupanja dobijenih vrednosti iz modela u odnosu na izmerene vrednosti su izrazito velika. Ovo se takođe može objasniti pojavom mini ozonskih rupa. Međutim, treba naglasiti da ukoliko je sama vrednost UVI niska, odstupanja dobijenih vrednosti UVI iz modela od izmerenih vrednosti nisu tako jako velika za razliku od dana kada je vrednost UVI značajno viša. Ovo se može ilustrovati poređenjem dana 8.11.2013 (Slika 16.) i 31.1.2012 (Slika 17.).



Slika 18. Vrednosti UVI za pet **prolećnih dana** dobijene merenjima, NEOPLANTA modelom i empirijskim modelom.

Slika 18. ilustruje vrednosti UVI za pet prolećnih dana dobijene modelom NEOPLANTA, empirijskim modelom i merenjima. Prilikom poređenja ovih rezultata može se zapaziti da je izuzetno slaganje vrednosti UVI dobijenih NEOPLANTA modelom, empirijskim modelom i merenjima na dan 26.04.2011. i 19.05.2009., dok je nešto slabije za dane 09.04.2009. i 15.04.2009. Najmanje slaganje između dobijenih vrednosti UVI modelima u odnosu na izmerene vrednosti je bilo na dan 11.05.2009. kada je i debljina ozonskog omotača bila najmanja.



Slika 19. Vrednosti UVI za pet letnjih dana dobijene merenjima, NEOPLANTA modelom i empirijskim modelom.

Na Slici 19. su prikazane vrednosti UVI za pet letnjih dana dobijene NEOPLANTA modelom, empirijskim modelom i merenjem. Uočava se značajno podudaranje rezultata dobijenih na sva tri načina za dane 01.07.2013., 03.07.2012. i 14.07.2009. pri čemu je najbolje poklapanje za poslednji dan u nizu (14.07.2009.). Manje odstupanje vrednosti UVI dobijenih modelima NEOPLANTA i empirijskim u poređenju sa izmerenim vrednostima javlja se za dan 21.7.2009. Najveće odstupanje vrednosti izračunatih NEOPLANTA i empirijskim modelom u poređenju sa izmerenim vrednostima je bilo 02.07.2012. kada je debljina ozonskog omotača bila znatno veća u odnosu na ostale dane, i iznosila je 416.1 DU (Tabela 5.). Treba napomenuti da su ova odstupanja takva da su dobijene vrednosti iz modela niže od izmerenih vrednosti što nije bio slučaj prilikom posmatranja vrednosti UVI tokom ostalih godišnjih doba. Ovo se može objasniti većom debljinom ozonskog omotača za letnje dane u odnosu na druga godišnja doba.

7.2. Poređenje vrednosti UVI dobijenih iz modela i izmerenih vrednosti za sva godišnja doba uz primenu koeficijenta korelacije i metoda najmanjih kvadrata

Tačnost i međusobna slaganja vrednosti UVI dobijenih upotrebom empirijskog modela i modela NEOPLANTA ilustrovana su koeficijentom korelacije, kao i metodom najmanjeg kvadrata za svako godišnje doba pojedinačno.

Da bi se pokazao stepen kvantitativnog slaganja između promenljivih, što su ovde vrednosti UVI dobijene NEOPLANTA modelom, odnosno empirijskim modelom i merenjima, korišćen je koeficijent korelacije (Slika 20.). Koeficijent proste linearne korelacije se obeležava sa r i može imati vrednosti samo u intervalu od -1 do 1, tj.

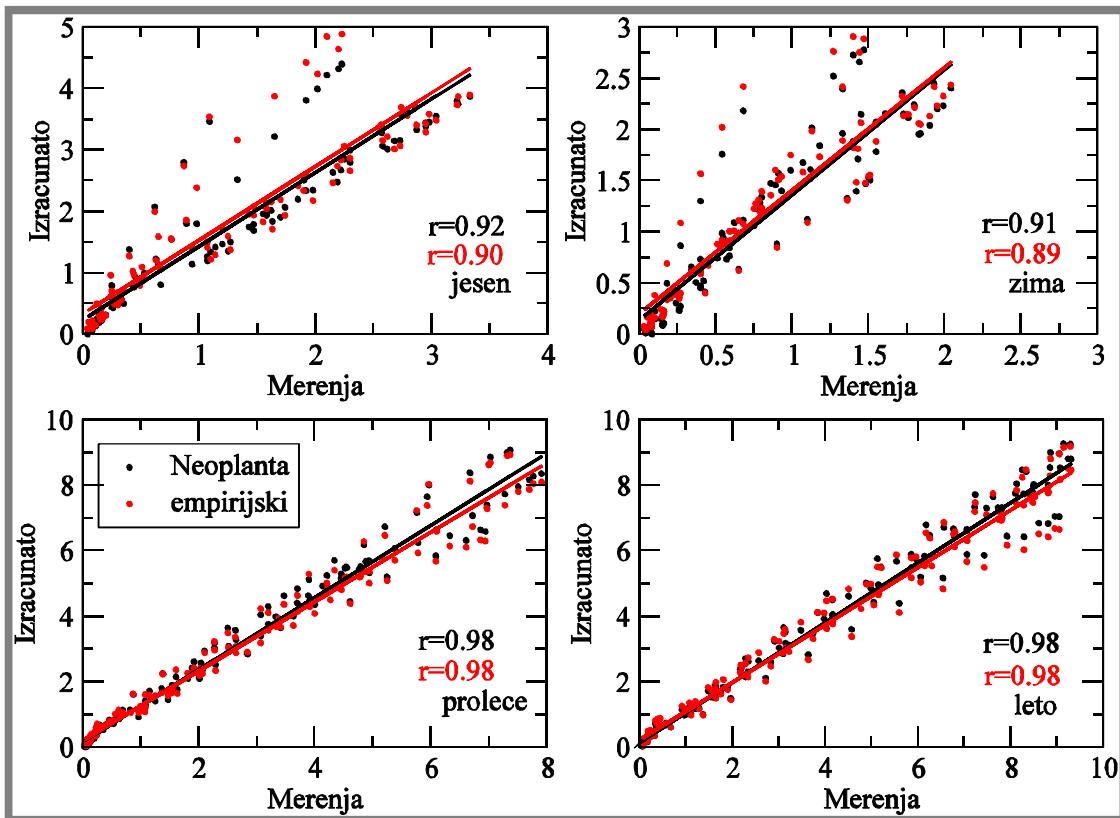
$$-1 \leq r \leq 1 \quad (14)$$

Ako je $r = 1$, između dve promenljive postoji perfektna pozitivna linearna korelacija, tj. sve tačke dijagrama raspršenosti se nalaze na rastućoj pravoj. Ako je $r = -1$, između dve promenljive postoji perfektna negativna linearna korelacija, tj. sve tačke dijagrama raspršenosti se nalaze na opadajućoj pravoj. Ako su empirijske tačke raspršene svuda po dijagramu, tada između dve promenljive ne postoji linearna korelacija i tada je $r \approx 0$.

Koeficijent proste linearne korelacije između dve promenljive u uzorku ili Pirsonov koeficijent korelacije, r , se izračunava kao:

$$r = \frac{n \cdot xy - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{n \cdot x^2 - \bar{x}^2} \cdot \sqrt{n \cdot y^2 - (\bar{y})^2}} \quad (15)$$

Korelacija veća od 0.8 se obično opisuje kao jaka, dok korelacija manja od 0.5 je obično opisana kao slaba (Roberts i Roberts, 2014)



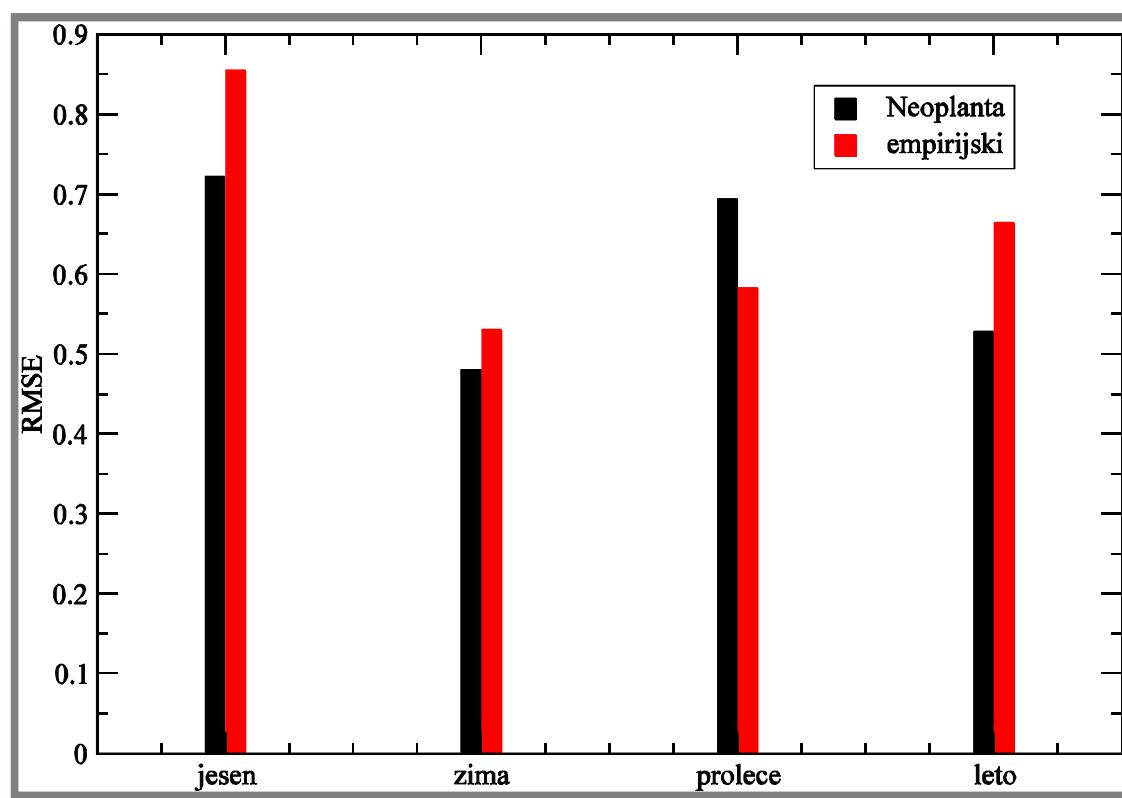
Slika 20. Korelacije između vrednosti UVI dobijenih modelima i izmerenih vrednosti za sva četiri godišnja doba.

Na osnovu rezultata prikazanih na Slici 20. može se zaključiti da su dobijene vrednosti UVI iz oba modela za sva godišnja doba u jakoj korelaciji sa izmerenim vrednostima UVI. Treba napomenuti da su za prikaz rezultata za jedno godišnje doba uzeti svih pet dana u razmatranje i sve polučasovne vrednosti UVI za te dane. Koeficijent korelacije najbliži jedinici dobijen je za proleće i leto ($r=0.98$) što ukazuje na izuzetno jaku pozitivnu korelaciju između vrednosti UVI iz oba korišćena modela i izmerenih vrednosti UVI. Za nijansu slabija korelacija ($r=0.91$ i $r=0.89$) je bila između vrednosti UVI dobijenih iz modela i izmerenih vrednosti za zimski period, što je posledica odstupanja dobijenih vrednosti UVI od izmerenih vrednosti za dane sa veoma malom debljinom ozonskog omotača. Slabija korelacija između izmerenih vrednosti i empirijskog modela ($r=0.90$) nego između merenja i modela NEOPLANTA ($r=0.92$) je bila za jesenje dane, posebno za vrednosti UVI dobijenih iz empirijskog modela u odnosu na izmerene vrednosti. Razlog se može naći u veoma promenljivoj debljini ozonskog omotača tokom jesenjih dana, kao i u pojavi mini ozonskih rupa.

Da bi se pokazala odstupanja predviđenih vrednosti dobijenih modelom NEOPLANTA i empirijskim modelom od izmerenih vrednosti UVI korišćen je metod najmanjih kvadrata (root mean square error - RMSE). Ovaj metod zapravo predstavlja jednostavnu standardnu devijaciju razlika između predviđenih vrednosti i osmotrenih veličina. RMSE se može dobiti pomoću sledeće formule:

$$RMSE \theta = \sqrt{MSE \theta} = \sqrt{E(\theta - \hat{\theta})^2} \quad (16)$$

gde je θ procenjena vrednost, $\hat{\theta}$ parametar procene



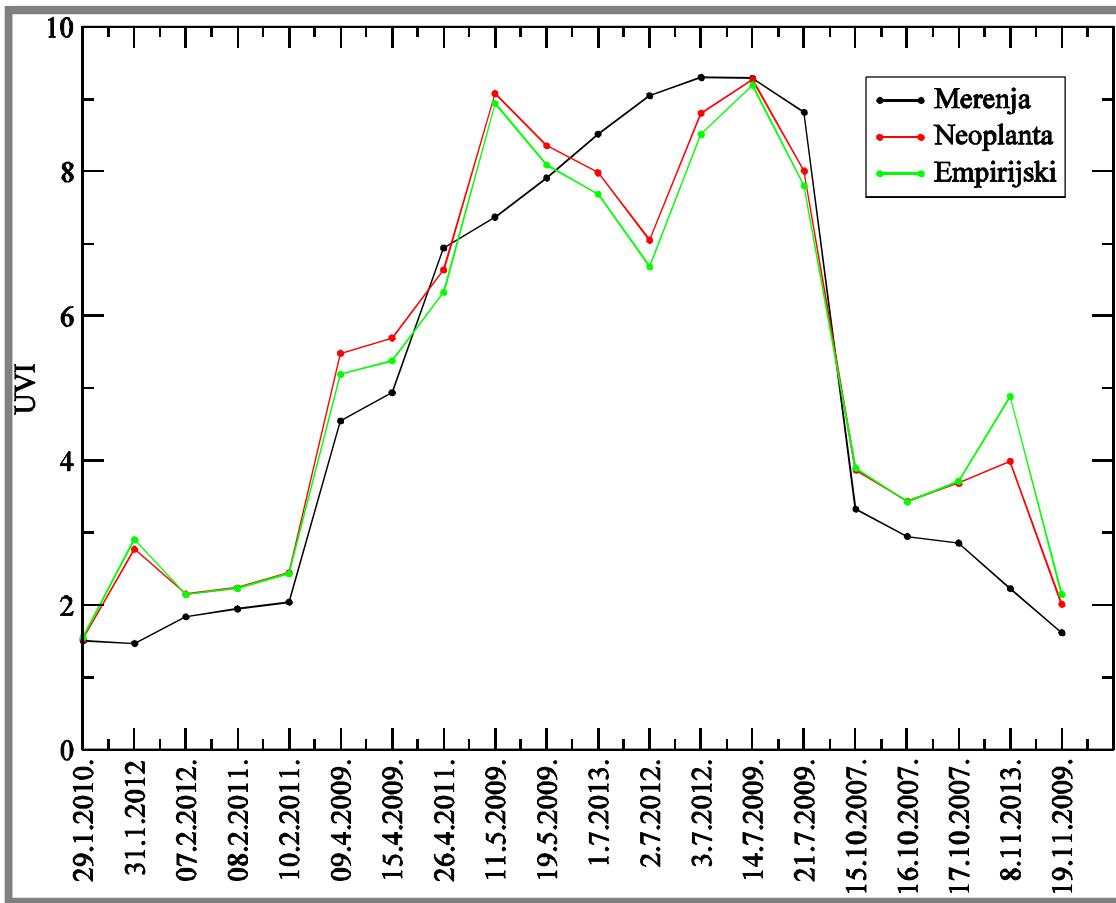
Slika 21. Odstupanja vrednosti UVI dobijenih modelima od izmerenih vrednosti za sva četiri godišnja doba procenjena metodom najmanjih kvadrata.

Može se uočiti da su odstupanja dobijenih vrednosti UVI iz modela u odnosu na izmerene vrednosti najveća za jesenje dane, pri čemu je znatno veće odstupanje vrednosti dobijenih empirijskim modelom nego modelom NEOPLANTA (Slika 21.). Najmanja odstupanja vrednosti UVI izračunatih NEOPLANTA i empirijskim modelom od izmerenih vrednosti UVI bila su za zimske dane, s tim što su odstupanja

za vrednosti UVI iz NEOPLANTA modela za nijansu manja. Treba napomenuti da su u zimskom periodu i vrednosti UVI najniže. Umerenija su odstupanja predviđenih vrednosti UVI u odnosu na izmerene za dane u proleće i leto. Tačnije su vrednosti UVI za prolećne dane dobijene NEOPLANTA modelom, dok su za letnje dane tačnije vrednosti dobijene empirijskim modelom. Evidentno je da se ova odstupanja dobijena RMSE malo razlikuju od odnosa uspostavljenih posmatranjem koeficijenta korelacije koji pokazuju da su dobijene vrednosti UVI iz modela u jakoj korelaciji sa izmerenim vrednostima takođe za letnje i prolećne dane.

7.3. Maksimalne vrednosti UVI dobijene iz modela i izmerene za sve posmatrane dane

Najvažnija informacija o vrednosti UVI je data kroz prikaz maksimalnih vrednosti UVI predviđenih modelima i izmerenih za svaki odabran dan (Slika 22.). To su vrednosti koje se šalju u javnost, podižu svest i upozoravaju ljudi da usvoje mere zaštite pri izlaganju UV zračenju.



Slika 22. Maksimalne vrednosti UVI dobijene iz modela i izmerene za sve posmatrane dane.

Može se uočiti da je većina vrednosti maksimuma UVI dobijenih NEOPLANTA i empirijskim modelima za nijansu viša od izmerenih maksimalnih vrednosti UVI (Slika 22.). Značajno više vrednosti maksimuma UVI dobijene su za jedan zimski (31.1.2012.), jedan prolećni (11.5.2013.) i jedan jesenji dan (8.11.2013.). Potrebno je naglasiti da je za ove dane debljina ozonskog omotača bila izrazito mala. Predviđene niže vrednosti maksimuma UVI u poređenju sa izmerenim maksimalnim vrednostima UVI su dobijene za četiri letnja dana (1.7.2013., 2.7.2012., 3.7.2012. i 21.7.2009.). Zajedničko za ove dana je da je debljina ozonskog omotača izrazito velika. Na osnovu toga može se zaključiti da, ukoliko je izrazito niska vrednost debljine ozonskog omotača, dobijene maksimalne vrednosti UVI pomoću NEOPLANTA i empirijskog modela su više od izmerenih maksimalnih vrednosti UVI. S druge strane, kada je debljina ozonskog omotača veća, tada su dobijene

maksimalne vrednosti UVI empirijskim i NEOPLANTA modelom niže od izmerenih maksimalnih vrednosti UVI.

7.4. Poređenje maksimalnih vrednosti UVI dobijenih modelima i merenjima uz korišćenje relativne greške

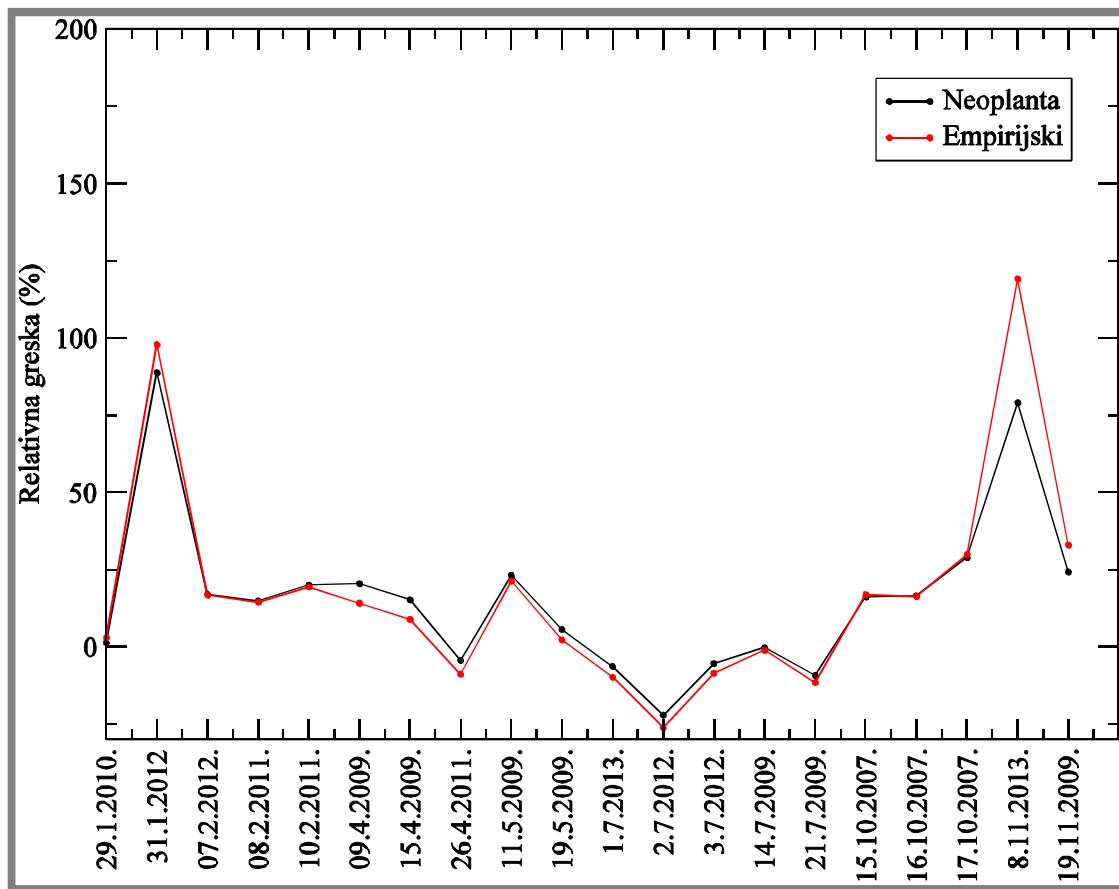
Da bi se prikazala odstupanja maksimalnih vrednosti UVI dobijenih NEOPLANTA i empirijskim modelom u odnosu na izmerene maksimalne vrednosti korišćena je relativna greška. Relativna greška se izražava u procentima i dobijena je pomoću formule:

$$Gr = \frac{\Delta x}{x} = \frac{x' - x}{x} \quad (17)$$

gde x' dobija vrednost iz modela, a x je izmerena vrednost.

Ukoliko je vrednost relativne greške pozitivna veličina to ukazuje da je maksimalna vrednost UVI dobijenog modelom veća u odnosu na izmerenu, dok negativna greška ukazuje na suprotno.

Ako se analiziraju rezultati prikazani na Slici 23. može se zapaziti da je najveća pozitivna greška izračunata za dane 31.1.2012. i 8.11.2013. Tada su maksimalne vrednosti UVI dobijene modelima veće u odnosu na izmerene maksimalne vrednosti UVI pri čemu je vrednost debljine ozonskog omotača za te dane bila izuzetno mala (Tabela 5.). Najveća negativna greška je dobijena za 2.7.2012. kad je vrednost maksimuma UVI iz modela bila manja u odnosu na izmerenu maksimalnu vrednost UVI, a na taj dan je debljina ozonskog omotača bila izrazito velika.



Slika 23. Odstupanja maksimalnih vrednosti UVI dobijenih modelima u odnosu na izmerene vrednosti za sve posmatrane dane, procenjena relativnom greškom.

8. Zaključak

U ovom radu testirana su dva modela za prognozu UVI, model višestrukog rasejanja NEOPLANTA i empirijski model *Allaart i sar.* (2004). Verifikacija modela je urađena na osnovu izmerenih vrednosti UV indeksa YANKEE UVB-1 detektorom u Novom Sadu. Posmatrano je pet bezoblačnih dana za svako godišnje doba. Odabrani su bezoblačni dani jer nijedan od korišćenih modela nema mogućnost prognoze UV indeksa u slučaju oblačnosti. Kao ulazni podaci neophodni za rad modela korišćeni su: debljina ozonskog omotača merena MICROTOPS II instrumentom na Prirodno-matematičkom fakultetu i numerički računat zenitni ugao.

Vrednosti UVI dobijene upotrebom oba modela tokom jeseni su dosta bliske. Međutim, postoje manja odstupanja vrednosti UVI prognoziranih modelima od izmerenih vrednosti UVI. Razlika između izračunatih i izmerenih vrednosti posebno je izražena u danima kada je vrednost debljine ozonskog omotača izuzetno niska. Ponašanje prognoziranih i izmerenih vrednosti UVI veoma je slično tokom zime i jeseni.

Bolja slaganja između izmerenih i prognoziranih vrednosti UVI su uočena tokom proleća i leta. Tokom leta su prognozirane vrednosti UVI nesto niže od izmerenih što nije slučaj u ostalim godišnjim dobima.

Na osnovu dobijenih vrednosti koeficijenta korelacije može se reći da su dobijene vrednosti UVI iz oba modela za sva godišnja doba u jakoj korelaciji sa izmerenim vrednostima UVI. Koeficijent korelacije najbliži jedinici dobijen je za leto što ukazuje na izuzetno jaku pozitivnu korelaciju između vrednosti UVI iz oba korišćena modela i izmerenih vrednosti UVI. Takođe, veoma slična vrednost koeficijenta korelacije je dobijena za vrednosti UVI tokom proleća. Za nijansu slabija korelacija je dobijena za vrednosti UVI za zimu. Najslabija korelacija, kao što je i očekivano, je bila za jesenje dane, posebno za vrednosti UVI dobijenih iz empirijskog modela u odnosu na izmerene vrednosti. Na osnovu metoda najmanjih kvadrata može se uočiti da su odstupanja dobijenih vrednosti UVI iz modela u odnosu na izmerene vrednosti najveća za jesenje dane pri čemu je znatno veće odstupanje vrednosti dobijenih empirijskim modelom nego modelom NEOPLANTA. Najmanja odstupanja vrednosti UVI izračunatih NEOPLANTA i empirijskim modelom od izmerenih vrednosti UVI bila su za zimske dane. Umerenija su odstupanja predviđenih vrednosti UVI u odnosu na izmerene za dane u proleće i leto.

Iz prethodno navedenog primećuje se da, ukoliko su vrednosti debljine ozonskog omotača izuzetno niske, odstupanja vrednosti UVI dobijenih iz modela od izmerenih vrednosti su velika. Takođe, ukoliko su vrednosti debljine ozonskog omotača izuzetno visoke, ova odstupanja će opet biti velika. Stoga, može se zaključiti da su najbolja slaganja vrednosti UVI kada je vrednost debljine ozonskog omotača optimalna za taj period godine.

Posebna pažnja je bila data maksimalnim vrednostima UVI jer su one te koje određuju koja će mera zaštite biti korišćena, pa su i najvažnija informacija o UVI. U slučaju izrazito niske vrednosti debljine ozonskog omotača, dobijene maksimalne vrednosti UVI pomoću NEOPLANTA i empirijskog modela su više od izmerenih maksimalnih vrednosti UVI. S druge strane kada je debljina ozonskog omotača veća tada su dobijene maksimalne vrednosti UVI empirijskim i NEOPLANTA modelom niže od izmerenih maksimalnih vrednosti UVI. Da bi se prikazala odstupanja maksimalnih vrednosti UVI dobijenih NEOPLANTA i empirijskim modelom u odnosu na izmerene maksimalne vrednosti korišćena je relativna greška.

Korišćenje empirijskog modela za prognozu vrednosti UVI u slučaju Novog Sada se pokazalo opravdanim. Dobijeni rezultati govore o zadovoljavajućem slaganju sa izmerenim vrednostima i vrednostima dobijenim modelom NEOPLANTA. U ovom radu uočen je i nedostatak modela, a to je u slučaju veoma niskih i visokih vrednosti debljine ozonskog omotača. Očigledno je da se realističnije implementaciji ovog parametra u modelu mora posvetiti više pažnje u daljim istraživanjima.

9. Literatura

1. Allaart M., Weele M., Fortuin P., Kelder H., 2004: *An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone.* Meteorol. Appl. 11, 59-65.
2. Astronomija magazin, 2009: Sunce; Nuklearni ciklus <http://static.astronomija.co.rs/suncsist/Sunce/ciklus.htm> (stranici pristupljeno 27. Septembra 2014.)
3. Angstrom A., 1961: *Technique of Determining the Turbidity of the Atmosphere.* Tellus, Vol. 13, pp. 214-231.
4. Austin, J., Barwell, B. R., Cox, S. J., Hughes, P. A., 1994: *The diagnosis and forecast of clear sky ultraviolet levels at the Earth's surface.* Meteorol. Appl. 1: 321–336.
5. Bird, R. E., Riordan C., 1986: *Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and titled planes at the Earth's surface for cloudless atmosphere.* J. Appl. Meteor. 25, 87-97.
6. Bojkov, R. D., Balis D. S., 2001: *Characteristics of episodes with extremely low ozone values in the northern middle latitudes 1975 –2000.* Ann. Geophys., 19, 797– 807.
7. Burrows, W.R., Vallee M., Wardle D.I., Kerr J.B., Wilson L.J., Tarasick D.W., 1994: *The Canadian operational procedure for forecasting total ozone and UV radiation.* Met. Apps. 1, 247-265
8. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), 1985: publication No. 69
9. Diffey, B.L., 1977: *The calculation of the spectral distribution of natural ultraviolet radiation under clear day conditions.* Phy. Med. Biol. 22, 309-316.
10. Dichter, B.K., A.F. Beaubien, and D.J. Beaubien, 1992: *Development and characterization of new solar ultraviolet-B detector.* J. Atmos. Sci. and Oc. Technology, 10, 337-344.
11. Green, K., R. Cross and L.A. Smith, 1979: *Improved analytical characterization of ultraviolet skylight.* J. Photoch. Photobiol., 31, 59-65.
12. Gueymard, C., 1995: SMARTS2, *A simple model of the atmospheric transfer of sunshine.* Florida Solar Energy Center, Rep. FSEC-PF-270-95.

13. Koch G., Wernli H., Schwierz C. Staehelin J., Peter T., 2005: *A composite study on the structure and formation of ozone miniholes and minihighs over central Europe*. Geoph. Res. Lett., Vol. 32, L12810.
14. Kylling, A., 1994: *UVSPEC, a program for calculation of diffuse and direct UV and visible fluxes and intensities at any altitude*. (Available by anonymous ftp to pluto.itek.norut.no, cd/pub/arve)
15. Liou, K.N., 1980: *An introduction to atmospheric radiation*. Academic Press, New York.
16. Madronich, S., 1993: *UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, in UV-B radiationand ozone depletion: Effects on Humans, Animals, Plants, Microorganisms, and Materials*. edited by M. Tevini, Lewis Publishers, 1769.
17. Madronich S. and Flocke S., 1997: *Theoretical estimation of biologically effective UV radiation at the earth's surface*. ASI Series, I 52, Solar Ultraviolet Radiation Modeling, Measurements and Effects. C.S. Zerefos and A.F.Bais, Eds. Springer-Verlag.
18. Madronich S.,McKenzie R.L., Björn L.O, Caldwell M.M, 1998: *Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching in Earth's surface*. J. Photoch. Photob. B: Biology 46, 5-19.
19. Malinović S., Mihailović D. T., Kapor D., Mijatović Z., Arsenic I. D., 2006: *NEOPLANTA: A Short Description of the First Serbian UV Index Model*. J. Appl. Meteor. Climatol., 45, 1171-1177.
- 19a. Malinović S., 2003: *Model za prognozu intenziteta UV zracenja uz koriscenje modela za prognozu vremena*, Univerzitet u Novom Sadu, master rad
20. Mayer, B., S. Seckmeyer and A. Kylling, 1997: *Systematic long-term comparison of spectral UV measurements and UVSPEC modeling results*. J. Geophys. Res. 102 (D7), 8755 ó 8767.
21. McKinley A.F., Diffey B.L., 1987: *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin*. CIE Journal 6, 17-22.
22. Mijatović Z., Čonkić Lj., Miljković S, 2002: *UV zračenje, izvori, osobine, efekti i zaštita*. PMF, Novi Sad.
23. Mijatović Z., Milićević S., Kapor D. V., Mihailović D.T., Arsenić I., Podrščanin Z., 2010: *Solar UV Radiation: Monitoring and a New Approach in Modeling-Pioneering Work in Serbia*. In: Advances in Environmental Modeling and Measurement, Nova Science Publishers, Inc, New York, 113-119.

24. Morys M., Anderson S., 2001: *Design, calibration and performance of MICROTOPS II hand-held ozonmeter*. Solar Light Company., Inc, Philadelphia
25. Nakajima, T., Tanaka M., 1986: *Matrix formulations for the Transfer of Solar Radiation in a Olane-Parallel mScattering Atmosphere*. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 35, 13-21.
26. NASA Ozone Watch, 2013: What are Ozone Mini-Holes? http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/miniholes_NH.html (stranici pristupljeno 27. Septembra 2014.)
27. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2014: *Solar Calculator Glossary*, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azelzen.gif> (stranici pristupljeno 27. Septembra 2014.)
28. Peak M.J., Peak J.G., 1986: *Molecular photobiology of UVA Radiation*. Praeger, New York, 42-52.
29. Press, W. H., Flannery B. P., Teukolsky S. A., Vetterling, W. T., 1986: *Numerical Recipes*. Cambridge: Cambridge University Press.
30. Renaud A., Staehelin J., Philipona R., Heimo A., 1997: *The influence of a cloud cover on erythemal UV radiation for low and high surface albedos*. In: Int. Summer Schoole on Trop. Chem. A. Space Obs., Riom, 17-27.07.1997.
31. Roberts D.M. and Roberts F.H., 2014: *Correlation Coefficient*. <http://mathbits.com/MathBits/TISection/Statistics2/correlation.htm> (stranici pristupljeno 27. Septembra 2014).
32. Rozanov, V.V., Diebel D., Spurr R.J.D., Burrows J.P., 1997: *GOMETRAN: A radiative transfer model for the Satellite project GOME - The plane parallel version*. J. Geophys. Res. 102 (D14), 16683 – 16695.
33. Ruggaber, A., Dlugi R., Nakajima, 1994: *Modeling of radiation quantities and photolysis frequencies in the troposphere*. J. Atmos. Chem. 18, 171-210.
34. Sabburg, J., and J. Wong, 2000: The effect of clouds enhancing UVB irradiance at the earth's surface: a one year study. Geophys. Res. Lett., 27, 3337–3340.
35. Stamnes, K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Jayaweera K., 1988: *Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media*. Appl. Opt. 27, 2502-2509.

36. Sutherland B., 1997: *Ultraviolet Radiation Hazards to Humans, Nonionizing Radiation: An Overview of Physics and Biology*. Medical Physics Publishing, Medison
37. Vanicek, K., 1997: *Relation between total ozone and erythemal solar radiation on clear days in Hradec Kralove*. In: Proc. of the Workshop on Monitoring of UVB Radiation on Total Ozone, Poprad, 24-26.04.1996, Slovak Hydromet. Inst.
38. Vanicek K., Frei T. Litynska Z., Schmalwieser, 1999: *UV-Index for the Public, A guide for publication and interpretation of the solar UV Index forecasts for the public* prepared by the Working Group 4 of the COST-713 Action “UVB Forecasting, Brussels.

BIOGRAFIJA



Milica Atlagić rođena je 23.07.1988. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu „Mihajlo Pupin“ završila je u Vaterniku. Od 2003. godine je bila učenik gimnazije „Svetozar Marković“ u Novom Sadu. Po završetku srednje skole, 2007. godine, upisala je Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, Departman za fiziku, smer fizičar-meteorolog. Diplomske-master studije na istom fakultetu, modul fizičar-meteorolog upisala je 2011. godine.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Master rad

VR

Autor:

Milica Atlagić

AU

Mentor:

Dr Zorica Podraščanin

MN

Naslov rada:

Analiza vrednosti UV indeksa dobijenih modelom

NR

NEOPLANTA i empirijskim modelom

Jezik publikacije:

Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

Srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2014

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,

MA

Novi Sad

Fizički opis rada:

(poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)

FO

(9/59/38/6/23/8/0)

Naučna oblast:

Fizika

NO

Naučna disciplina:

Meteorologija

ND

Predmetna odrednica/ključne reči

UV zračenje, UV indeks, debljina ozonskog omotača,
NEOPLANTA model, empirijski model

PO

UDK

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Čuva se:

nema

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Za potrebe prognoze intenziteta UV zračenja (UVI) testiran je empirijski model (*Allaart i sar.*, 2004) koji koristi dva jednostavna parametra, debljinu ozonskog omotača i solarni zenitni ugao. Testiranje je podrazumevalo poređenje dobijenih vrednosti UVI ovim modelom sa izmerenim vrednostima u Novom Sadu i vrednostima UVI dobijenim primenom NEOPLANTA modela.

Zbog značajne promene UVI tokom godine posmatrane su vrednosti UVI za svako godisnje doba i to za pet slučajno odabralih bezoblačnih dana iz vremenskog niza od osam godina (2007-2015).

Vrednosti UVI dobijene iz empirijskog i NEOPLANTA modela su poređene međusobno kao i sa izmerenim vrednostima UVI za svako godišnje doba. Slaganje rezultata je detaljno objašnjeno primenom koeficijenta korelacije i metoda najmanjih kvadrata. Analizirane su dobijene maksimalne vrednosti UVI iz empirijskog i NEOPLANTA modela sa izmerenim vrednostima UVI, a kvalitet prognoze ilustrovan je vrednostima relativne greske.

Korišćenje empirijskog modela za prognozu vrednosti UVI u slučaju Novog Sada se pokazalo opravdanim jer dobijeni rezultati govore o zadovoljavajućem slaganju sa izmerenim vrednostima UVI kao i sa vrednostima UVI dobijenim primenom NEOPLANTA modela.

Datum prihvatanja teme od NN
veča:

04.08.2014

DP

Datum odbrane:

03.10.2014.

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Dr Zoran Mijatović, red. prof.

Član:

Dr Zorica Podraščanin, mentor

Član:

Dr Igor Balaž

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

TR

Textual printed material

Content code:

CC

Final paper

Author:

AU

Milica Atlagić

Mentor/comentor:

MN

Zorica Podraštanin, PhD

Title:

TI

Analysis of the UV Index values obtained by NEOPLANTA model and the empirical model

Language of text:

LT

Serbian (Latin)

Language of abstract:

LA

English

Country of publication:

CP

Serbia

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2014

Publisher:

PU

Author's reprint

Publication place:

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića

4, Novi Sad

Physical description:

(9/59/38/6/23/8/0)

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Meteorology

SD

Subject/ Key words:

UV radiation, UV index, ozone layer thickness, NEOPLANTA model, empirical model

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

AB

Prediction of the UV radiation intensity is tested by means of an empirical model (Allaart et al., 2004), which has two easily accessible parameters: ozone layer thickness and solar zenith angle. The evaluation involved comparison of the values given by this model with those measured in Novi Sad, as well as with the values obtained using the NEOPLANTA model.

Due to significant changes of the UVI over the year, the values of UVI for all seasons have been taken into account. For each season, values of UVI during five randomly chosen cloudless days over the time period of eight years (2007-2015) have been sampled. UVI values obtained from the empirical and NEOPLANTA model for each season are compared with each other and also with the UVI measurements. The agreement of the aforementioned results has been evaluated using correlation coefficient and the root mean square error. The analysis of maximum UVI values were conducted using empirical, NEOPLANTA model and measurements, whereas the quality of the prediction was given by the values of the corresponding relative error. As a result of the analysis presented in this work, it has been shown that the empirical model for prediction of UVI values in specific case of Novi Sad is working reasonably good. This is justified by the agreement of measured UVI values, those obtained by the empirical model, as well as with the UVI values from the NEOPLANTA model.

*Accepted by the Scientific
Board:*

04/08/2014

ASB

Defended on:

03/10/2014

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Zoran Mijatović, PhD, full professor

Member:

Zorica Podraščanin, PhD, mentor

Member:

Igor Balaž, PhD