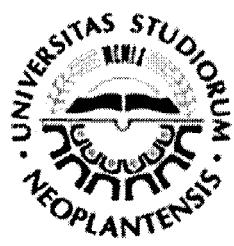




UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО 11. IVL 2003	
ОРГАНИЗ.Ј.Д.	Б.Р.О.Ј
0603	9/318

Judita Mamužić

## MONITORING UV ZRAČENJA U NOVOM SADU

-diplomski rad-

Novi Sad, 2003.

*"Između izlaska i zalaska Sunca uvek se dogodi neko čudo."*  
*Aztečka izreka*

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b>	
1.1 Sunce kao izvor zračenja	5
1.2 Model zračenja apsolutno crnog tela	6
1.3 Klasifikacija UV zračenja	7
1.4 Faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja na površini Zemlje	9
1.5 Solarno UV zračenje i hemijski procesi u atmosferi	10
1.6 Apsorpcija u UV oblasti spektra	11
1.7 Ozon	13
1.8 Ozon i apsorpcija UV zračenja u atmosferi	15
1.9 Debljina ozonskog omotača	16
1.10 Hemijski procesi vezani za količinu ozona u atmosferi	17
1.10.1 Antarktička ozonska rupa	18
1.11 Aktivni spektar UV zračenja, UV indeks i MED	19
<b>2. Štetno dejstvo</b>	
2.1 Dejstvo UV zračenja	22
2.2 Štetno dejstvo UV zračenja kod čoveka	22
2.2.1 Fizičko-hemijsko dejstvo Sunčevog UV zračenja na kožu čoveka	23
2.2.2 Neželjeni efekti kod čoveka	24
2.2.3 Dejstvo UV zračenja na oči	27
2.3 Štetno dejstvo UV zračenja na biljke	29
2.4 Smanjenje kvaliteta vazduha u nacionalnim parkovima	29
2.5 UV zračenje i vodozemci	30
<b>3. Instrumenti za monitoring UV zračenja</b>	
3.1 Vrste detektora UV zračenja	31
3.1.1 Spektralni uređaj	31
3.1.2 Uredaji sa filtrima	31
3.1.3 Širokopojasni uređaj	31
3.2 Karakteristike širokopojasnih detektora	32
3.2.1 Kosinusna zavisnost	32
3.2.2 Spektralna zavisnost	32
3.2.3 Provera dugovremenske stabilnosti	33
3.3 Upravljanje kvalitetom i pouzdanost	33
3.3.1 Greške	33
3.3.2 Kalibracija	33
3.3.3 Mogućnost za detekciju trenda	34
3.3.4 Pogodnost prema klimatologiji	35
3.3.5 Preporuke	35
3.3.5.1 Konverzija u radiometrijske jedinice	35
3.3.5.2 Koherentnost podataka	35
3.3.5.3 Interkomparacije instrumenata	36
3.3.5.4 Upravljanje kvalitetom	37



<b>4. Centar za monitoring UV zračenja</b>	
<b>4.1 Razvoj UV monitoringa</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Upravljanje kvalitetom u centru za monitoring</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Informacije koje se podnose uz centar za monitoring</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1 Cantar za monitoring</b>	<b>40</b>
<b>4.2.2 Instrument</b>	<b>41</b>
<b>4.2.3 Kalibracija</b>	<b>42</b>
<b>5. Monitoring UV zračenja u Svetu i našoj zemlji</b>	
<b>5.1 Monitoring u Svetu</b>	<b>44</b>
<b>5.2 Monitoring u našoj zemlji</b>	<b>44</b>
<b>5.2.1 Princip rada UVB-1 detektora</b>	<b>45</b>
<b>5.2.2 Faktor konverzije</b>	<b>46</b>
<b>5.2.3 Kalibracija UVB-1 detektora</b>	<b>47</b>
<b>6. Upoređivanje merenih vrednosti UV indeksa sa računatim</b>	
<b>6.1 Odabir lokacije uredjaja</b>	<b>48</b>
<b>6.2 Upoređivanje merenih vrednosti sa računatim u progamu STARsci</b>	<b>49</b>
<b>6.2.1 Računski program za proračun UV indeksa</b>	<b>49</b>
<b>6.2.2 Upoređivanje računatih sa merenim vrednostima u 13 h</b>	<b>50</b>
<b>6.2.3 Upoređivanje računatih sa merenim vrednostima za sunčane dane</b>	<b>51</b>
<b>7. Zaključak</b>	<b>58</b>
<b>Literatura</b>	<b>59</b>

# Glava 1

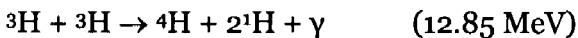
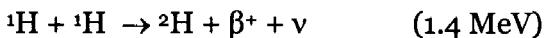
## UVOD

### 1.1 Sunce kao izvor zračenja

Za našu planetu Sunce je od posebnog značaja jer je oko 300 000 puta bliže Zemlji od sledeće najbliže Zvezde (Proxima Centauri), tako da praktično sva energija koju Zemlja prima spolja, i koja je izvor svih atmosferskih kretanja, potiče od Sunca. [1]

Sunce predstavlja gasovitu loptu koja se pre svega sastoji od vodonika i helijuma, a u veoma malim količinama i težih elemenata kao što su Fe, Si, Ne i C. Vodonik čini 75 % celokupne mase Sunca, a 25 % čini helijum.

Reakcija u jezgru Sunca započinje sjedinjavanjem dva protona. Pri tome nastaju deuterijum, pozitron i neutrino. Verovatnoća za ovu reakciju je veoma mala, ali se proces odvija kontinualno zbog ogromne količine vodonika. Dalje, vodonik i deuterijum se sjedajuju u tricijum i foton (tj. oslobođena energija u vidu gama kvanta). Dva jezgra tricijuma formiraju stabilni helijum, dva protona i gama kvant:



U navedenim procesima se oslobađa 19.48 MeV energije. Usled veoma visoke temperature unutar Sunca, atomski sudari se dešavaju sa energijom koja je dovoljna da izbije elektrone iz orbite, te na orbitama ostaju samo jako vezani elektroni unutrašnjih orbita teških atoma. Pri nukleosintezi izračuje se energija u vidu elektromagnetskog zračenja (tj. foton), ona prolazi kroz unutrašnji sloj Sunca bez interakcije sa elektronima. Bliže površini Sunca, temperatura opada i ovde atomi težih elemenata kao na pr. Fe ponovo uspevaju da zahvate elektrone na svoje spoljašnje orbite. Ovi spoljašnji elektroni su slabo vezani za jezgro i mogu da se otkinu pri apsorpciji fotona. U ovom delu se, dakle, na putu fotona iz unutrašnjosti sada nalaze atomi koji mogu da apsorbuju to zračenje. Gubitak fotona na ovaj način izaziva oštar pad temperature na određenom rastojanju od površine, pa se samim tim spoljašnji sloj Sunca sastoji od relativno hladnog gasa koji miruje na usijanom jezgru. Smatra se da je temperatura u jezgru Sunca oko  $5 \times 10^6$  K, a na površini oko 5800 K [1].

Na ovoj razlici temperature zasniva se konvekcija, tj. kretanje slojeva. Gas u osnovi hladnog spoljašnjeg sloja se zagreva pod dejstvom vrelog gasa iz unutrašnjosti. Stoga se on širi i podiže prema površini, na površini vreli gas gubi toplotu zračenjem u svemir, hlađi se i spušta naniže. Spoljašnji sloj se sada podelio na uzlazne tokove zagrejanog gasa i silazne tokove hladnijeg gasa. Dakle, bliže površini deo zračenja se gubi apsorpcijom od strane težih

elemenata, pa se prenos topote vrši delimično zračenjem, a delimično konvekcijom. Iznad površine Sunca, ova energija se opet prenosi zračenjem [1].

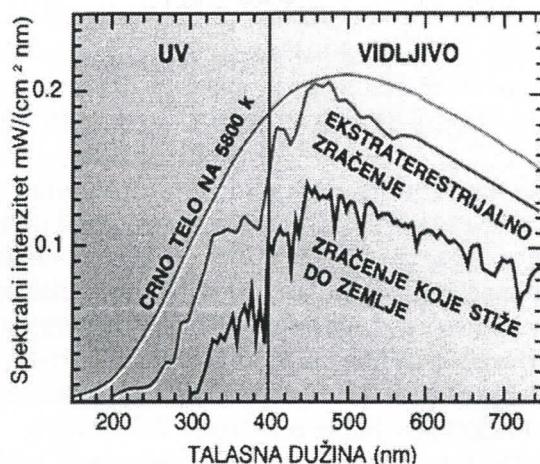
Srednja temperatura na površini Sunca iznosi, oko 5800 K, te se i zračenje Sunca u velikoj meri podvrgava Štefan-Bolcmanovom zakonu zračenja crnog tela. Međutim, i drugi procesi daju doprinos ukupnom zračenju. Zbog toga se realni spektar zračenja Sunca ne poklapa potpuno sa spektrom zračenja crnog tela na temperaturi od 5800 K. Zračenje koje dospeva na Zemlju sastoji se od optičkog kontinuuma sa diskretnim spektralnim linijama vodonika, helijuma i elemenata koji čine hemijski sastav Sunca. Spektar ovog zračenja na gornjoj površini atmosfere se nalazi u oblasti  $\lambda=0.015\text{--}1000 \mu\text{m}$  i naziva se ekstraterestrijalno zračenje [1].

## 1.2 Model zračenja apsolutno crnog tela

Za opisivanje spektra zračenja koje emituje neko telo zagrejano do određene temperature koristi se model crnog tela. Crno telo se definiše kao telo koje potpuno apsorbuje zračenje koje do njega dopire, nezavisno od talasne dužine. Plankova formula u pojednostavljenom obliku daje zavisnost spektralnog intenziteta zračenja  $I_\lambda$  od temperatupe crnog tela:

$$I_\lambda = C \lambda^{-5} (e^{hc/\lambda kT} - 1)^{-1}$$

gde je  $C$  konstanta proporcionalnosti [2]. Međutim, spektar zračenja koji stiže do nas se ne može u potpunosti verodostojno opisati Plankovom funkcijom za apsolutno crno telo, jer zračenje koje se emituje prolazi kroz Sunčevu atmosferu koja ga u velikoj meri modifikuje. Ipak, zakoni zračenja apsolutno crnog tela su važni jer omogućavaju nalaženje, a dobrim delom i kvalitativnu procenu određenih veličina vezanih za zračenje.



*Slika br.1 Spektar zračenja crnog tela i Sunčev spektar pri ulazu u atmosferu i na površini Zemlje.*

Vinov zakon pomeranja daje talasnu dužinu na kojoj se emituje maksimalni intenzitet zračenja crnog tela:

$$\lambda_{\max} T = b$$

$$(b = 2.9 \times 10^{-3} \text{ mK})$$

te se na osnovu ovoga računa talasna dužina na kojoj će telo zagrejano do temperature  $T$  da ima maksimum emisije.

Ukupna emisiona moć ( $E_T$ ) crnog tela proporcionalna je četvrtom stepenu apsolutne temperature ( $T$ ), o čemu govori Štefan-Bolcmanov zakon:

$$E_T = \sigma T^4$$

$$(\sigma = 5.71 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4, \text{ Štefan-Bolcmanova konstanta})$$

Efektivna temperatura Sunca iznosi oko 5800 K. Sunce, očigledno, izrači sa jedinične površine u jedinici vremena

$$E_S = \sigma T_S^4 = 6.33 \cdot 10^4 \text{ kW/m}^2.$$

Na slici br.1 je prikazan spektar zračenja absolutno crnog tela na temperaturi 5800 K i on predstavlja aproksimaciju za objašnjenje Sunčevog spektra. Intenzitet zračenja menja se sa promenom talasne dužine, maksimum je za  $\lambda=518$  nm, a ukupan intenzitet zračenja na svim talasnima dužinama je proporcionalan površini ispod krive, a takođe i četvrtom stepenu temperature. Sa slike se vidi da je doprinos ultravioletnog zračenja ( $\lambda=100-400$  nm) u ukupnom spektru zračenja Sunca značajan.

Ipak, zračenje koje dopire do gornjih slojeva atmosfere, tzv. ekstraterestrijalno zračenje, razlikuje od onog koje nudi model absolutno crnog tela.

Zatim, deo ekstraterestrijalnog zračenja se daljim prolaskom kroz atmosferu apsorbuje. Zračenje koje dospeva do nivoa mora, obuhvata deo talasnih dužina između 291-3000 nm. Od toga UV čini 5 %, vidljivo-VIS 39 %, a infracrveno-IR zračenje čak 56 % [3].

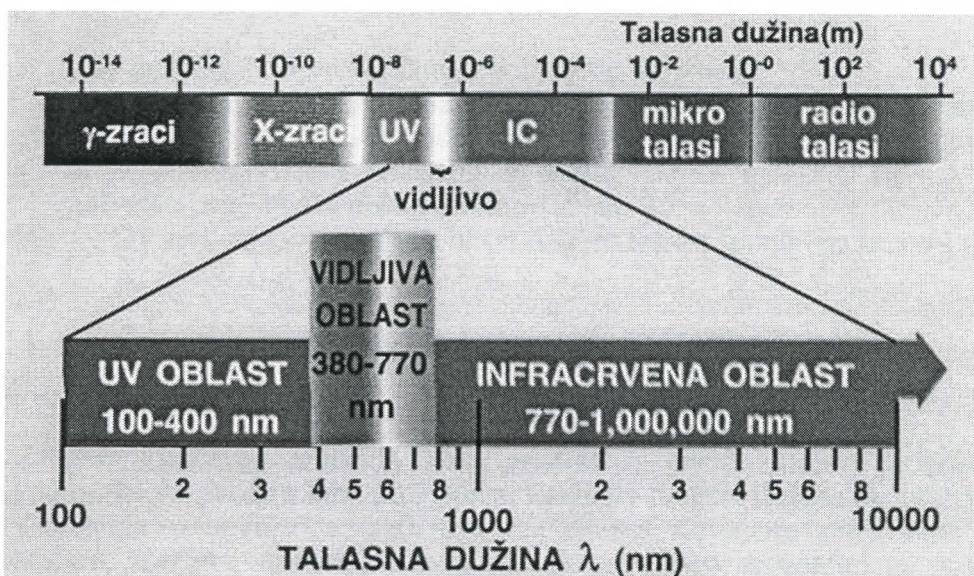
### 1.3 Klasifikacija UV zračenja

UV zračenje spada u nejonizujuće zračenje, mada fotoni UV zračenja imaju dovoljnu energiju da ionizuju veliki broj atoma i molekula. UV zračenje je nevidljivo za ljudsko oko, ali živo biće, izloženo tom zračenju može da pretrpi niz promena.

Elektromagnetno zračenje obuhvata oblasti od  $\gamma$ -zračenja, preko x-zraka, optičkog zračenja, mikro talasa i radio talasa. Optičko zračenje je samo deo zračenja elektromagnetskog spektra, čije talasne dužine pokrivaju interval od 100 nm do 10 000 nm [3]. Najčešće se sreće podela optičkog dela spektra na UV oblast (100-400 nm), VIS oblast (400-770 nm) i IR oblast (770-10 000 nm), (slika br.2).

Oblast elektromagnetskog zračenja koja je predmet proučavanja u ovom radu jeste oblast ultraljubičastog zračenja. Ona se definiše kao oblast u opsegu talasnih dužina od 100 nm do 400 nm. Unutar ove oblasti, takođe postoji podela samog UV zračenja. Najznačajnija je podela po CIE (Commision Internationale de l'Eclairage), međutim, postoje i druge podele prema raznim kriterijumima, vezano za način posmatranja efekata koji pod dejstvom ovog zračenja nastaju.

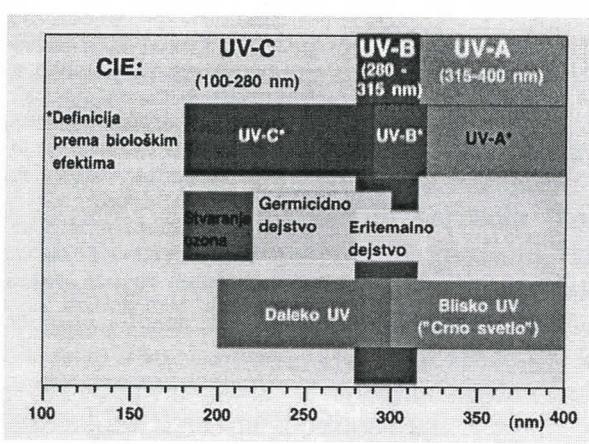
Podela UV spektra u skladu sa definicijom CIE ( publication No. 69, 1985.) data je na slici br.3. Ovu podelu prihvataju i Svetska Zdravstvena Organizacija (WHO) i Svetska Meteorološka Organizacija (WMO).



Slika br.2 Spektar elektromagnetskog zračenja i optički deo spektra

Podela UV zračenja prema CIE je:

**UV-C (100-280 nm),  
UV-B (280-315 nm) i  
UV-A (315-400 nm).**



Slika br.3 Podela UV spektra.[4]

Granice u podeli između delova UV spektra prema ovom kriterijumu nisu izričite. Na pr. granica između UV-B i UV-C je 290 nm zbog male verovatnoće da zračenje kraćih talasnih dužina dospe do površine Zemlje, sem na velikim nadmorskim visinama. Gornja granica UV-B je još proizvoljnija, jer su istraživanja pokazala da zračenje i iznad date granice od 320 nm ima fotobiološko dejstvo, te bi bila primerenija viša granica od na pr. 330 ili čak 340 nm, što trenutno nije u upotrebi.

Međutim, UV zračenje je predmet istraživanja raznih nauka. Pre svega, zbog njegovog izrazito štetnog dejstva na žive organizme, postoji podela UV zračenja prema njegovom *biološkom* dejstvu. Ova podela se za nijansu razlikuje od prethodne:

**UV-C (180-290 nm),  
UV-B (290-320 nm) i  
UV-A (320-400 nm).**

Prema *hemijском* dejstvu UV zračenja, postoji podela zračenja na oblasti:

175-220 nm - oblast zračenja koje ima uticaj na formiranje ozona u stratosferi,

220-300 nm - oblast koja ima germicidno dejstvo i

280-320 nm - oblast koja ima najjače dejstvo na kožu-eritemalna oblast.

U *spektroskopiji* UV zračenje je podeljeno na:

200-300 nm - daleka (vakuumска) oblast

300-400 nm - bliska oblast ("tamno svetlo")

O dejstvu UV zračenja, više reči će biti u daljem tekstu (poglavlje br.1.8 i glava br.2).

#### **1.4 Faktori koji utiču na intenzitet UV zračenja na površini Zemlje**

Deo Sunčevog zračenja koje pristiže u gornje slojeve atmosfere, najvećim delom prodire kroz atmosferu. Različite talasne dužine posmatranog UV zračenja učestvuju u različitim reakcijama na svom putu kroz sloj atmosfere. Količina i spektralna raspodela Sunčevog UV zračenja koje stiže na Zemljinu površinu zavisi od više faktora:

*Sunčeva elevacija* se definiše kao ugao između horizonta i pravca u kojem se vidi Sunce [3]. Za velike uglove elevacije zraci padaju pod velikim uglom u odnosu na površinu Zemlje (na pr. podne). Broj fotona koji dospevaju do površine u jedinici vremena je maksimalan, put koji zračenje prelazi kroz sloj apsorbera u atmosferi je najkraći, što ima za posledicu maksimalan intenzitet zračenja. Tokom letnjih meseci Sunčeva elevacija je najveća zbog čega je baš tada i intenzitet UV zračenja najveći. Sunčeva elevacija zavisi od geografske širine, datuma u godini i doba dana.

*Nadmorska visina* utiče na intenzitet UV zračenja tako što je za veće visine debljina apsorbujćeg sloja atmosfere manja. Merenja pokazuju da se za povećanje nadmorske visine za svakih 1000 km intenzitet UV zračenja poveća za 6-12% [3].

UV zračenje koje stiže do Zemljine atmosfere sastoji se od direktnog i difuznog zračenja, koje potiče od *rasejanja u atmosferi*. Sunčev zračenje se rasejava na česticama raznih aerosola (koloidni rastvor; raspršene čestice tečnih ili čvrstih supstanci u vazduhu, kao što su magle i dimovi [5]), molekulima vazduha (Rayleigh-evo rasejanje za rasejanje na molekulima vazduha i česticama mnogo manjim od talasne dužine zračenja) i vodenoj pari, dok direktnu komponentu čini zračenje koje prolazi kroz atmosferu bez apsorpcije i rasejanja. Procenjuje se da direktno i rasejano UV zračenje stiže do Zemljine površine u odnosu 1:1.

*Oblaci i magla* po pravilu smanjuju intenzitet UV zračenja. Intenzitet zračenja je najveći pri vedrom nebu, a smanjenje intenziteta zavisi od debljine i tipa oblaka (optičke debljine oblaka), na pr. tanki i paperjasti oblaci slabo utiču na smanjenje zračenja. Međutim, magla uzrokuje intenzivno rasejanje i delimičnu apsorpciju UV zračenja na kapljicama vode, a time i značajno smanjenje intenziteta zračenja.

Zračenje koje stiže do Zemlje delimično se *reflektuje* sa površine na koju nailazi, na pr. sneg, voda, pesak, trava, beton, itd. Intenzitet reflektovanog zračenja zavisi od karakteristika reflektivne površine (albedo), te tako trava i

voda reflektuju oko 10 %, dok svež sneg reflektuje 80-95%, pesak reflektuje 15-25% upadnog zračenja.

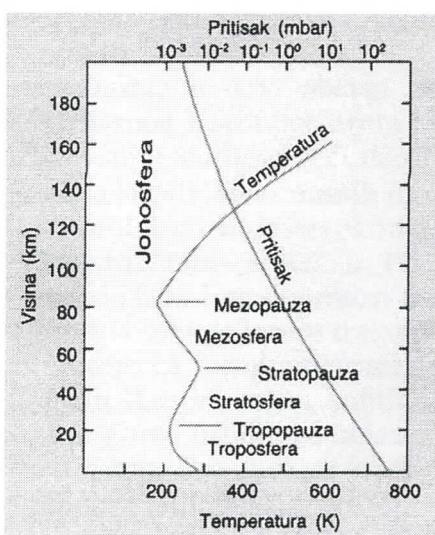
Osim toga, na intenzitet zračenja utiče i osenčivanje okolnih objekata.

Ozonski sloj u stratosferi u potpunosti apsorbuje UV-C komponentu i većinu UV-B komponente, tako da se UV zračenje koje stiže do površine Zemlje sastoji od velike količine UV-A zračenja i vrlo malo UV-B zračenja. UV-C zračenje je po živi svet najopasnije, ali kako ono ne siže do zemlje, realno, UV-B zračenje je najopasnije. Intenzitet zračenja u mnogome zavisi od debljine sloja ozonskog omotača i njegove vertikalne raspodele.

Primećno je da su prirodne varijacije intenziteta UV zračenja u UV-B oblasti u okviru nekoliko procenata, ali u oblasti UV-C one mogu biti značajne tokom 11-godišnjeg perioda promene Sunčevih pega. Promena udaljenosti Zemlja-Sunce tokom godine izaziva promenu intenziteta od oko 7 %[4].

## 1.5 Solarno UV zračenje i hemijski procesi u atmosferi

Zemljina atmosfera predstavlja gasni omotač, čije postojanje omogućava sila gravitacije Zemlje. Ona predstavlja smešu gasova čiji sastav zavisi od nadmorske visine, tj. gustina joj se smanjuje sa povećanjem nadmorske visine. Nažalost, zagađenje atmosfere i emisija štetnih gasova narušavaju ravnotežu koja bi mogla da se uspostavi u sastavu atmosfere po određenim visinama.



Slika br.4 Podela atmosfere po visini, i promena pritiska i temperature po visini u atmosferi.

atmosfere koji se menja u vremenu i prostoru; generiše se i razara na visini od 15-30 km. On apsorbuje najveći deo UV zračenja (o čemu će više reći biti u daljem tekstu).

Razni gasovi rasejavaju Sunčevu zračenje, tako da je ono pri tome polarizovano [1]. Veoma važnu ulogu u apsorpciji i rasejanju zračenja imaju tvrde i tečne čestice, koje su sastavni deo oblaka i padavina.

Osnovna podela atmosfere po visini je data na slici br.4.:

- troposfera (do visine od 25 km, ovde se nalazi oko 90% gasa koji čini atmosferu i gotovo sva atmosferska para, sadrži oko 10% ukupnog ozona u atmosferi)
- stratosfera (25-50 km, ovaj sloj sadrži najveću koncentraciju ozona)
- mezosfera (50-80 km)
- jonasfera (iznad mezofere, od 80-400 km)
- egzosfera (iznad jonasfere, iznad 400 km).

## 1.6 Apsorpcija u UV oblasti spektra

Pri prolasku kroz atmosferu UV zračenje se apsorbuje tako da do površine Zemlje dopire zračenje potpuno drugačijih karakteristika od zračenja koje dopire do gornje granice atmosfere [4].

Sunčev zračenje u atmosferi apsorbuju pre svega O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, i N, mada opštoj slici apsorpcije daju doprinos i gasovi koji su veoma malo prisutni u atmosferi kao NO, N<sub>2</sub>O, CO i CH<sub>4</sub> [1]. Prelazi između vibracionih i rotacionih nivoa odgovaraju nižim energijama i u principu leže u IR oblasti, međutim prelazi između elektronskih nivoa odgovaraju većim energijama (što odgovara kraćim talasnim dužinama) i pre svega javljaju se u UV oblasti.

Dakle, u UV oblasti se nalaze apsorpcioni spektri atomskog i molekularnog kiseonika, azota i ozona koji su vezani za elektronske prelaze, i upravo oni apsorbuju veći deo UV zračenja u gornjoj atmosferi. Vibracioni i rotacioni spektri troatomskih molekula N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> i CO<sub>2</sub> leže u IR oblasti [1].

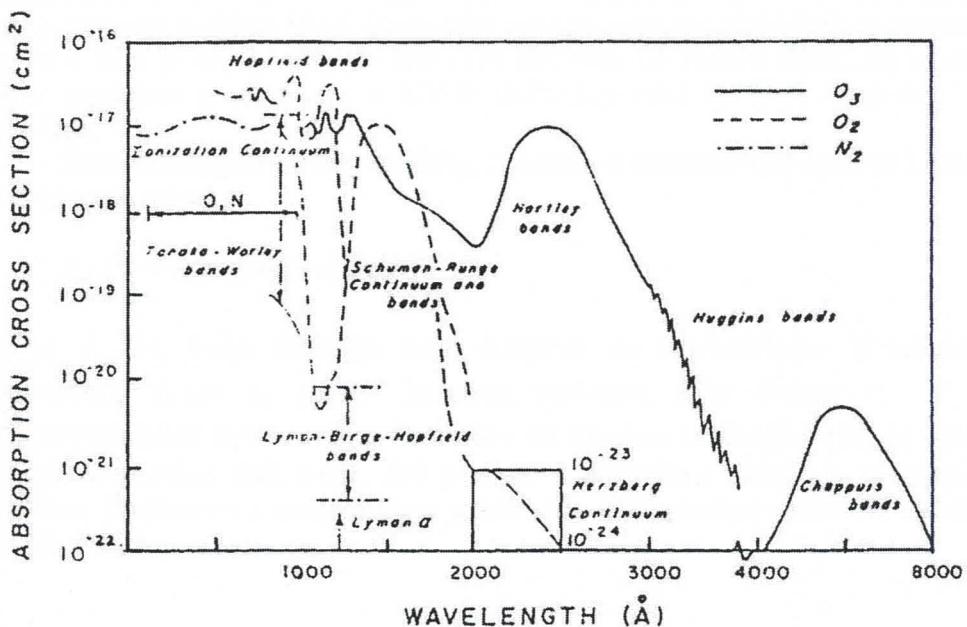
*Molekularni kiseonik* ima apsorpcioni UV spektar od 260 nm ka nižim vrednostima talasne dužine. Tzv. Hercbergova (Hertzberg) traka 260-200 nm je veoma slaba i ne doprinosi u mnogome apsorpciji Sunčevog zračenja jer je prekrivena mnogo jačom trakom ozona u toj oblasti, ali se smatra da ova traka ima uticaja na formiranje ozona. Do ove trake nalazi se sistem traka Šumana (Shuman Range), zatim kontinualni deo u oblasti 200-125 nm. Između 125-100 nm pored ostalih se nalazi i veoma intenzivna linija Lajmana (Lyman)-α na 121.3 nm. Deo spektra kraći od 100 nm zauzima veoma jaka traka O<sub>2</sub>, tzv. Hopfieldova (Hopfield) traka [1].

Apsorpcioni spektar *molekularnog azota* NO<sub>2</sub> počinje na talasnoj dužini 145 nm, a oblast 145-100 nm se sastoji od uskih, oštro razdvojenih linija trake Lajman-Berdž-Hopfilda (Lyman-Birge-Hopfield). U oblasti 100-80 nm nalaze se trake Tanake-Vorlija (Tanaka-Worley), kod kojih se apsorpcioni spektar oštro menja sa talasnom dužinom.

Usled apsorpcije Sunčevog UV zračenja, deo molekula kiseonika i azota se raspada na atomski kiseonik i azot. Apsorpcioni spektar atomskog azota leži u oblasti 1-100 nm, međutim u gornjim slojevima atmosfere nalaze se veoma male količine N i zato je njegova uloga u apsorpciji zračenja mala. Značajniju apsorpciju UV zračenja azot vrši u delu atmosfere iznad mezofere [1]. U istom ovim opsegu 1-100 nm atomski kiseonik ima kontinualan apsorpcioni spektar. Kao posledica ove apsorpcije dolazi do ionizacije molekularnog i atomskog

kiseonika i azota [1]. Upravo ovi procesi su odgovorni za formiranje ionizovanih slojeva u atmosferi.

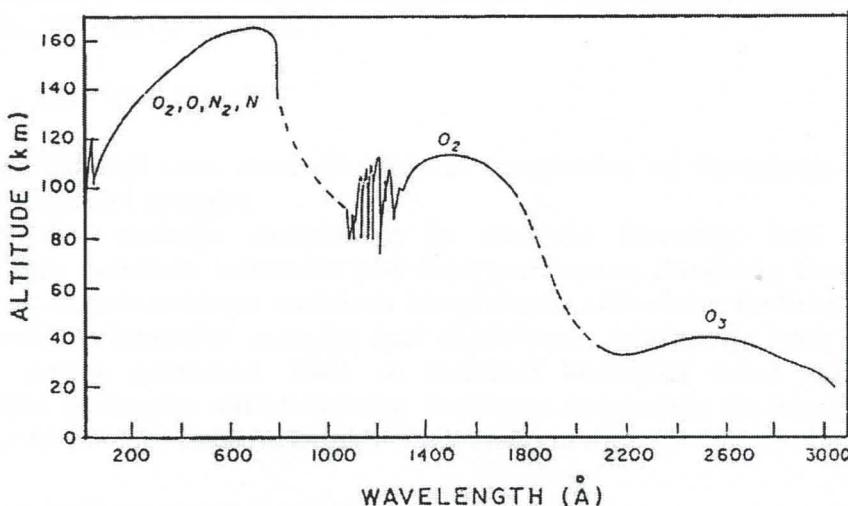
Zračenje u oblasti 200-300 nm apsorbuje pre svega ozon, u gornjim slojevima stratosfere i u mezosferi. Najjača apsorpciona traka ozona naziva se Hartlijeva (Hartley) traka. Traka ozona u oblasti 300-360 nm naziva se



Slika br.5 Relativan značaj apsorpcionih traka u atmosferi [9].

Hjuginsova (Huggins) traka koja je slabija od Hartligeve. (Ozon poseduje i apsorpcionu traku i vidljivoj i IR oblasti 440-1180 nm, Šapuijeva (Chapuis) traka. Na slici br.5 prikazan je relativan značaj različitih apsorpcionih traka.

Na slici br.6 je prikazano na kojim visinama u atmosferi dolazi do slabljenja fluksa e puta pri normalnom upadnom zraku na gornju granicu. Na



Slika br.6 Visine na kojima dolazi do slabljenja fluksa e puta pri normalnom upadnom zraku Sunčevog zračenja na gornju granicu atmosfere [9].

pr. na 110 km na  $\lambda=160$  nm gustina fluksa opadne 2.71 puta. Vidi se da je ozon osnovni apsorber u oblasti 300-200 nm, O<sub>2</sub> je u oblasti 200-85 nm, a ispod 85 nm to su O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O i N [4].

Dakle, zračenje talasnih dužina ispod 300 nm se gotovo potpuno apsorbuje u atmosferi zahvaljujući postojanju ozonskog sloja, zbog čega debljina ozonskog omotača u mnogome utiče na intenzitet apsorpcije. Veći deo UV zračenja između 300 nm i 400 nm stiže do Zemlje i pretvara se u toplotu. Znači, zračenje u oblasti UV-C (200-280 nm) se potpuno apsorbuje u atmosferi, a upravo ono je najštetnije po živi svet obzirom da razara DNK. Za biološke efekte značajno je zračenje u UV-B (280-315 nm) i UV-A (315-400 nm) oblastima.

Generalno, atenuacija upadnog zračenja u atmosferi se opisuje Lambert-Berovim zakonom:

$$F_{dir}(z) = \mu_0 F_\infty \exp(-\tau(z)/\mu_0)$$

gde je  $F_{dir}(z)$  fluks zračenja koje dospeva do horizontalne površine na nadmorskoj visini z,  $\mu_0$  je kosinus zenitnog ugla Sunca  $\theta_0$ ,  $F_\infty$  je ekstraterestrijalni fluks meren normalno na upadno zračenje i  $\tau(z)$  je optička debljina atmosfere duž z-ose. Svi procesi apsorpcije i rasejanja zračenja na različitim česticama i molekulima prisutnim u atmosferi utiču na vrednost optičke debljine  $\tau$  [4].

## 1.7 Ozon

Od posebnog značaja u stratosferi su reakcije u kojima učestvuju različiti oblici kiseonika jer oni određuju sadržaj ozona u stratosferi. Proces formiranja ozona je endoterman proces, tj. zahteva ulaganje energije.

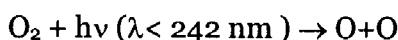
Čepmen (Chapman) je 1930.g. predložio 5 osnovnih reakcija za objašnjenje nastanka ozona:

Osnovni proces formiranja ozona je sudar tri molekula, gde je brzina ove reakcije K<sub>12</sub> ("1" za O, "2" za O<sub>2</sub>)



gde je M bilo koji treći atom ili molekul neophodan za ispunjenje zakona održanja impulsa i energije.

Za ovu reakciju neophodan je atomski kiseonik, koji nastaje disocijacijom molekula kiseonika pod dejstvom kvanta Sunčevog zračenja iz UV oblasti, ili pak sudarom molekula kiseonika sa slobodnim česticama, koje imaju dovoljnu kinetičku energiju (pri električnom pražnjenju kroz gasove, prilikom pojave gromova). Tada se molekuli kiseonika usled sudara sa elektronima ili drugim nanelektrisanim česticama razgrađuju na dva atomska kiseonika; brzinu ove reakcije karakteriše konstanta J<sub>2</sub>:

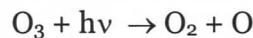


Ozon se formira sjedinjavanjem atomskog i molekularnog kiseonika. Ovu reakciju karakteriše specifičan miris koji podseća na miris belog luka. Zahvaljujući ovoj reakciji, fotoni UV-C dela spektra se apsorbuju i na ovaj način ozon igra značajnu ulogu u apsorpciji UV zračenja.

Sledeća reakcija u nizu se karakteriše konstantom  $K_{13}$ :



Ozon se raspada u procesu fotodisocijacije i formira atomski kiseonik; brzinu ove reakcije karakteriše konstanta  $J_3$ :

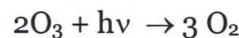
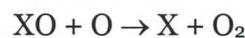


Istovremeno, atomi kiseonika nastali u prve dve reakcije mogu ponovo da učestvuju u trojnim sudarima, konstanta reakcije je  $K_{11}$ :



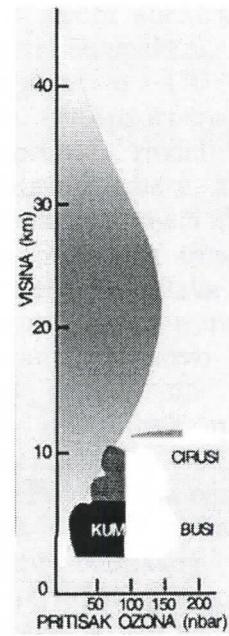
Na osnovu ovih reakcija moguće je računanje koncentracije ozona koja se dešava sjedinjavanjem svih pet reakcija uporedno, međutim eksperimentalne vrednosti se ne slažu sa ovakvim proračunom. Iz toga sledi da je neophodno uzeti u obzir još neke reakcije.

Ovaj ciklus bi se odigravao na opisan način kada u atmosferi ne bi bili prisutni različiti katalizatori procesa, koji se nalaze u atmosferi usled antropogene aktivnosti. Različiti katalizatori su konkurentni procesu. Umesto reakcije (1) odigravaju se reakcije tipa:



gde X može da bude OH, NO, atomski hlor i brom. Ono što je najvažnije, kao krajni produkt tih reakcija je ponovo slobodni radikal X koji ponovo učestvuje u gornjim procesima kao katalizator. Detaljni hemijski procesi koji utiču na razaranje ozonskog omotača biće objašnjeni kasnije.

Ozon ima poseban značaj u atmosferi, jer zadržava skoro 99% UV zračenja na talasnim dužinama ispod 320 nm koje je pogubno za sav živi svet. Većina stručnjaka smatra da se život na Zemlji nije ni razvio pre nastanka ozonskog sloja [1]. Međutim, zbog izrazite reaktivnosti, ozon na Zemlji može da bude izrazito štetan. Njegovo udisanje može da ima vrlo ozbiljne posledice kod čoveka [3]. Srećom, prirodno nastali ozon se većinom nalazi na većim visinama (slika br.7)

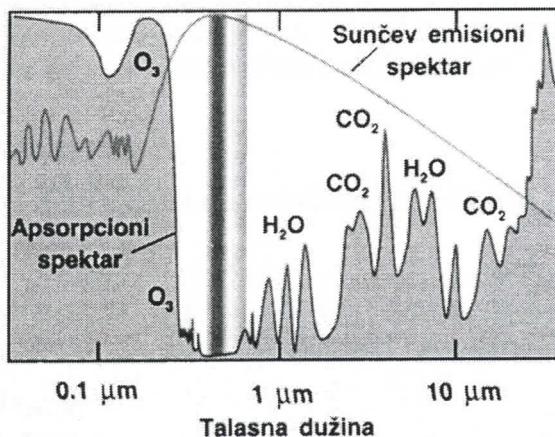


*Slika br.7  
Raspodela ozona  
po visinama u  
atmosferi.*

## 1.8 Ozon i apsorpcija UV zračenja u atmosferi

Fotoni UV zračenja imaju dovoljnu energiju da bi započeli reakcije za formiranje ozona. Te reakcije se odvijaju na onim visinama gde u atmosferi još uvek postoji kiseonik (zbog dejstva gravitacije). Međutim, isto to zračenje katališe reakcije koje razgrađuju molekule ozona. Posle nekog vremena uspostavlja se određena ravnoteža, tj. stacionarno stanje.

Slojevi ozona imaju ogromnu ulogu u apsorpciji štetnog UV zračenja. Na slici br.8 prikazan je apsorpcioni spektar atmosfere u širem spektralnom opsegu. Vidi se da je atmosfera najviše propusna za vidljivi deo spektra, dok je apsorpcija u UV delu visoka. Apsorpcija u mnogome zavisi od količine apsorbera, a to u ovom slučaju znači da debljina ozonskog omotača, kao i debljina oblaka, igraju veoma značajnu ulogu u apsorpciji. Njihovo smanjenje dovodi do povećanog intenziteta propuštenog zračenja.



Slika br.8 Apsorpcioni spektar atmosfere u širokom spektralnom opsegu i Sunčev emisioni spektar.

Postoje dva osnovna faktora koji utiču na debljinu ozonskog omotača, najvažnijeg apsorbera UV zračenja. To su prirodni i antropogeni faktori. Prirodni faktor je uzrokovani atmosferskim pro-

menama tokom godine, dok je antropogeni posledica povećanog zagađenja atmosfere štetnim gasovima koji uništavaju ozonski omotač (pre svega hlorofluorokarbonat CFC).

Tokom godine debljina ozonskog omotača je promenljiva. Izrazite su promene ozonskog omotača iznad Antarktika, gde se u proleće smanjuje čak za 50% usled hemijskih procesa. Na nekim mestima je smanjenje čak 90% i ti delovi se nazivaju "ozonske rupe", koje imaju veoma velik uticaj na klimu cele planete.

Vrlo niske temperature u stratosferi iznad antarktika (ispod -80° C) omogućavaju formiranje oblaka koji su sastavljeni od leda i azotne kiseline, tzv. polarni stratosferski oblaci (PSC, eng Polar Stratospheric Clouds) [3]. Ovakvi oblaci ne mogu da se formiraju u drugim oblastima atmosfere, te se oni formiraju jedino iznad polova.

PSC se formiraju tokom zime. Tokom polarne noći kada nema Sunčevog zračenja ne dolazi do reakcija razaranja ozona. Početkom proleća i krajem zime započinju hemijske reakcije razaranja ozona i debljina ozonskog sloja se smanjuje. Kasnije, tokom proleća i leta PSC oblaci isparavaju i nestaju te ponovo preovlađuju reakcije sinteze ozona. U oktobru ozon dostiže maksimalnu debljinu.



Stalna emisija štetnih gasova u atmosferu poslednjih 30 godina dovela je do smanjenja ozonskog omotača iznad cele Zemlje, a naročito iznad polova. Zbog povećane koncentracije štetnih molekula povećan je i broj reakcija destrukcije ozona, te tokom leta ne može da se nadoknadi izgubljena količina ozona u stratosferi. Tokom poslednjih trideset godina debljina ozonskog omotača se prepovolila.

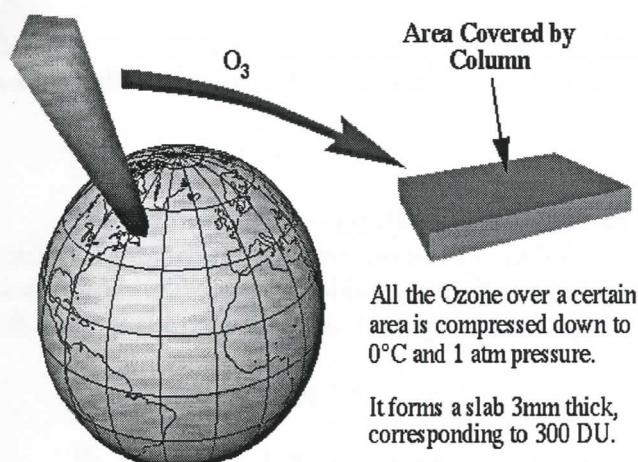
Ozon prisutan u troposferi (na visini oko 10-15 km iznad Zemljine površine) čini manji deo ukupnog ozona u atmosferi, ali ovde se UV zračenje mnogo efikasnije apsorbuje. Naime, ovde su prisutne čestice aerosola i čestice prašine, na kojima se zračenje reflektuje i rasejava, čime se put zračenja znatno produžava, a time je i apsorpcija po jedinici debljine apsorbujućeg sloja efikasnija. Međutim, ozon u ovom sloju se naziva još i "loš" ozon, zbog njegovog lošeg dejstva u blizini Zemljine površine. Taj ozon, ako na bilo koji način dospe u stratosferu postaje "dobar" ozon.

## 1.9 Debljina ozonskog omotača

Osnovna jedinica za merenje debljine ozonskog omotača je Dobsonova jedinica DU (Dobson Unit). G.M.B. Dobson (1920-1960) je jedan od prvih naučnika koji su proučavali atmosferski ozon, dizajnirao je dobsonov spektrometar, standardni instrument za merenje ozona sa Zemlje.

Na slici br.9 prikazan je stub vazduha dimenzija  $10^\circ \times 5^\circ$ . Količina ozona u ovom stubu može pogodno da se meri u Dobsonovim jedinicama.

Kada bi se sav ozon iz ovog stuba sabio pri normalnim uslovima ( $0^\circ\text{C}$ , atmosferski pritisak) i razvukao na ravnu površinu, formirao bi sloj debljine oko 3 mm, što bi odgovaralo debljini sloja ozona od 300DU.



Slika br.9 Definisanje DU.

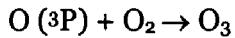
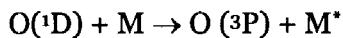
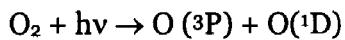
1 Dobsonova jedinica (DU) se definiše kao debljina ovog sloja od 0.01 mm pri normalnim uslovima; tada debljina ozona iznad posmatrane površine iznosi oko 300DU [6].

## 1.10 Hemijski procesi vezani za količinu ozona u atmosferi

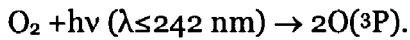
Fotohemijski procesi imaju dominantnu ulogu u atmosferskim hemijskim reakcijama, i propraćene su nastankom velikog broja slobodnih radikala koji dalje imaju ključnu ulogu u hemijskim procesima.

Veoma važna karakteristika fotohemijskih reakcija je njihova visoka selektivnost, tj. zračenje tačno određene energije izaziva određenu hemijsku reakciju. Upravo ovo je razlog što fotohemski reakcije u gornjoj i nižoj stratosferi imaju različite produkte.

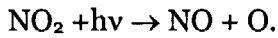
Različite talasne dužine svetlosti katališu određene reakcije kreacije i razaranja ozona. Proces započine reakcijama kreacije slobodnog kiseonika, koji kasnije dovodi do formiranja ozona. U gornjoj stratosferi odvija se proces fotolize za visoke energije UV zračenja ( $\lambda \leq 175\text{ nm}$ ):



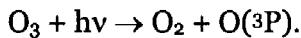
međutim u nižoj atmosferi se odvija proces:



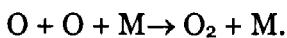
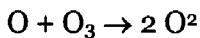
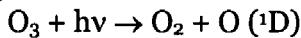
Oznake  ${}^1\text{D}$  i  ${}^3\text{P}$  označavaju stanja do kojih je kiseonik pobuđen.  $\text{NO}_2$  stupa u reakciju disocijacije za talasne dužine manje od 395 nm.



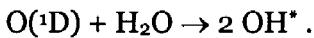
Razlaganje ozona odvija se u procesu fotolize, pri čemu molekuli emituju i apsorbuju elektromagnetsko zračenje koje nije monohromatsko već se sastoji od bliskih uzanih oblasti emisije i apsorpcije u IR, VIS i UV oblastima. U VIS oblasti (Šapuijeve trake) odvija se reakcija razlaganja:



Za talasne dužine manje od 310 nm, u UV oblasti, postoji znatno intenzivniji proces apsorpcije fotona, tj razaranja ozona, ali istovremeno ovde nastaju reakcije kreacije atomskog molekula koji dalje može da stupi u reakciju kreacije ozona:



Ova reakcija može da se odvija u prisustvu vodene pare i tada se oslobađa hidroksil radikal u troposferi:



Reakcije vezane za OH radikal vrše transport polutanata ka stratosferi.

Najznačajniji hemijski procesi koji vrše uklanjanje organskih zagadjujućih supstanci iz atmosfere su procesi fotolize, reakcije sa ozonom i OH radikalom (danju), i reakcije sa  $\text{NO}_3$  tokom noći.

Fotohemijske reakcije utiču na temperaturni profil sve do tropopauze, i deo tih procesa teče nezavisno od antropogenog faktora. Fotohemijsko nastajanje i razlaganje ozona nema neto-efekat jer se opet stvara kiseonik za polaznu reakciju [4].

Međutim, u fotohemiji ozona učestvuje više stotina hemijskih reakcija koji dovode do smanjenja ozona u stratosferi. Većina ovih procesa odvija se takvim mehanizmima da jedan molekul polutanta dovodi do razgradnje mnoštva molekula ozona!

Na količinu ozona u stratosferi veoma značajan uticaj imaju halogenougljovodonici (CFC), koji su do nedavno imali veoma široku primenu: sprej boce, rashladni uređaji, rastvarači u elektronskoj industriji, itd. CFC i  $\text{CCl}_4$  su gotovo inertni u troposferi i procenjeno vreme njihovog života iznosi 50-200 god., dok oni koji sadrže vodonik (HCFC) od 1-20 god.

Fotodisocijacija freona daje slobodan atom hlora i organski radikal. Hlor katalitički (ne trošeći se) razara ozon. Procene su da jedan atom hlora može da razori  $10^5$  molekula ozona [4]. Za slične reakcije  $\text{HCl}$  i familije radikala  $\text{ClO}_x$  predstavljaju "rezervoare" za oslobođanje atoma hlora, i upravo u ovakvim oblicima se najviše hlora i nalazi u stratosferi.

Brom je u freonima mnogo manje prisutan od hlora, tj. njegova koncentracija u atmosferi je takođe mnogo manja. Međutim, potrebna energija elektromagnetnog zračenja za razaranje bromovih molekula daleko je manja nego za hlor. Brom je oko 100 puta efikasniji u razaranju ozona od hlora, te je njegov uticaj uporediv sa uticajem hlora.

### 1.10.1 Antarktička ozonska rupa

Vazduh iznad Antarktika formira gigantski reakcioni sistem koji je u mnogome izolovan od ostale atmosfere. Neobični fizički i hemijski uslovi omogućavaju nastajanje reaktivnih hlorinih "rezervoara" koji efikasno katalizuju reakcije razlaganje ozona [3]. U nižim delovima stratosfere temperatura opada i do  $-80^\circ\text{C}$  te se formiraju PSC oblaci koji su većinom sastavljeni od vode i azotne kiseline, a na površini stratosferskih oblaka dolazi do reakcija iz "rezervoara" hlora.

U atmosferi Antarktika odvija se niz reakcija.  $\text{HCl}$  se rastvara, a hlorinitrat  $\text{ClONO}_2$  se adsorbuje i reaguje. Azotna kiselina  $\text{N}_2\text{O}_5$  reaguje sa  $\text{HCl}$ . U gasnoj fazi postoji ravnoteža između  $\text{N}_2\text{O}_5$  i  $\text{NO}_2$ . Dolazi do reakcije denoksifikacije, tj. do izvlačenja  $\text{NO}_2$  iz gasne faze i vezivanje za oblake u kojima se formira  $\text{HNO}_3$ . Molekuli  $\text{Cl}_2$  i  $\text{HOCl}$  se lako fotolitički razlažu, ali to dovodi do reakcije ponovnog formiranja  $\text{ClONO}_2$  (u reakciji sjedinjavanja  $\text{ClO}$  i  $\text{NO}_2$ ). Glavne reakcione vrste koje razaraju ozon su  $\text{Cl}$  i  $\text{ClO}$ .

Odlučujuća, vrlo brza reakcija, koja je odgovorna za gubitak 70 % antarktičkog ozona uključuje hloroperoksid  $\text{ClOOCl}$  ( $\text{ClO}$  dimer). Ona započinje fotolizom hloroperoksiда i zahteva UV zračenje koje je zastupljeno u

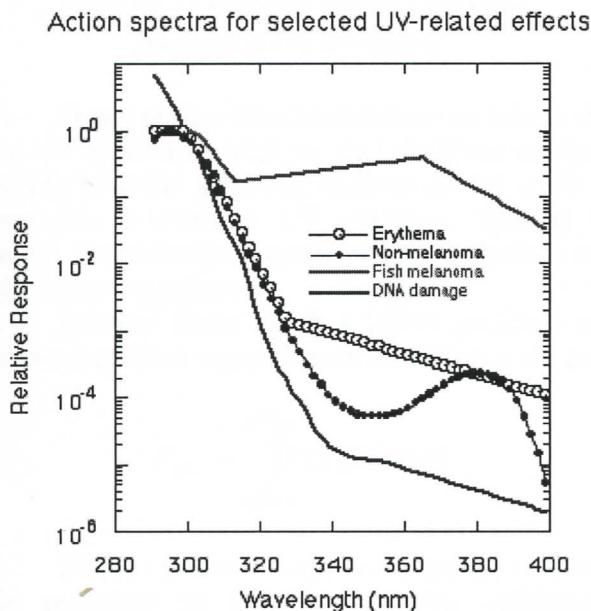
nižim slojevima stratosfere tek u proleće, kada nakon dugog zimskog vremenskog perioda građenja ClO i ClOOCl, nastaje njihova brza destrukcija.

Gubitku 20 % antarktičkog ozona doprinose reakcije u kojima reaguju ClO sa BrO.

Najveća količina štetnih gasova emituje se sa Zemlje i to upravo sa područja koja su visoko razvijena, međutim najveća smanjenja ozonskog omotača locirana su iznad polova. Ovo je posledica strujanja gasova u atmosferi. Polutanti se šire uglavnom iznad hemisfere na kojoj su i nastali, a strujanja u atmosferi ih prenose do polova [3].

## 1.11 Aktivni spektar UV zračenja, UV indeks i MED

Atmosfera apsorbije UV zračenje, ali pri tome se različite komponente UV zračenja apsorbuju u različitoj meri.



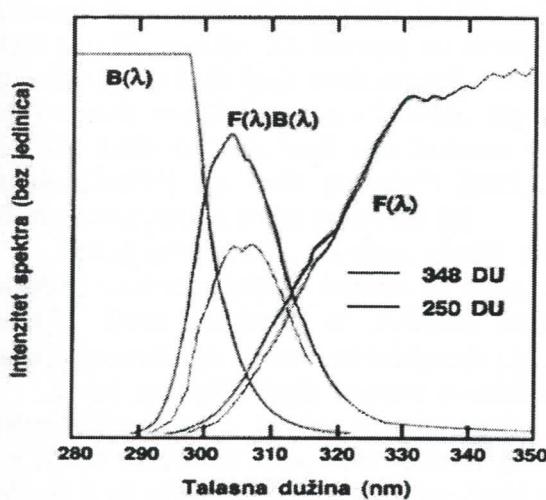
Slika br.10 Biološki aktivni spektari pojedinih efekata UV zračenja.

Podela UV zračenja na UV-A, UV-B i UV-C zračenje izvršena je prema biološkom dejstvu na žive organizme. Biološki efekti na žive organizme su različiti i zbog toga je definisan biološki spektar za svaku vrstu tog dejstva. Na slici br.10 prikazano je nekoliko spektara biološkog dejstva UV zračenja na žive organizme.

Za čoveka je najznačajniji eritemski spektar, tj. spektar zračenja koji izaziva crvenilo kože. Ovaj spektar je ispitivan laboratorijskim istraživanjima, utvrđen i u srednjem dat kao [7]:

$$B(\lambda) = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda < 298 \text{ nm} \\ 10^{0.094(298-\lambda)} & \text{za } 298 \text{ nm} < \lambda < 328 \text{ nm} \\ 10^{0.015(139-\lambda)} & \text{za } 328 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm} \\ 0 & \text{za } \lambda > 400 \text{ nm} \end{cases}$$

UV zračenje do talasnih dužina od oko 298 nm ima izuzetno razarajuće dejstvo, dok iznad tih vrednosti talasnih dužina ovo dejstvo opada. Zračenje talasnih dužina iznad 325 nm gotovo da nema opasnih posledica. Na slici br.11 prikazana je funkcija biološkog dejstva B(λ).



Slika br.11 Biološki aktivni spektar Sunčevog UV zračenja.

Međutim, stvarni aktivi

vni biološki spektar zavisi i od spektralne raspodele zračenja kojoj se izlaže organizam [3]. Na slici br.11 prikazan je i spektar UV zračenja koje stiže do Zemlje  $F(\lambda)$ . Pri tome je ovde prikazan samo kvalitativan odnos ovih spektara za dve debljine ozonskog omotača.

Realni aktivni biološki spektar  $BA(\lambda)$ , takođe je prikazan na slici, i dobija se množenjem funkcija  $F(\lambda)$  i  $B(\lambda)$ :

$$BA(\lambda) = B(\lambda)F(\lambda).$$

Ovaj spektar ima maksimum za talsne dužine od 300-305 nm i većinom je u UV-B oblasti. Vidi se da i debljina ozonskog omotača utiče na promenu realnog biološki aktivnog spektra na taj način što smanjenje ozona dovodi do povećanja intenziteta UV zračenja. Spektri tipa  $BA(\lambda)$  nazivaju se otežani spektri, jer uzimaju u obzir ne samo spektar zračenja, nego i njegovo biološko dejstvo na organizam.

Ukupni fluks UV-B i UV-A zračenja se dobija integrisanjem biološki aktivnog spektra u granicama od 280 nm do 400 nm:

$$F_{UV} = \int_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} F(\lambda)B(\lambda)d\lambda$$

Fizička jedinica koja se koristi za ovu veličinu je  $\text{W/m}^2$ , ali ova jedinica nije pogodna za široku upotrebu prilikom svakodnevnog obaveštavanja javnosti. 1994. godine je definisana i usvojena jedinica **UV indeks** [8] koja se koristi za izražavanje intenziteta UV zračenja prilikom obaveštavnja javnosti.

UV Indeks	Nivo zračenja
1 - 3	Niski nivo
4 - 6	Srednji nivo
7 - 9	Visoki nivo
10 -	Ekstremno visok nivo

Tabela br.1 Podela UV indeksa prema intenzitetu zračenja

zivanja trenutnih vrednosti treba da se koriste usrednjene vrednosti na svakih 5-10 minuta [10].

Vrednost od **1 UV indeksa** odgovara fluksu zračenja od **25 mW/m<sup>2</sup>**. U tabeli 1. je prikazana podela UV zračenja prema intenzitetu.

Prilikom obaveštavanja javnosti preporučuje se termin UV indeks, a ne solarni UV indeks, ili indeks potamnjivanja. Prilikom obaveštavanja javnosti ili u prognozi za maksimum treba da se koristi tridesetominutna usrednjena vrednost. Kod prikazivanja trenutnih vrednosti treba da se koriste usrednjene vrednosti na svakih 5-10 minuta [10].

Bitno je da se naglasi da dejstvo UV zračenja nije jednako za sve ljude. U zavisnosti od karakteristika kože, prilikom izlaganja Suncu crvenilo može da se pojavi pre ili kasnije. Za Evropu su usvojena četiri karakteristična tipa kože. Tip *jedan* je tip kože koja uvek crveni, a nikada ne tamni. To su ljudi sa izrazito svetlim puti, svetlim očima i kosom. Tip kože *dva* po pravilu crveni, a retko crni. Tip kože *tri* su ljudi smeđe kose i očiju, na suncu crne, a ne crvene odmah. *Cetvrti* tip kože poseduju ljudi tamne puti, i tamne kose i očiju. Njihova koža crni, a retko pocrveni [4].

Pored intenziteta, na njen efekat zračenja utiče i vreme izlaganja. UV zračenje ima kumulativno dejstvo na kožu, odn. efekat zavisi od primljene doze zračenja. Doza zračenja se definiše kao integral po vremenu proizvoda intenziteta zračenja i vremena izlaganja [3].

Doza zračenja koja izaziva crvenilo kože koja pre toga nije izlagana dejstvu UV zračenja, naziva se Minimalna Eritemalna Doza (MED). Vrednost od 1 MED zavisi od tipa kože (iznosi od 200-450 J/m<sup>2</sup>). Isti intenzitet UV zračenja kod prvog tipa kože mnogo brže može da izazove crvenilo nego kod četvrtog tipa kože.

## Glava 2

### ŠTETNO DEJSTVO

#### 2.1 Dejstvo UV zračenja

U glavi 1 opisano je dejstvo UV zračenja u atmosferi. Pri tome je naznačeno da ono ima izrazito selektivno dejstvo, tj. da zračenje tačno oderđene talasne dužine izaziva odgovarajuće fizičko-hemijske reakcije.

UV-C zračenje ne dospeva do nivoa mora jer ga apsorbuje ozonski sloj stratosfere i na sreću ne može da ugrozi živi svet na Zemlji. Međutim, prisutno je u našem okruženju, jer ga emituju veštački izvori: lampe u mikrobiološkim laboratorijama, fototerapijski i fotodijagnostički uređaji, fotoštamparije itd [3].

Od ukupnog UV zračenja koje dospeva do biosfere 98% čini UV-A zračenje, a svega oko 2% UV-B deo spektra [3]. Upravo ova zračenja imaju značajan uticaj na živi svet na Zemlji.

#### 2.2 Štetno dejstvo UV zračenja kod čoveka

U ovom poglavlju će biti razmatrano štetno dejstvo UV zračenja na čovekov organizam i pri tome će se koristiti podela podela UV zračenja prema biološkim efektima (UV-A  $\lambda=320\text{-}400\text{nm}$ ; UV-B  $\lambda=290\text{-}320\text{nm}$ ; UV-C  $\lambda=180\text{-}290\text{ nm}$ ).

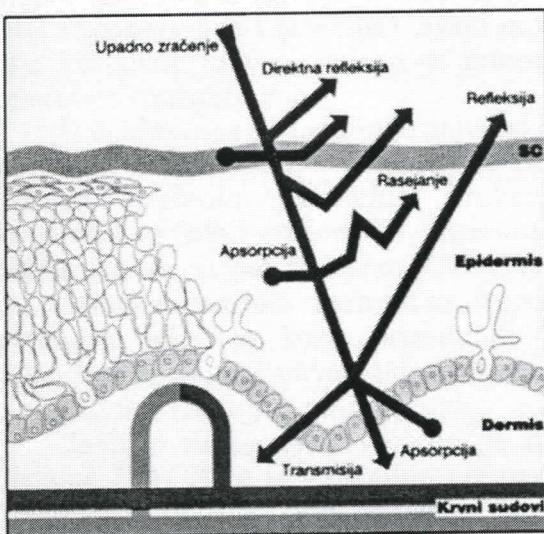
UV-C zračenje (100-290nm) apsorbuju svi delovi ćelije, uključujući i nukleinske kiseline, te ono može da izazove njihovu smrt. Ovo zračenje ima najveću energiju u UV oblasti.

UV-B zračenje (290-320nm), iako je malo zastupljeno u Sunčevom zračenju koje dospeva do Zemljine površine (svega 0.1%), ono je odgovorno za najveći broj promena kod živih organizama. U koži čoveka ono je zaslužno za konverziju D<sub>3</sub> vitamina, opekatine, mutacije, stvaranje slobodnih radikala, prevremenost starenje kože, karcinogenezu, primaran uzrok starenja i fotokeratitisa očiju i predstavlja značajan faktor u razvoju katarakte itd [3].

UV-A zračenje (320-400nm) nikako ne može čulima da se oseti i zbog toga se dugo verovalo da je bezopasno. Međutim, ono prodire dublje u kožu od UV-B zračenja, njegovo dejstvo je kumulativno i ispoljava se mnogo kasnije nakon izlaganja dejstvu Sunca. Izaziva stvaranje slobodnih radikala a oni deluju na genetski materijal, DNK, funkcionalne proteine i ćelijske membrane. UV-A zračenje je odgovorno za pojavu fotodermatoza i fotosenzibilizaciju egzogenih ili endogenih supstanci prisutnih u koži. Pojačava efekte UV-B zračenja, doprinosi hroničnim oštećenjima kože i očiju, imunološkim reakcijama, starenju i pojavi bora, a veruje se da je u direktnoj vezi sa pojavom melanoma [3].

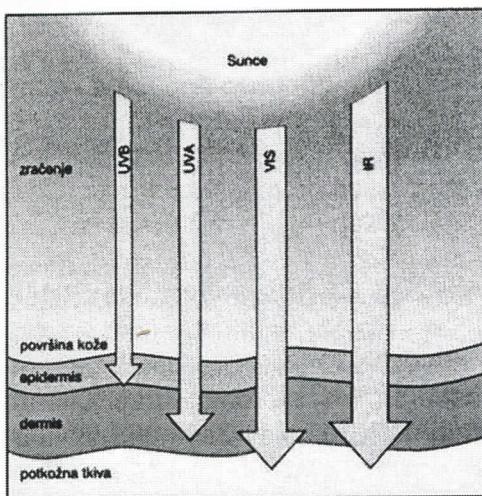
Efekti Sunčevog zračenja na živi organizam zavise od talasne dužine, intenziteta i dužine dejstva zračenja, kao i sposobnosti organizma da se odbrani od njegovog štetnog dejstva.

## 2.2.1 Fizičko-hemijsko dejstvo Sunčevog UV zračenja na kožu čoveka



Slika br.12 Raspodela UV zračenja u koži.

deo zračenja se zaustavlja. Pri tome se odigravaju procesi refleksije, refrakcije, difrakcije i prave apsorpcije (slika br.12).



Slika br.13 Transmisija UV-A, UV-B, VIS i IR zračenja kroz kožu.

Najveći broj reakcija koje se dešavaju u koži, posledica su UV zračenja u opsegu 290-400 nm, ali zbog efekata koje pokreće posebno je značajno UV-B zračenje ( $\lambda=290-320$  nm). Ono izaziva niz, kako pozitivnih procesa kao što su stvaranje melanina i konverzija D<sub>3</sub> vitamina, tako i negativnih, kao što su ubrzavanje procesa starenja kože, karcinogeneze i razne vrste mutacija.

Prilikom uobičajenog izlaganja kože dejstvu Sunca, usled fizičke interakcije fotona i bioloških makromolekula, u površinskom sloju kože veliki

Fotoni nailaze na nehomogenu strukturu tkiva, koju čine makromolekuli, mikrobaseni vode, ćelijske organele i sl. i oni predstavljaju prepreku za prolazak zračenja u dublje slojeve kože [3].

*Refleksija* ovde zapravo predstavlja promenu smera fotona bez razmene energije, te iz tog razloga nema efekata zračenja na kožu. Međutim, ovaj proces može da se ponavlja sve dok foton potpuno ne izgubi energiju, ili napusti epidermis u jednom od dva pravca: ka površini, tj. van kože ili ka sledećem sloju kože, dermisu.

*Transmisija* podrazumeva propuštanje zračenja do dubljih slojeva kože, odn. do dermisa i

krvnih sudova[3]. Količina pigmenta melanina u epidermisu određuje koja količina zračenja će se propustiti do dermisa. Najmanju prodornost ima UV-B zračenje, te se njegovi efekti ispoljavaju samo u epidermisu, dok UV-A zračenje dopire do dermisa, a VIS i IR zračenje čak i do potkožnih tkiva (slika br.13). Na sreću, njihova energija je relativno mala, te oni ne izazivaju negativne efekte koji bi ugrozili zdravlje kože ili čitavog organizma [3].

*Apsorpcija* zračenja je uslov i početak bilo koje fotohemijske reakcije [3]. Ona može da se odvija u svim slojevima kože, ali uz prisustvo molekula hromofora, ili njihovih podjedinica (hromofoarnih grupa, na pr. aromatični ostaci aminokiselina i proteina). Svaki molekul hromofora apsorbuje zračenje tačno određene talasne dužine, a intenzitet apsorpcije zavisi od njihovog rasporeda i koncentracije.

U epidermisu se apsorbuje najveći deo UV-B zračenja. To su hromofore kao što su aminokiseline, belančevine (na pr. keratin), nukleinske kiseline, pigmenti (melanin, karotenii), urokanska kiselina, holesterol. Glavni hromofojni molekul epidermisa, melanin, ima sposobnost apsorpcije fotona talasnih dužina od 350-1200 nm (UV-A, VIS, IR deo Sunčevog spektra) [3].

Mnogi istraživači smatraju urokansku kiselinu, koja se nalazi u krajnjim perifernim delovima kože, prirodnom "sun-block" supstancom, jer njen apsorpcioni spektar obuhvata talsne dužine 240-300 nm, odn. obuhvata glavni eritemalni deo (290-310 nm) [3].

Zaštitni sistem kože većinom je raspoređen u površinskim, neživim, slojevima kože čime se umanjuje intenzitet zračenja koje dopire do dubljih slojeva kože, dermisa gde se nalaze "žive" ćelije, a samim tim i smanjuje verovatnoća aktiviranja nepoželjnih procesa.

Za apsorpciju je neophodno direktno prisustvo svetla, međutim, za fotohemijske reakcije koje slede najčešće nije potrebno prisustvo svetla. Primarni proizvodi tih reakcija su metastabilna pobuđena stanja, ili slobodni radikali. Oni imaju osobinu da razaraju vitalne strukture kao što su DNK, proteini i ćelijske membrane. Time nastaju novi reaktivni radikali koji napadaju okolne molekule i šire se kroz kožu i organizam. Kraj fotoreakcije označava stvaranje stabilnih proizvoda, koji nastaju unakrsnim vezivanjem DNK i proteina. Proizvodi ovih reakcija mogu da budu korisni (na pr. konverzija D<sub>3</sub> vitamina), ali većinom su štetni (na pr. mutacije DNK).

Zaštitni mehanizmi kože su hiperplazija i melanogeneza. Zadebljavanje epidermisa, hiperplazija, nastaje usled stimulacije bazalnog sloja na deobu pod dejstvom UV-B dela spektra. Melanogeneza predstavlja stvaranje pigmenta kože. Melanin reflektuje i apsorbuje 90% UV zračenja. On apsorbuje fotone i na taj način slablji intenzitet zračenja, "hvata" slobodne radikale nastale pod dejstvom UV zračenja i vezuje jone Fe koji katalizuje nepoželjne efekte i time kontroliše štetnost zračenja na kožu.

## **2.2.2 Neželjeni efekti kod čoveka**

### Opekotine

Prva reakcija kože na delovanje Sunčevog zračenja nastaje usled niza fotohemijskih reakcija, koje započinju apsorpcijom fotona zračenja u hromoforima kože. Pojavljuje se u obliku eritema, odn. crvenila, koje nastaje usled širenja krvnih sudova. U ozbiljnijim slučajevima nastaje opekotina, sa pojavom plikova, bola, pečenja i zatezanja kože, svraba, povišene temperature, mučnine, glavobolje [3].

Karakteristike eritema se razlikuju od talasne dužine i doze zračenja; trajanje eritema odgovara dozi zračenja, a stepen crvenila srazmeran je logaritmu doze. UV-A zračenje 100-1000 puta je manje efikasno u formirajuju eritemu od UV-B zračenja. UV-A izaziva zapaljensku reakciju u dermisu, dok

UV-B izaziva zapaljensku reakciju samo u epidermisu. Na osnovu ovoga može da se izvede zaključak da se akceptor i kvanata zračenja međusobno razlikuju i da se nalaze na različitim dubinama u koži.

### Fotodermatoze

Fotodermatoze su oboljenja koja nastaju zbog dejstva UV i/ili VIS zračenja, ali ovaj termin ne obuhvata kancerogene promene kože koje izaziva ovaj deo Sunčevog spektra [3]. Uzroci nastanka fotodermatoze mogu da budu: poremećaj metaboličkih procesa, lekovi ili hemikalije koje se primenjuju sistemski ili preko kože, idiopatska oboljenja (na pr. polimorfne svetlosne erupcije), postojeća oboljenja pogoršana UV i/ili VIS zračenjem (na pr. dečije beginje, herpes simplex, autonimno oboljenje).

Na neka oboljenja kože Sunčev zračenje deluje blagotorno, te se na osnovu ovoga zasnivaju određene metode lečenja-helioterapije (kao na pr. kod psorijaze ili tuberkuloze kože). Na pr. PUV terapija, koja je osnovni način lečenja psorijaze, predstavlja kombinaciju psoralena (P) i UV-A zračenja. Međutim, ovakve terapije, po novijim istraživanjima, predstavljaju povećani rizik od karcinoma skvamoznih ćelija, zbog dejstva kumulativnih doza UV-A zračenja.

### Fotosenzibilizacije

Fotosenzibilizacija predstavlja neuobičajenu reakciju kože na Sunčev zračenje, u prisustvu određenih supstanci [3]. Ova pojava je poslednjih decenija sve češća. Izazivaju je razni faktori koji u organizam mogu da dospeju putem hrane, preko kože, lekova (čak 250 lekova u kombinaciji sa sunčanjem može da izazove ovu reakciju) i sl. Osim toga, može da se pojavi zbog različitih hemikalija koje dolaze u kontakt sa kožom, sredstava za čišćenje, kozmetičkih preparata, čak i nekih UV filtera, koji su osnovne komponente preparata za zaštitu od Sunca.

Fotosenzibilizacija je fotohemski proces koji nastaje kada se energija prenosi sa molekulama koji je apsorbovao zračenje (hromfore, koje se u ovom slučaju nazivaju fotosenzibilizatori) na drugi molekul (supstrat). Hromfore mogu da budu egzogene ili endogene supstance. Rezultat tih reakcija je hemijska promena molekula supstrata, koja dovodi do oštećenja ili smrti ćelije. Fotosenzibilizacija se na koži manifestuje svrabom, pojmom plikova, otoka, pojačane pigmentacije, nenormalno burnih reakcija ili neočekivano jakih opekotina [3].

Postoje dva osnovna tipa fotosenzibilizacije: fototoksični i fotoalergijski tip.

Fototoksični ili fotodinamski tip podseća na izuzetno jaku opekotinu i javlja se samo na površinama kože koje su izložene Suncu. Apsorbovano zračenje izaziva oštećenja molekula DNK ili stvaranje toksičnih prizvoda u ćeliji. Tretira se slično kao i opekotine.

Fotoalergija ili fotoalergijski dermatitis je alergijska reakcija na različite hemikalije, izazvana sunčanjem. To je odgovor ćelija imunološkog sistema na dejstvo zračenja u prisustvu određenih supstanci na koje već postoji senzibilizacija. Promena nastaje po uklanjanju uzročnika ili prekidu sunčanja. Najčešći primer su solarne urticarije nastale zbog korišćenja lekova, uglavnom

antibiotika, nekih sastojaka hrane ili parfema na delovima kože koji su izloženi Suncu [3].

### Starenje

Starenje je prirodan, regresivan proces i predstavlja niz fizioloških promena koje se dešavaju u organizmu. Starenje podrazumeva i promene koje nastaju usled stalnog nepovoljnog dejstva agresivnih faktora okoline.

Prirodno starenje kože obeležava njenostanjanje, gubljenje elastičnosti i gubljenje zategnutosti kože. Ono se javlja tek oko 50. godine života. Prevremeno, fotostarenje kože je posledica nagomilanih promena, odnosno hroničnog fotoosetećenja. Javlja se čitavu deceniju-dve ranije nego kod prirodnog starenja. Stalne male doze UV-A zračenja koje koža prima, izazivaju oštećenja vlakana u dermisu. Ona gube svoju strukturu, orientaciju i funkcionalnost, te koža postaje gruba i gubi pokretljivost [3]. Pored toga, stalne male doze UV-A zračenja izazivaju prerano pojavljivanje opuštene i izborane kože.

Unutar UV-A dela spektra postoje razlike u dejstvu:

-kratkotalan UV-A-1 zračenje,  $\lambda=320-340$  nm, doprinosi stvaranju opeketina i drugih efekata koje izaziva i UV-B zračenje.

-dugotalan UV-A-2 zračenje,  $\lambda=340-400$  nm, najnoviji naučni eksperimenti ukazuju na mogućnost da je upravo ono glavni razlog za pojavu malignog melanoma i fotostarenje [3].

UV-A zračenje inhibira reparaciju DNK i dovodi do pada otpornosti kože na druge neželjene efekte kože kao što su aerozagađenje, teški metali, promene temperature i vlažnosti vazduha, loše navike, stres i sl., te doprinose njenom oštećenju.

UV-A zračenje na kožu deluje pre svega indirektno, jer ima nizak sadržaj energije. Ono započinje oksidacione procese i dovodi do stvaranja slobodnih radikala. Najopasnijim reaktivnim kiseoničnim vrstama za kožu smatraju se:

-pojedinačni kiseonik  ${}^1O_2$  (UV-A usmerava na oštećenje mitohondrijalne DNK)

-superoksid anjon  $O_2^-$  (od njega nastaju drugi štetni radikalni)

-hidroksil radikal  $·OH$  (jedan od najaktivnijih i najagresivnijih radikala, citotoksičan je i izaziva mutacije DNK) [3].

Danas se smatra da je za očuvanje mладалаčkog izgleda kože potrebno umereno izlaganje kože dejstvu Sunca.

### Oštećenje imunološkog sistema

Imuni sistem brani organizam od infektivnih oboljenja i sprečava razvoj određenih kancerogenih oboljenja. Ukoliko je imuniloški sistem oštećen, organizam je ostljiviji na spoljašnje uticaje.

U epidermisu su smeštene ćelije imunološkog sistema, Langerhansove ćelije. One reaguju sa "napadačem" i započinju imunilošku reakciju. Jedan od najopasnijih faktora po ove ćelije je Sunčev zračenje, koje ih uništava.

### Rak kože

Od 1930. godine, povećanje broja obolelih od malignog mailnoma iznosi 1800%! U Australiji se javlja oko 50% svih karcinoma na Svetu [3].

Smatra se da ovo drastično uvećanje broja obolelih od raka kože potiče usled promenjenih navika ljudi, napredka nauke i tehnologije, razvoja

dijagnostike u medicini, produženja prosečnog životnog veka, ali i zbog ozbiljnog oštećenja ozonskog omotača. Najozbiljniji uzrok raka kože u novije vreme, ipak, predstavlja preterano sunčanje i upotreba solarijuma.

Karakteristika kancerogenih oboljenja uopšte je nekontrolisan rast ćelija. Karakteristika nemelanomskih oblika raka kože su nekontrolisan rast epitelnih ćelija u najpovršnjem sloju. *Rak bazalnih ćelija*, poznat kao "glođući rak" (BCC, engl. Basal Cell Carcinoma) je najčešći oblik raka kože, a pojavljuje se obično kao zadebljala crvena promena kože, ponekad kao gomila ili čir, veličine svega nekoliko milimetara, koja ne zarasta [3]. Razvija se godinama, bezbolno, najčešće se pojavljuje na licu, ali može se naći i na trupu ili udovima, i nema težnju da se širi.

*Rak skvamoznih ćelija* (SCC, engl. Squamous Cell Carcinoma) je drugi po učestalosti rak kože. Ukoliko se ne leči, tokom nekoliko meseci može naglo da naraste, čak i do nekoliko centimetara. To su zadebljale lezije koje su ponekad ostljive na dodir, najčešće se viđaju na koži koja je izložena dejstvu zračenja, na glavi i vratu. Ukoliko se ne leči na vreme može da se proširi do regionalnih limfnih čvorova i odatle do pluća, jetre i drugih organa. Stalno prekomerno izlaganje Suncu povećava rizik od pojave SCC.

Treći osnovni tip raka kože je *melanom* i predstavlja nekontrolisan rast melanocita, koji se manifestuje u vidu tamno braon promena na koži. Može da se javi i bez vidljivog uticaja Sunčevog zračenja na kožu, ali mnogo češći je kod osoba koje su u detinjstvu ili ranoj mladosti pretrpele jake opekotine. Za razliku od BCC i SCC melanomi mogu da se pojave u relativno ranom životnom dobu. Od svih oblika kancerogenih oboljenja melanomi su najmaligniji i najprogresivniji, i ako se ne leče na vreme, u inicijalnom stadijumu, brzo se šire kroz organizam i izlečenje je u tom stadijumu izuzetno retko [3].

*Solarne keratoze* su dosta česti benigni tumori kože koji predstavljaju nenormalni rast ćelija na površinama kože koje su često izlozene dejstvu Sunca [3]. Javljuju se na istim mestima kao i SCC, to su promene kože koje su tvrde u odnosu na okolnu kožu. Često se javlja više keratoza istovremeno; zbog nagomilavanja keratina one su crvene ili neke druge boje; obično 3-10 mm veličine. One predstavljaju faktor rizika za SCC. Jedini uzrok keratoza je Sunčev zračenje.

*Mladeži* su benigni tumori melanocita [3]. Veliki broj melanoma se razvija iz mladeža koji su već postojali, te su osobe sa većim brojem mladeža podložnije ovoj bolesti. Međutim, mnogi melanomi nastaju i iz naizgled normalne kože. Urođeni mladeži koji rastu preko 1.5 cm u dijametru, imaju 6% šansi da postanu maligni posle 18. godine [3].

### 2.2.3 Dejstvo UV zračenja na oči

Oko je direktno dostupno dejstvu Sunčevog zračenja, te je iz tog razloga u većoj meri i na njega osetljivo. U izvesnoj meri, samo oko ima nekoliko sopstvenih mehanizama zaštite, pre svega položajem, a zatim i spoljašnjim delovima oka: zenica reguliše fluks svetlosti koji dospeva u oko svojim širenjem i skupljanjem, dužica sadrži pigmentaciju.

Više od 99% UV zračenja se apsorbuje u prednjim delovima oka, ali mali deo dospeva do retine, dela koji je osetljiv na svetlost. Iz tog razloga su bolesti oka uslovljene UV zračenjem najviše vezane za ove delove. Najveći deo UV-B zračenja apsorbuje koronea i očno sočivo, i ono izaziva oštećenja u ovim

delovima oka. Ako se retina izloži dejstvu UV zračenja i ona može da se ošteći. UV-A zračenje ima veću prodornost, i izaziva oštećenja na dnu oka.

Bolesti očiju koje su prouzrokovane UV zračenjem su katarakta, pterigijum, fotokeratitis, maligne promene kože oko očiju i makularna degeneracija.

Katarakta ili očna mrena, tj. zamućenje očnog sočiva, je glavni uzrok slepila širom sveta. Ona se ne može u potpunosti sprečiti, ali može da se uspori njen razvoj. Smatra se da je Sunčeve zračenje, posebno UV-B deo spektra, preko stvaranja slobodnih radikala, osnovni uzročnik ovog oboljenja, mada ga ubrzavaju faktori sredine, kao što su aerozagađenje, duvanski dim ili toksične supstance. Bolest se razvija tokom mnogo godina.

Očna sočiva fokusiraju svetlost na retinu. Da bi slika bila što oštrija, sočiva moraju da budu potuno čista i bistra. Uglavnom su izgrađena od vode i proteina, koji se postavljuju tako da zračenje nesmetano prolazi kroz sočivo [3]. Ukoliko dođe do povezivanja molekula proteina, sočivo će se zamutiti u većoj ili manjoj meri. Ovo predstavlja kataraktu. Ona se ne širi sa jednog oka na drugo, ali se kod najvećeg broja ljudi ipak javlja na oba oka [3].

Pterigijum predstavlja rast tkiva na beonjači, u vidu belih membrana koje prekrivaju oko i mogu da blokiraju vid. Posledica je dejstva UV zračenja i uklanja se hirurškim putem [3].

Fotokeratitis je reverzibilno, akutno zapaljenje površinskih slojeva oka, korone i konjuktive, koje nastaje usled direktnog, prekomernog dejstva UV-B zračenja [3]. Efekat je srazmeran dozi primljenog zračenja, a posle jednog pojavljivanja, oči postaju još osjetljivije na svako sledeće izlaganje. Povećana doza zračenja može da se pojavi usled refleksije zračenja od snega (sneg reflektuje do 95%, a prosečno oko 50% zračenja), vode, peska itd. Javlja se kao "snežno slepilo" i praćeno je osećajem grebanja u očima. Obično počinje nekoliko sati posle dejstva Sunca i može da potraje i do nekoliko dana, nakon čega spontano nestaje.

Makularna degeneracija oka razvija se zbog prekomernog izlaganja UV zračenju i intenzivno plavo-ljubičastom svetlu, pri čemu se oštećuje tkivo retine. Makula je deo retine koji obezbeđuje jasan i oštar centralni vid [3]. Koristi se prilikom čitanja, gledanja televizije i sl. Ova bolest je glavni uzrok slepila kod ljudi starijih od 55 godina, češće se javlja kod žena, i osoba sa svetlim očima. Gubitak vida se odvija sporo, zahvata oba oka istovremeno, ali u različitom stepenu. Oštećenja su blaga i neupadljiva, uz povremene glavobolje ili osećaj peckanja u očima. Ozbiljne promene nastaju tek posle mnogo godina.

Rak kože oko očiju, na kapcima i licu može da bude posledica UV zračenja. Za ovu bolest, rizičnu grupu predstavljaju osobe koje provode više vremena na Suncu i vetru.

Oštećenja očiju izazvana UV zračenjem mogu da se pojave kod svake osobe, naročito kod onih koji više vremena provode na otvorenom, kao što su radnici, deca, sportisti itd [3]. Odgovarajuće mere zaštite predstavljaju upotreba naočari, šešira i, naravno, izbegavanje aktivnosti na Suncu kada je zračenje intenzivno.

## **2.3 Štetno dejstvo UV zračenja na biljke**

Biljke mogu da budu osetljive na povećano dejstvo UV zračenja. Naučna istraživanja pokazuju da neki tipovi biljaka reaguju različito na dejstvo UV zračenja. Na primer, uzorci soje koji su bili izlagani višim nivoima UV zračenja u staklenim baštama, imali su manje listove ili su bili manjeg rasta od onih koji nisu bili izloženi ovom dejstvu. Druge biljke nisu pokazale nikakve znake promene pri istom eksperimentu. One se nazivaju tolerantnim na UV zračenje, dok one koje su reagovale nazivaju se osetljivim na UV zračenje.

Veoma je teško izvršiti kvantitativnu procenu efekta povećanog dejstva UV zračenja u poljoprivredi, zbog toga što se javlja problem izdvajanja ovog efekta od svih ostalih faktora koji utiču na rast u posmatranoj oblasti. Ipak, mnogi eksperimenti pokazuju da povećanje UV smanjuje rast biljaka generalno. Na primer, pirinač je jedna od osnovnih žitarica u potrošnji u Svetu i od 16 sorti koje su testirane na osetljivost na UV, jedna trećina je pokazala smanjenje u rastu biljke. Od preko 50 zrna soje koje su proučavane, dve od svake tri su se pokazale kao osetljive na UV [11]. UV zračenje utiče na šećernu repu, krastavce i druge poljoprivredne proizvode. Proučavanja ukazuju da povećan nivo UV zračenja može da utiče na manju otpornost ovih biljaka na bolesti.

Opravdana strepnja postoji i za *ekosisteme*. UV zračenje može da deluje na biljke u šumama i livadama. Biljke tolerantnije na UV zračenje mogu da zamene one koje su osetljive na UV, i na taj način promene broj jedinki jedne vrste na tom području, ili ih čak zamene drugim vrstama. Insekti, ptice, i ostale životinje koje koriste biljke koje su osetljive na UV za hranu ili izgradnju svojih kuća mogu da se dovedu u stresnu situaciju. Na ovaj način povećano UV zračenje može da utiče na biljke i životinje u bilo kom delu Sveta.

Mnoge alge koje žive u površinskim delovima vode u jezerima ili moru su takođe osetljive na UV zračenje. Promene usled ove zavisnosti će vrlo verovatno uticati na količine ribe a time i promene u lancima ishrane.

## **2.4 Smanjenje kvaliteta vazduha u nacionalnim parkovima**

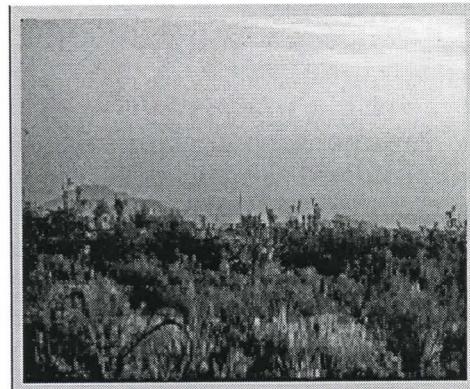
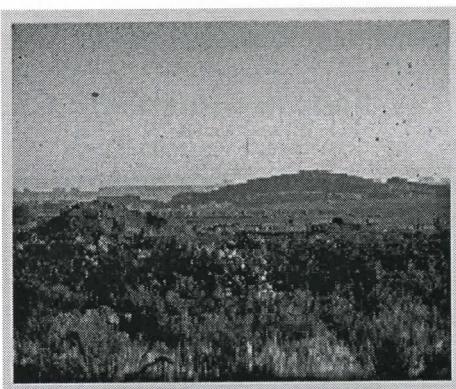
Panorame u nacionalnim parkovima se menjaju. Zamagljenost je očigledna, tako da panorame koje sada vidimo nisu kao one koje su se videle nekada. Vidljivost je, jednostavno, mogućnost da se gleda kroz atmosferu. Smanjenje vidljivosti je povezana sa kvalitetom vazduha u parkovima.

Tokom godina, posmatran je kvalitet vazduha u nacionalnim parkovima (u SAD) i primećeno je da se smanjuje, ponekad čak i značajno. Na nekim lokacijama kvalitet vazduha nije bolji od onog u gradovima zbog lokalnih zagađivača ili od zagađenja koje je transportovano iz drugih krajeva. Primarni doprinos smanjenju kvaliteta vazduha je lokalnog karaktera, većinom zbog automobila, elektrana i neasfaltiranih puteva. Regionalno zamagljenje može da potiče od dima, prašine, čadi ili ostalih čestica aerosola. Sunčeva svetlost se na

ovim mestima rasejava, stvaraju se beli oblaci sumaglice. Boje neba i panorame počinju da blede, slika više nije oštra (slika br.14).

Zamagljenje može da potiče usled hemijskih reakcija različitih zagađivača. Sunčev UV zračenje interaguje sa ovim gasovima i nastaje braonkasta izmaglica koja se naziva fotohemski smog. UV zračenje može da reaguje sa hidrokarbonatima koje prirodno ispuštaju biljke, te i ovakve reakcije mogu da doprinesu formiranju smoga.

Osnovni toksični sastojak fotohemskog smoga je ozon. Ozon ima blagotvorno dejstvo kada se nalazi u višim slojevima atmosfere gde apsorbuje UV zračenje (stratosfera). U nižim slojevima atmosfere ozon može da bude



Slika br.14 Boje neba i panorame blede zbog fotohemiskog smoga [11].

toksičan, da ošteti ljudska pluća, može da utiče na biljke i ostale organizme, ali se povezuje i sa oštećenjem plastičnih materijala.

Povećanje UV zračenja može da ubrza ove hemijske reakcije i da poveća količine smoga i ozona u nižim slojevima atmosfere.

## 2.5 UV zračenje i vodozemci

Na mnogim lokacijama u Svetu žabe i drugi vodozemci umiru. Neke vrste su već izumrle, dok se kod drugih javljaju deformacije na telu, na primer repu. Uzroci smrti i deformacija vodozemaca nisu poznati. Zagađivači, uništavanje habitata, izmene grabljivaca, ali i UV zračenje mogu da utiču na ovaj problem, i to samostalno ili u kombinaciji više faktora. Zbog ove potencijane povezanosti, razumevanje promena usled povećanja intenziteta zračenja koje stiže do Zemljine površine može da odigra značajnu ulogu u očuvanju i zaštiti žaba i ostalih vodozemaca.

Rezultati laboratorijskih istraživanja daju dokaze o vezi UV zračenja i deformiteta ili smanjenog broja legala za mnoge vodozemce. Proučavanje (koje su sproveli Joseph Kiesecker sa Yale univerziteta i Andrew Blaustein sa Oregon State University) otkrili su da su deformiteti u preko 91% verovatniji kod salamandera sa dugačkim prstima koji su bili izloženi UV zračenju nego kod onih koji su bili zaštićeni UV filtrima [11]. Ipak, ovi podaci ne daju jasno objašnjenje opadanja broja vodozemaca u svojim prirodnim staništima. Jedino kombinovana proučavanja vodozemaca, UV zračenja i drugih varijabli u datoj okolini mogu da daju neophodne informacije da bi se pronašao odgovor na ova pitanja, a time možda i spasu ove ugrožene vrste.

## **Glava 3**

# **INSTRUMENTI ZA MONITORING UV ZRAČENJA**

### **3.1 Vrste detektora UV zračenja**

Za monitoring UV zračenja postoji tri tipa uređaja. To su spektralni uređaji, širokopojasni i uređaji sa filtrima. U tekstu će nešto detaljnije biti prikazani širokopojasni instrumenti.

#### **3.1.1 Spektralni uređaji**

Spektralni uređaji su najčešće dvostruki monohromatori sa difrakcionom rešetkom. Oni mogu da registruju UV zračenje sa rezolucijom od 0.5 ili 1nm. Njihova dobra karakteristika je to što daju najviše informacija o intenzitetu UV zračenja i njegovoj spektralnoj raspodeli. Najviše se koriste za praćenje globalnih promena klime, za proučavanje sastva atmosfere i za merenje debljine ozonskog omotača sa Zemlje.

#### **3.1.2 Uredaji sa filtrima**

Uredaji sa filtrima rade na sličnom principu kao i spektralni, s tim da koriste različite filtre za izdvajanje užih spektralnih oblasti čiji intenzitet mera. Oni daju manje informacija od spektralnih.

#### **3.1.3 Širokopojasni uređaji**

Ova vrsta uređaja je široko rasprostranjena za monitoring UV zračenja, zbog relativno niske cene i jednostavne upotrebe. Njihov nedostatak je što zahtevaju češću kalibraciju od spektralnih uređaja. Koriste se za dve svrhe, praćenje globalnih promena i merenje biološki aktivnog spektra.

Širokopojasni uređaji se često nazivaju i RB-metri po njihovim pronalazačima. Robertson je pedesetih godina napravio instrument koji je imao spektralnu osjetljivost sličnu eritemalnom spektru, a 1976. godine ga je Berger redizajnirao. Drugi uobičajen naziv za ove instrumente je biometar, upravo zbog toga što su konstruisani tako da im je spektralna karakteristika slična eritemalnoj.

Do detektora stiže direktno zračenje od Sunca i rasejano zračenje od atmosfere i prolazi kroz UV- propusno staklo. Princip rada ovih instrumenata se zasniva na korišćenju fluorescirajućeg neorganskog fosfor-magnezijumvolframata. Ova supstanca apsorbuje upadno UV zračenje i reemituje ga u vidljivom delu spektra, uglavnom u zelenoj oblasti. Intenzitet reemitovanog zračenja je proporcionalan intenzitetu upadnog UV zračenja, i meri se fotodiodom. Ispred fluorescirajućeg sloja nalazi se filter koji propušta samo UV zračenje, a ispred fotodiode se postavlja filter koji propušta samo zelenu svetlost [4].

## 3.2 Karakteristike širokopojasnih detektora

Tri najvažnije karakteristike širokopojasnih uređaja su: kosinusni odgovor, spektralna karakteristika, i dugovremenska stabilnost.

### 3.2.1 Kosinusna zavisnost

U idealnom slučaju kada na površinu detektora pada zračenje pod uglom  $\theta$  u odnosu na normalu na površinu detektora, odziv detektora se u idealnom slučaju opisuje izrazom:

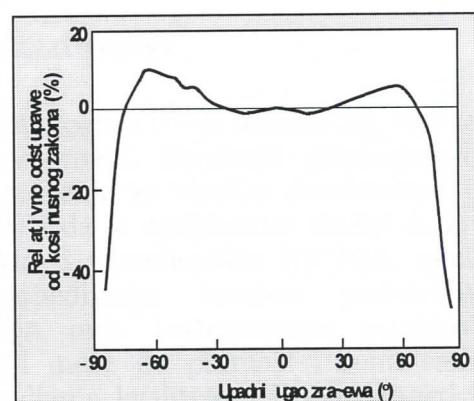
$$I_\theta = I_0 \cos \theta$$

gde je  $I_0$  intenzitet zračenja koje bi padalo na površinu detektora pod uglom od  $90^\circ$ . Realni detektori odstupaju od ovog zakona. Uobičajeno je da se, tzv. kosinusni odgovor detektora prikazuje u obliku relativnog odstupanja od idealnog odgovora. [4]

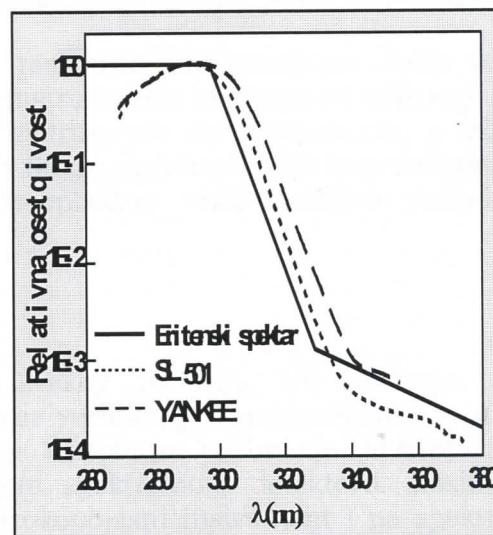
Na slici br.15 prikazan je tipičan kosinusni odgovor jednog uređaja. Vidi se da je odstupanje kosinusnog odgovora najveće za velike upadne uglove, odnosno kada je Sunce nisko na horizontu. Ovo odstupanje mora da se uzme u obzir prilikom merenja.

### 3.2.2 Spektralna zavisnost

Širokopojasni instrumenti moraju da budu osetljivi u UV-B oblasti, a spektralna osetljivost treba što više da se poklapa sa eritemskim spektrom. Na slici br.16 je prikazan eritemski spektar kože i tipične karakteristike dva tipa RB metra koji se najčešće koriste: Solar Light 501 i Yankee UV-B meter. Vidi se da oba uređaja imaju karakteristike koje su bliske eritemskom spektru.



Slika br.15 Tipičan kosinusni odgovor RB instrumenta.



Slika br.16 Spektralne karakteristike dva najčešće korišćena RB instrumenta i eritemski spektar.

### **3.2.3 Provera dugovremenske stabilnosti**

Kod širokopojasnih instrumentata osetljivost opada sa vremenom. Ova promena može da iznosi i do 10% godišnje pa se iz tog razloga vrši njihova kalibracija i poređenje sa standardnim spektralnim uredajima najmanje jedanput godišnje.

## **3.3 Upravljanje kvalitetom i pouzdanost**

Širokopojasni detektori imaju veliku ulogu u UV-B merenjima, većinom zbog njihove rane i široke rasprostranjenosti. Prednost širokopojasnih detektora je u njihovoј niskoj ceni u poređenju sa ostalim detektorima UV zračenja. Međutim, važno je da se primeti da je neophodno uložiti dodatni napor u osiguranje upravljanja kvalitetom i pouzdanošću (QC/QA, quality control/quality assurance) radi obezbeđivanja naučno prihvatljivih informacija. Stoga održavanje i QC/QA ovih instrumenata predstavlja značajan finansijski dodatni izdatak koji može da premaši i cenu samog instrumenta. Zbog toga što aspekti upravljanja kvalitetom i pouzdanosti još uvek evoluiraju, ovde će biti iznete preporuke zasnovane na trenutnom razumevanju ovih zahteva.

### **3.3.1 Greške**

Kod širokopojasnih detektora procena nesigurnosti ne može naročito precizno da se definiše. Smatra se da one mogu da posluže kao minimalni nivo nesigurnosti koji može da se postigne u optimalnim uslovima. Neophodno je istaći razliku između sistematskih grešaka i slučajnih grešaka. Neke od ovih grešaka, ako su ispravno procenjene, mogu da se koriguju i nakon prikupljanja podataka.

Ispitivanjem instrumenata u različitim laboratorijama došlo se do zaključka da se specifikacije pojedinih instrumenata razlikuju od onih koje daje proizvođač. Ove razlike variraju od instrumenta do instrumenta, a takođe driftuju za sam pojedinačni instrument. Stoga, stabilnost ovih instrumenata ne sme da se prepostavlja, već je neophodno vršiti pažljive periodične karakterizacije instrumenta [12].

### **3.3.2 Kalibracija**

Kalibracija je sastavni deo svakog merenja UV zračenja. Kod širokopojasnih detektora vrši se redovna verifikacija karakteristika kao što su spektralni, ugaoni i apsolutni odgovor. Apsolutnu kalibraciju je neophodno izvršiti prema ispravno kalibrisanom spektralnom detektoru. Kosinusna korekcija treba da se primeni i na širokopojasni instrument i na spektralni detektor. U idealnom slučaju, podaci kalibracije bi trebali da budu nezavisni od promena ambijentalnih uslova (zenitni ugao, debljina ozona, oblačnost, itd.), i takođe potvrđeni za opseg zenitnih uglova primenjivih na datoј lokaciji. Sledeci parametri mogu da se proveravaju:

### **Spektralni odgovor**

Spektralna osetljivost instrumenata je jedan od parametara koji može da se razlikuje od vrednosti koju je proizvođač specificirao. Ispravan prenos spektralnog odziva instrumenta je od najveće važnosti za određivanje visine eritemalnog UV zračenja kod širokopojasnih detektora. Osim toga spektralna osetljivost pojedinih instrumenta može da varira tokom vremena. Promene u spektralnoj osetljivosti instrumenata često se javljaju u vidu nezakonitih trendova.

### **Ugaoni odgovor**

Za kosinusni i azimutalni odgovor je primećeno da su daleko od idealnih za širokopojasne instrumente. Kosinusni odgovor može čak značajno da utiče na merenja, posebno kada se merenja odnose na standardizovanu eritemalnu funkciju.

### **Temperaturna zavisnost i linearnost**

Najnovije verzije širokopojasnih instrumenata su automatski temperaturno regulisane, čime se otklanja većina nesigurnosti koje su vezane za temperaturnu zavisnost raznih elemenata instrumenta. Ipak, ostaje pitanje da li je temperatura receptora zračenja unutar samog instrumenta odgovarajuće prikazana usled temperature ostalih delova instrumenta. Smatra se da su širokopojasni detektori stabilni unutar nivoa merenja, za vrednosti do četiri puta veće od veličine signala.

### **3.3.3 Mogućnost za detekciju trenda**

Uz pravilno održavanje i uz odgovarajuće QC/QA, širokopojasni instrumenti mogu da posluže za detekciju raznih trendova u promeni UV zračenja. Loše je što su kod ove vrste instrumenata primećene neke nestabilnosti, koje mogu da ugroze rezultujući trend ako se ne detektuju. Osim toga, nije moguće otklanjanje svih grešaka instrumenta (na pr. neidealni spektralni odgovor, sopstvene kosinusne greške instrumenta).

Trendovi mogu da se pronalaze iz niza podataka: iz podnevnih podataka, integrisanih podataka tokom obdanice, celog dana ili iz sunčanih dana. Pri tome sunčani dani daju trendove sa manje greške, ali mogu da budu i neobjektivni jer ne uključuju interferenciju sa oblacima ili sa ozonom. Zaključci izvedeni iz podataka za cele dane mogu da budu od važnosti za biološka istraživanja.

Nesigurnosti vezane za stabilnost instrumenta, atmosferske promene i slučajne nesigurnosti ograničavaju nivo detekcije trendova. Iz svega sledi da je neophodno da se podaci prikupljaju za duži vremenski period da bi se došlo do određenih zaključaka. Dakle, podaci prikupljani nekoliko godina prikazuju privremene promene koje još uvek ne mogu da se smatraju dugovremenskim trendovima. Stabilnost instrumenta je važna, ali uz to je neophodna i odgovarajuća dokumentacija instrumenta i mernog mesta, koja može da obezbedi dodatne informacije koje su ranije mogle da budu previdjene. Da bi se centar za monitoring održao u funkciji, neophodno je tokom dužeg vremenskog perioda vršiti procedure kontrole kvaliteta, da bi se detektivali trendovi. Pri tome se nailazi na problem cene održavanja, koja u mnogome prevazilazi cenu samog detektora.

### **3.3.4 Prilagođenost klimatologiji**

Ako su obezbeđeni održavanje, upravljanje kvalitetom i pouzdanost, širokopojasni detektori mogu da posluže u proučavanju klimatologije merenog UV zračenja. Ovi podaci su korisni za proučavanje bioloških efekata i u epidemiologiji. Primena detektora širom Svetog može da posluži za utvrđivanje klimatoloških informacija koje mogu da se koriste za određene procene za oblasti gde je postavka detektora nemoguća.

S druge strane, primećeni su problemi primene širokopojasnih detektora u ekstremnom uslovima. Dalji razvoj ovih instrumenta će verovatno otkloniti neke od ovih nedostataka.

Da bi podaci dobijeni merenjima bili upotrebljivi na pr. epidemiolozima, neophodno je da oni budu interkomparativni. Tada su neophodne i odgovarajuće dopune QC/QA i pouzdanosti.

### **3.3.5 Preporuke**

#### **3.3.5.1 Konverzija u radiometrijske jedinice**

Za mnoge primene neophodna je konverzija veličina merenih instrumentom u signal CIE merenog zračenja. Ova konverzija uglavnom zavisi od razlike između CIE spektra i spektralnog odgovora instrumenta, i stoga predstavlja složenu funkciju uslova okruženja (zenitni ugao, debljina ozona, oblačnost itd.). Direktna komparacija signala širokopojasnih instrumenata i spektralnih merenja po CIE spektru mogu da obezbede procenu ove funkcije konverzije. Pri tome treba da se vodi računa o tome da su takve empirijske funkcije validne samo za uslove pod kojima su bile dobijene. Proširivanje na generalne uslove može da se izvede, na primer, uz pomoć preciznog modela transfera zračenja za specifične uslove za svako merenje (zenitni ugao, debljina ozona, itd.) [12]. Svakom širokopojasnom instrumentu bi trebao da se pripše standardni odgovor, pri čemu je prosečna veličina signala za eritemalno mereno zračenje vršena za sunčan dan za solarne elevacione uglove od 35 do 50 stepeni. Ovo je koristan parametar za standardizaciju i monitoring stabilnosti instrumenta.

#### **3.3.5.2 Koherentnost podataka**

Konačni cilj UV monitoringa jeste da se dođe do podataka koji su upotrebljivi na nivou celog Svetog. Pri tome ovi podaci treba da se upoređuju i koriste a za to je neophodno voditi računa o nekoliko stvari. Instrumenti treba da se uporede, kalibracija i procedure kalibracije moraju da budu jasno definisane radi pravilne interpretacije, okruženje mernog mesta, održavanje instrumenta i učestalost kalibracije takođe utiču na kvalitet podataka. Dokumentacija svih ovih stavki može da da objašnjenje za eventualna prividna neslaganja i sl.

Prvi cilj je merenje privremene promene UV signala na mernom mestu. Pošto bi korekcija povećala nesigurnost, podaci nisu korigovani prema CIE eritemalnom odgovoru.

Kalibracioni faktori za povezivanje promene signala sa standardnim eritemalnim odgovorom zavise od niza faktora. Potrebno je da se čuvaju i izvorni i korigovani podaci.

Najviši mogući cilj je apsolutno određivanje UV zračenja pomoću mreže. Za to je potrebno da se sva merenja konvertuju na eritemalno zračenje.

Za određivanje odgovarajućih grešaka za sve ove ciljeve neophodne su razne vrste odstupanja različitih veličina na osnovu kojih se upravo i vrši procena tih grešaka. Interkomparacija je značajan mehanizam za pronalaženje svih ovih nepoznatih veličina.

### 3.3.5.3 Interkomparacije instrumenata

Interkomparacije su veoma korisne za direktno pristupanje tačnostima podataka sa različitim instrumenata i/ili mreža. Prva WMO (World Meteorological Organization) interkomparacija širokopojasnih instrumenata (WMO/GAW report No. 112) zančajno je doprinela sadašnjem razumevanju širokopojasnih UV instrumenata. Interkomparativna grupa je na osnovu rezultata zaključila sledeće:

- interkomparacije treba sprovoditi svake druge ili treće godine
- proleće je bolje vreme za interkomparaciju zbog većih promena u debljini ozona, a malih u zenitnom uglu
- SZA manje od  $55^{\circ}$  i vedro nebo su optimalni uslovi
- interkomparacije instrumenata zahtevaju ekstremno mnogo rada [12].

Interkomparacije širokopojasnih detektora su važne radi razumevanja izlaznih setova podataka širokopojasnih detektora, i zato treba na njima da se insistira. Rezultati treba da se objavljuju da bi bili dostupni svim zainteresovanim naučnicima. Pri proceni greške treba razlikovati tri slučaja, jer greška zavisi od konteksta pod kojim su podaci razmatrani. Prvi slučaj se tiče odgovora jednog detektora; drugi i treći slučaj predstavljaju pokušaje da se podaci sa širokopojasnih detektora dovedu u vezu sa eritemalnim spektrom.

Većina karakteristika širokopojasnih detektora se određuje pod idealnim uslovima u laboratoriji. Monitoring se odvija u uslovima daleko od idealnih, stoga, karakterizacije izvedene u laboratoriji na sobnoj temperaturi, ne mogu idealno da se primenjuju na licu mesta gde su moguće razne vrste uslova. Ponašanje instrumenta u ekstremnim uslovima mora pažljivo da se uzme u obzir. Nekoliko problematičnih slučajeva je primećeno u merenjima nekih širokopojasnih instrumenata u tropskim situacijama kada temperatura ambijenta prelazi  $40^{\circ}\text{C}$ , te je neophodno da se ovaj problem reši. Osim toga, ekstremno hladno i vlažno okruženje mogu da dovedu do zamrzavanja kućišta detektora uprkos unutrašnjem grejanju samog instrumenta. Postoji niz rešenja za ovaj problem, ali neophodno je da se vodi računa da se pri tom ne naruše karakteristike samog instrumenta. Nizak položaj Sunca, kao što se javlja tokom zime na srednjim geografskim širinama ili u polarnim uslovima, predstavlja poseban problem zbog nesavršenog ugaonog i spektralnog odgovora instrumenata.

Elektronska podrška koja ide uz sam instrument takođe može da predstavlja izazove za pojedine situacije monitoringa. Niska rezolucija pratećih sistema dovodi do problema sa velikim solarnim zenitnim uglovima. Ostale vrste stresova na sistem za merenje koji mogu da povećaju nesigurnosti u merenjima uključuju područja sa povećanom vlažnošću ili sa nedostatkom

adekvatnog izvora napajanja. Ekstremno zagađena okolina može da prikaže podatke sa širokopojasnih detektora u obliku teškom za interpretaciju. U mreži, važni su odgovori pojedinačnih detektora, ali dodatni rad se zahteva kada se upoređuju različiti instrumenti.

Postoje dva primarna metoda za prikupljanje podataka o komparabilnosti:

- postavka *regionalnih centara* za karakterizaciju i redovno kalibriranje referentnog instrumenta
- *interkomparacija* da bi se direktno pribavili podaci o interkomparabilnosti

Regionalni centri bi trebali da obezbede lak pristup polaznim podacima. Održanje i transfer apsolutnih radiometrijskih standarda je teška i skupa operacija. Regionalni centri nude najviše moguće standarde za što veći broj načina monitoringa, na što efikasniji način. Uz to, regionalni centri osiguravaju jednu jedinu skalu, za ceo region.

Cilj ovakvih skupova jeste verifikacija apsolutnih kalibracija instrumenata i utvrđivanje njihovih stvarnih spektralnih i kosinusnih odgovora u laboratorijskim uslovima.

### **3.3.5.4 Upravljanje kvalitetom**

Najbolji pristup upravljanju kvalitetom je u što većoj raznovrsnosti instrumenata, što istog tipa, što različitih modela. Naročito su korisna dodatna merenja drugih veličina kao na pr. solarnog zračenja, zbog njihove visoke pozitivne korelacije sa širokopojasnim UV-B merenjima. Kada su moguća odvojena merenja globalnog, direktnog i difuznog zračenja, konzistentnost među podacima može da upućuje na dodatne informacije. Takva poređenja treba da se sprovode pod raznim uslovima (ozon, solarni zenitni ugao, oblačnost), redovno, ili po mogućству kontinualno. Preporučljivo je povremeno unapređenje detektora.

Distribucija instrumenata za UV monitoring širom Sveta je veoma neravnomerna, te je ravnomernija raspodela UV instrumenata od velike važnosti po nauku.

## **Glava 4**

### **CENTAR ZA MONITORING UV ZRAČENJA**

#### **4.1 Razvoj UV monitoringa**

Program GAW (Global Atmosphere Watch - Globalni monitoring atmosfere), kao deo WMO (World Meteorological Organization - Svetska meteorološka organizacija), učinio je značajan napor da se poboljšaju merenja i monitoring UV zračenja širom Sveta. Ovaj proces započeo je 1994. god. prvo preko Naučnog komiteta upravljanja za UV, kasnije imenovan u Naučnu grupu za savete (SAG - Scientific Advisory Group) GAW-a. Grupa se sastala prvi put 1995. god. i tada se odmah pojavio velik broj pitanja kao što su: koji instrumenti da se koriste, kriterijumi odabira lokacije centra za monitoring, sistem za kalibraciju i interkomparaciju, metodi za prikazivanje i analizu podataka i modelovanje. Naporom SAG-a, teži se harmonizaciji i dostupnosti globalnih UV merenja koja se prikupljaju objavljivanjem krajnjih rokova i izveštaja [13].

Idealno bi bilo da su pre postavljanja mreža UV centara već postojali neki kriterijumi i internacionalno priznati sistemi kontrole kvaliteta. Međutim to nije bio slučaj. Stoga Svetski centar UV podataka (WUDC- World Ultraviolet Data Center), koga vodi Služba atmosferske životne sredine (Atmospheric Environment Service) u Torontu, u ime Svetke meteoroloske organizacije (WMO), prikuplja sve UV podatke iz centara za monitoring, sa širokim assortimanom instrumenata, raznolikom opremom i iskustvima. Pošto ne postoji standardni instrument ili praksa, podaci stižu u različitim formama, i isto tako i sa njihovim odgovarajućim nesigurnostima. U tako raznolikom sistemu podataka naročito je važno da se bude svestan izvora nesigurnosti. Kvantifikacija tih nesigurnosti je ipak bila moguća.

WUDC izdaje uputstva za upravljanje kvalitetom UV centara. Ova uputstva se izdaju da bi se, kako iskusni operateri tako i početnici u merenju, ohrabrili da merenju UV zračenja prilaze na taj način da upravljanje kvalitetom dovedu na najviši mogući nivo. U slučaju podataka koji su nasleđeni na bilo koji način, kada instrument može i da ne postoji ili je modifikovan bez ikakvog zapisa, tada se opis mernog mesta i formulari nesigurnosti popunjavaju za sve delove za koje je to moguće. U svakom slučaju bolje je posedovati bilo kakve podatke nego nikakve.

Veoma visoki standardi kontrole kvaliteta koje izdaje WUDC su većinom iznad mogućnosti većine centara za monitoring UV zračenja, i oni treba da predstavljaju podsticaj za postizanje visoko postavljenih ciljeva.

#### **4.1.1 Upravljanje kvalitetom u centru za monitoring**

Jedan deo seta vodiča za uspešno merenje Sunčevog UV zračenja, obuhvata procedure upravljanja kvalitetom za merenje u centru za monitoring, i dodatne standardne metode za prikupljanje nesigurnosti vezanih za merenja na licu mesta, i dodatne informacije koje moraju da se obezbede uz podatke da bi se omogućila njihova kasnija ispravna interpretacija i upotreba. Ovaj standardni metod procene nesigurnosti je projektovan na taj način da obezbedi komparativnost između različitih merenja na mernom mestu. Stvarna nesigurnost za pojedino merenje na datom mernom mestu može da se razlikuje od ove standardne procene. Kontrola kvaliteta na licu mesta je prvi korak u osiguranju konzistentnosti i validnosti podataka, gde raznolikost instrumenata za merenje UV zračenja upućuje na standardne procedure obrade i izveštavanja, i na taj način se poboljšava komparativnost podataka sa različitim lokacijama. Tada individualne stanice treba da se verifikuju od strane nezavisnog društva da bi se ustanovio jednak standard dostignuća između različitih lokacija.

Standardni uslovi za merenje zračenja upućuju da se zračenje odvija od horizontalnog nivoa prema celoj gornjoj hemisferi. Ovaj kvantitet se često naziva globalno (spektralno) zračenje. Ako ovi uslovi ne mogu da se postignu, ili ako karakteristike instrumenta na bilo koji način odstupaju od karakteristika savršeno kalibriranog instrumenta sa idealnim karakteristikama, tada se javlja nesigurnost, vezana za razliku između merenja i parametara koje ona treba da predstavljaju. Ni jedna lokacija niti instrument nisu savršeni te je važno izvršiti procenu nesigurnosti uz same podatke merenja da bi se obezbedila upotreba podataka u dobrom kontekstu.

Nesigurnosti UV podataka prikupljene na dатој lokaciji potiču iz više izvora: instrument, njegova upotreba, apsolutna karakteristika i njegov transfer. Osobine lokacije, kao što su na pr. značajnija odstupanja od ravnog horizonta, ili promene albeda zbog snega ili trave, su važni tokom interpretacije podataka, ali ne doprinose u mnogome nesigurnostima vezanim za ispravno prikazivanje stvarnih vrednosti.

Doprinosi nesigurnostima merenja sastoje se od dve komponente, samog instrumenta i njegove kalibracije. Nesigurnosti vezane za instrument potiču od karakteristika svakog pojedinačnog instrumenta (i načina njegovog korišćenja), one se određuju jednom za svaki instrument pojedinačno i zahtevaju povremene provere (na primer godišnje). Ovo su relativna merenja (tj. ne zahtevaju apsolutne standarde zračenja za njihovo određivanje) i određuju performanse instrumenta. Čak i ako je instrument idealnih karakteristika (na pr. kosinusni odgovor je poznat), nesigurnost u izmerenom zračenju će opet porasti. Ovo je zbog toga što se na primer kosinusni odgovor bazira na raspodeli zračenja, koja je neizbežno nepotpuno definisana, i ispravke na kosinusni odgovor zahtevaju znanje ili procenu o raspodeli zračenja.

Nesigurnosti vezane za kalibraciju su one vezane za apsolutni standard, i uključuju nesigurnosti u samom standardu i u procedurama transfera. Apsolutni standardi spektralne ozračenosti treba da su definisani u Nacionalnoj laboratoriji standarda (National Standards Laboratories), ali standardi (lampe) se razlikuju od laboratorije do laboratorije do nekoliko procenata u UV-B oblasti. Teorijski, standardni referentni instrument mogao

bi da posluzi umesto lampi, ali se nije došlo do dogovora oko pogodnog instrumenta za ovu ulogu, a da postoji morao bi da se kalibriše uz apsolutni standard zračenja prihvaćenog od svih Nacionalnih laboratorijskih standarda i UV udruženja. Nedostatak određenog standarda, u vidu lampe ili instrumenta, predstavlja ozbiljan problem u osiguranju kvaliteta.

## 4.2 Informacije koje se podnose uz centar za monitoring

Svaki centar za monitoring treba uz sebe da čuva određene informacije. Neki od zahtevanih podataka ne mogu odmah da budu dostupni i u takvim slučajevima se prilaže "privremene" informacije (na pr. "tipične" karakteristike instrumenta), i potrebno ih je što pre ažurirati (stvarnim karakteristikama instrumenta). Definicije, metodi utvrđivanja potrebnih informacija i metodi prezentacije opisani su za tri sfere monitoringa: centar za monitoring, sam instrument i njegova kalibracija. (Preuzeto iz [13]).

Ovi zahtevi jasno pokazuju na koji način je neophodno dovesti kvalitet po svim stavkama do najvišeg mogućeg nivoa. Za svaku od ove tri aktivnosti popunjava se odgovarajući formular, koji sadži podatke koji će biti opisani u naredna tri paragrafa.

### 4.2.1 Centar za monitoring

Detalji koje WUDC u Torontu zahteva su : ime centra, ime mesta (grad, država), i odgovoran institut, geografska širina, geografska dužina, nadmorska visina i režim merenja. Uz to mogu da se prilože podaci vezani za horizont, opis podlage, okruženje, priložena zbirka podataka (lista svih), najbliža zemaljska stanica za merenje ozona (ime i udaljenost), najbliža meteorološka stanica (ime i udaljenost).

#### Geografska širina

Geografska širina, geografska dužina i nadmorska visina treba da su date sa tačnošću od  $0.1^\circ$  i 5 m respektivno.

#### Horizont

Horizont treba da bude prikazan u vidu tabele azimuta i projekcije koordinata svake prepreke, posmatrano od ravni detektora. Azmut treba da je u stepenima, određen u smeru obrnutom od skazaljke (pozitivan smer), a užvišenja u stepenima od horizonta. Tabela treba da bude dopunjena i grafikom koji u potpunosti ilustruje siluetu svih prepreka na horizontu. Dodatne informacije, kao na primer topografska mapa, su uvek dobrodošle.

#### Opis podlage

Da bi se procenio albedo koji potiče od okoline, potrebno je dati opis tipa podlage u krugu od 10 km oko lokacije detektora (na pr. izgrađen deo (beton, asfalt) 2 km prema severu, 0.5 km u ostalim pravcima; ostalo većinom oranice). Tipične promene na podlozi sa očekivanim promenama godišnjih doba treba da se daju ako je to moguće (na pr. livada i nisko žbunje April-oktobar, zimi sneg). Dodatne informacije (na pr. fotografija ili bitmap instrumenta/mernog mesta) su uvek dobrodošle.

### *Okruženje*

Potrebano je dati kratku klasifikaciju glavnog dela okoline da bi se omogućila gruba procena tipa aerosola i sl. (na pr. planina, ruralni predeo, grad, obala). Detaljniji opis je poželjan.

### *Režim merenja*

Treba da se opiše režim merenja koji je korišten u rutini za monitoring (na pr. raspored i tip podataka koji se nalaze na dатој lokaciji), na pr. jedan spektralni sken za svaki sat obdanice, integrisana vrednost na svakih pola sata eritemalnog zračenja zasnovanog na podacima skidanim svakih 15 s.

## **4.2.2 Instrument**

Detaljne definicije i metodi za utvrđivanje karakteristika instrumenata se prilaže u posebnom dokumentu o instrumentu. Ovde precizirani detalji su oni koji su potrebni za Formular procene nesigurnosti i stoga čine minimum zahteva za ovu potrebu.

WUDC zahteva da se precizira: tip (na pr. spektralni/širokopojasni), proizvođač, model i serijski broj.

Poželjno je ako se dodaju i sledeće karakteristike: procena nesigurnosti, Pun ugaoni odgovor, dinamički opseg, linearnost, prag detekcije i stabilizacija temperature.

### *Procena nesigurnosti*

Većinu dokumenta koji se prilaže uz podatke, čini upravo procena nesigurnosti. Prva procena nesigurnosti treba da uključuje neophodne i preporučene nesigurnosti. Ako se proceni još neka dodatna nesigurnost, ona se uključuje uz sve pribavljene nesigurnosti. Ne očekuje se da dodatne nesigurnosti značajno utiču na prve dve kombinovane ako je instrument dobro okarakterisan. Ako se dodatne nesigurnosti pokažu kao značajnije, važno je da se korisnicima podataka to da do znanja.

### *Pun ugaoni odgovor*

Pun ugaoni odgovor (idealno kosinusni odgovor) treba da se da na svakih  $5^{\circ}$  zenitnog ugla preko minimalno dve normalne ravni (4 kvadranta): "sever-jug" i "istok-zapad".

Detaljnije treba da se opiše kako je definisana optička osa tokom ovog testa, i kako je definisana kada je postavljana za solarna merenja UV zračenja (na pr. kako je osigurano da se dve optičke ose u laboratoriji zaista nalaze u N-S i E-W položaju prilikom postavljanja za solarna merenja.)

Preporučuje se da se stvarni ugaoni odgovor svakog instrumenta meri nezavisno. Tamo gde ovo nije moguće, može se koristiti prilog koji daje proizvođač za ovaj instrument, a ako ni to nije moguće, koristi se tipičan ugaoni odgovor koji daje proizvođač. Poslednje dve opcije treba jasno naznačiti, i treba ih što pre zameniti specifičnjim podacima.

### *Dinamički opseg*

Dinamički opseg prikazuje minimum i maksimum signala koji instrument može da meri, što je ograničeno pragom detekcije i saturacijom detektora. Treba odrediti opseg (obično nekoliko redova veličine). Kalibracija (izvedena preko ograničenog opsega) treba da važi za čitav dinamički opseg,

stoga očitavanje instrumenta treba da bude proporcionalno zračenju za ovaj radni opseg.

#### *Prag detekcije*

Prag detekcije je najniži signal koji instrument može da meri. Zavisi od protoka podataka, šuma, stabilnosti u signala u mraku, i eventualno promena bilo kojih vrednosti pri obradi signala. Prag detekcije treba da se odredi prema signalu kada je odnos signal : šum jednak 1, uz korišćenje funkcije proreza od 1 nm FWHM.

#### *Stabilizacija temperature*

Određuje se za stabilisanu temperaturu od  $\pm x$  °C. Ako se temperatura nadgleda i koriguje, taj metod treba opisati i dati tipične temperature tokom kalibracije, zajedno sa tipičnim opsegom temperatura tokom nadgledanja. Ako ne postoji nikakva stabilizacija temperature, treba da se utvrdi temperaturna zavisnost (za početak od specifikacije proizvođača) koja se ispituje u odgovarajućoj komori. Treba istaći da gradijent temperature može da bude uzrok veće nesigurnosti od cele promene koju daje instrument na promenu temperaturom, stoga treba precizirati gde se tačno nalazi senzor za temperaturu. Ovo može da bude veoma važno za podešavanje talasne dužine.

Zbog razlika u konstrukciji i načinu korišćenja spektralnih, širokopojasnih i instrumenata sa filtrima, za svaku od ovih vrsta instrumenta prilaže se odgovarajuće karakteristike. Ovde će detaljnije biti objašnjeni zahtevi WUDC za širokopojasne detektore.

WUDC daje zahtev za: planirani spektralni odgovor.

Poželjno je priložiti i puni spektralni odgovor.

#### *Puni spektralni odgovor*

Spektralni odgovor je odnos output-a instrumenta (na pr. struja) prema input-u (na pr. zračenje na datoj talasnoj dužini), određen za opseg talasnih dužina na koje je instrument osetljiv. Većina instrumenta ima spektralni odgovor koji je aproksimacija biološkog spektra dejstva (na pr. CIE spektar dejstva za eritem), što se odnosi na planirani spektralni odgovor. Puni spektralni odgovor opisuje odgovor na svakoj talasnoj dužini. Treba da se utvrdi opseg talasnih dužina za koji se meri odgovor, a uz to i korišten metod za postizanje odgovora.

Preporučuje se da se stvarni odgovor meri za svaki instrument pojedinačno. Tamo gde ovo nije moguće može da se koristi tipičan odgovor, koji daje proizvođač. Ovo treba da se jasno naznači, i da se što pre zameni preciznijim podacima.

### **4.2.3 Kalibracija**

U meri u kojoj je to moguće, trebalo bi da se prilože: Raspored za kalibraciju, Procedure za kalibraciju, Mogućnost praćenja karakteristika mernog mesta prema NSL (Nacionalna standardna lampa) standardne lampe, Preporučuje se da se čuva arhiva kalibracije.

*Raspored za kalibraciju:*  
*-rad*

Treba dati učestalost kalibracije instrumenta, i za podešavanje talasnih dužina, gde je moguće, i kalibraciju zračenja. Pošto može da se dogodi da između instrumenta i najvišeg standarda kalibracije na licu mesta ima više koraka, sve faze treba da su date (na pr. provera talasne dužine svaki dan, kalibracija zračenja/provera stabilnosti na licu mesta prema 200W radnom standardu svake dve nedelje, kalibracija u laboratoriji uz lampu od 200W i/ili instrument prema 1000W karakteristike za merno mesto svakih 6 meseci ili češće ako je tako preporučeno pri kalibraciji na licu mesta).

*-karakteristike mernog mesta*

Treba da se utvrdi učestalost kalibracionih provera karakteristika mernog mesta prema višem standardu. Ovo može da bude spoljašnji podatak ili nastavak višeg standarda održanog na licu mesta (na pr. radna lampa od 1000W proverava se svakih 20 sati upotrebe prema [13]).

*Procedure za kalibraciju*

Procedure za sve faze kalibracije treba da se opišu, uključujući i detalje sve korištene opreme (napajanje, standardni otpornici itd.)

*Mogućnost praćenja karakteristika mernog mesta prema NSL (Nacionalna standardna lampa) standardne lampe*

Svaka korištena lampa za kalibraciju zračenja treba da poseduje sopsvenu kalibraciju koja može da se prati do Nacionalne laboratorijske referentnih standarda NSLR (National Standards Reference Standard) u direktnoj liniji. Svaki korak na putu od NSLR do radnog standarda treba da se dokumentuje na sledeći način: laboratorijska i/ili osoba koje je izvela transfer, nesigurnost transfera, opis procesa, serijski brojevi svih korištenih lampi, promena radnog napona referentne lampe od radnog napona kada je bila nova.

Ako se transfer ne izvodi u laboratorijskim pogreškama sa punomoći Nacionalnih standarda, tada se moraju dodati i sledeće informacije: sati svake lampe korišteni pre poslednje kalibracije te lampe, totalni sati svake lampe, opis polariteta svake lampe ako nije obeležena na lami, rastojanje na kojem su korištene lampe.

*Preporučuje se da se čuva arhiva kalibracije*

Arhiva radnih fajlova kalibracije instrumenta mora se sačuvati. Svaki sken podataka treba da se odnosi na određen fajl kalibracije, a ovi fajlovi kalibracije treba da budu dostupni proveri. Kada se fajl kalibracije zameni za operativnu upotrebu treba da se arhivira tako da istorija svih radnih kalibracija bude dostupna. Ovo obezbeđuje dokaz o stabilnosti instrumenta i obezbeđenih podataka, i koristiće se u procedurama spoljašnjeg osiguranja kvaliteta (QA).

Na sličan način zapisi podataka kalibracionih provera (na pr. sken provere radne lampe) treba da se sačuva, a takođe i opisani kriterijumi za promenu kalibracije instrumenta.

## **Glava 5**

# **MONITORING UV ZRAČENJA U SVETU I NAŠOJ ZEMLJI**

### **5.1 Monitoring u Svetu**

Zbog štetnog dejstva UV zračenja na živi svet na planeti ali i zbog dejstva ovog zračenja na veštačke matrijale i zbog klimatskih promena, mnoge zemlje su uvidele važnost praćenja intenziteta UV. Podaci se prikupljaju preko oformljene mreže stanica za monitoring UV zračenja širom Sveta. Ovo omogućava praćenje globalnih promena, a tokom dužeg vremenskog perioda i druge vrste trendova. Podaci se sakupljaju u svetskom centru za podatke o UV zračenju u Torontu WUDC (World Ultraviolet Radiation Data Centre) .

Monitoring UV zračenja je u gotovo svim razvijenim zemljama Sveta vrlo razvijen. Svaka od tih zemalja poseduje veći broj mernih mesta na kojima se prati intenzitet UV zračenja, a ta merenja često prate i merenja debljine ozonskog omotača i prisutnosti različitih gasova i aerosola u atmosferi. Gusta mreža mernih mesta omogućava pravljenje mapa UV zračenja na teritoriji različitih zemalja, ali i globalne mape koje se koriste za izučavanje globalnih promena u atmosferi. Procena je da su rezultati dobijeni na jednom mestu važeći za mesta do udaljenosti od 100 km, sa greškom od 20 % .

Većina zemalja koje se bave UV monitoringom imaju više ciljeva koje žele da postignu. Neki od tih ciljeva su razvoj UV klimatologije, zatim pokušaji da se razjasne faktori koji utiču na nivo UV zračenja i na kraju nastojanje da se razumeju promene UV zračenja i njegovih potencijalnih efekata u svim sferama. Zemlje koje se bave monitoringom UV zračenja imaju za cilj pronalaženje optimalnih rešenja po raznim stavkama.

Podaci o UV indeksu mogu da se pronađu u formi zapisa od ranije, trenutnog izveštaja i u formi prognoze. Da bi se obezbedile ovakve informacije neophodna su merenja, modeli i procesi za potvrdu ovakvih pokušaja itd. Razmena ideja i podataka čini osnovu razvoja proučavanja UV zračenja. Programi WMO vezani za UV indeks su ranijih godina preporučili načine na koje treba da se ova veličina predstavlja u javnosti, šta ona podrazumeva, kako se definiše. Proširenjem mreže UV monitoringa širom Sveta dolazi se do većeg broja podataka na osnovu kojih može da se dođe do novih saznanja iz ove oblasti. Veoma važno pitanje je i povećanje nivoa svesti o štetnom dejstvu UV zračenja, te se ove zemlje bave i obaveštavanjem javnosti i pružanjem dovoljnog broja informacija o uticaju UV zračenja i načinima zaštite.

### **5.2 Monitoring u našoj zemlji**

U našoj zemlji su do 2003. god. postojale razne vrste merenja UV indeksa, ali se nije vršio monitoring UV zračenja. Postavkom detektora UV zračenja 10.4.2003. god. u Novom Sadu, započinje monitoring na ovim područjima.

Detektor se nalazi na krovu zgrade Poljoprivrednog fakulteta. U poglavlju 6.1 je detaljnije opisana ova lokacija.

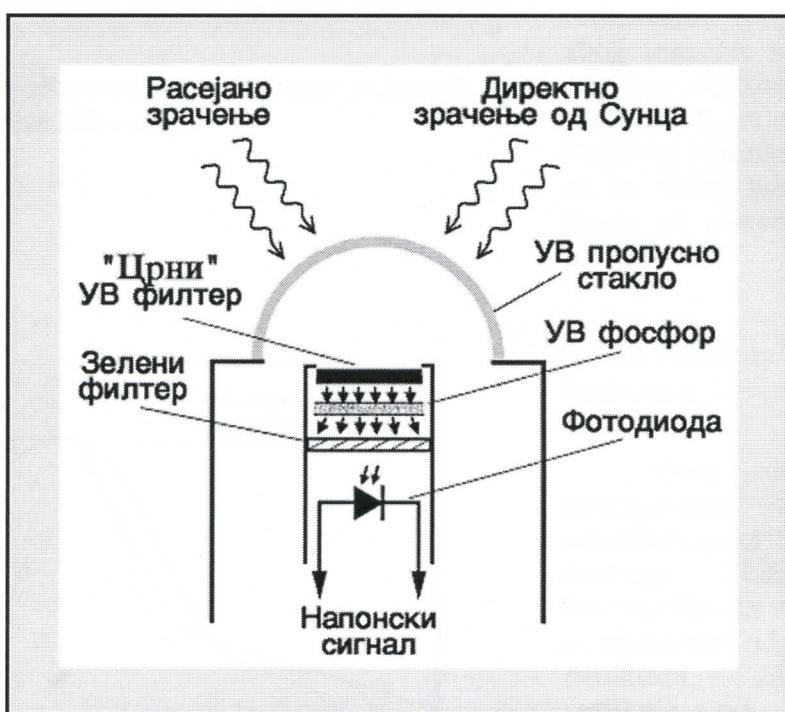
Naziv detektora je UVB-1 Ultraviolet Pyranometer, a proizvodjač Yankee Environmental Systems, Inc., a često se skraćeno naziva i Yankee. Spada u grupu širokopojasnih detektora, i u ovom poglavlju će biti opisan njegov princip rada.

Ovaj detektor meri globalno UV-B zračenje na talsnim dužinama od 280 nm do 320 nm.

### 5.2.1 Princip rada UVB-1 detektora

UVB-1 detektor koristi fluorescenciju fosfora da bi ulazno UV-B zračenje preveo u vidljivu svetlost, koja se precizno meri fotodiodom (slika br.17).

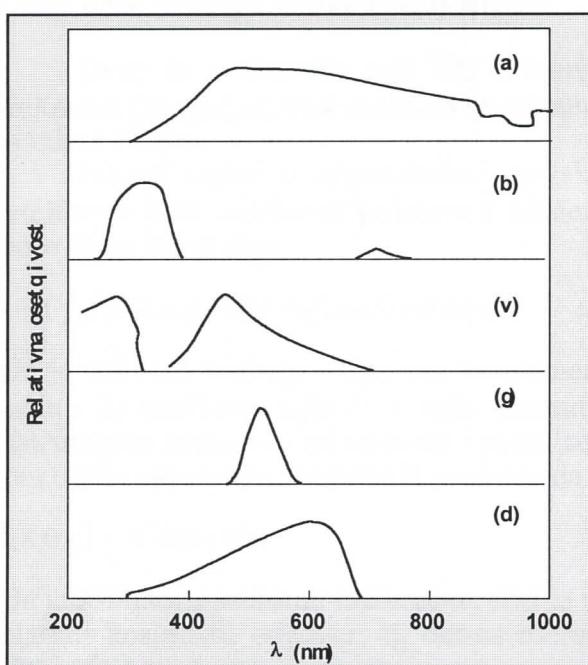
Direktno i rasejano Sunčev zračenje prolazi kroz UV propusno staklo (od kvarca). Prvi "crni" filter propušta UV spektar, ali apsorbuje svu vidljivu svetlost sem malo crvene svetlosti. Zračenje koje je prošlo kroz prvi filter stiže do sloja fosfora, koji ga apsorbuje i reemитује u vidljivoj zelenoj oblasti. Drugi,



Slika br.17 Blok šema UVB-1 detektora.

zeleni filter propušta zeleno svetlo od fosfora, ali ne proušta crveno svetlo. Intenzitet propuštenog svetla meri se GaAsP fotodiodom, koja ima maksimalnu osetljivost u zelenoj oblasti, i nije osetljiva na crvenu oblast vidljive svetlosti.

Spektar tog zračenja je prikazan na slici 18 a. UV "crni" filter propušta oko 80 % upadnog UV zračenja i malu količinu zračenja u okolini 750 nm (slika 18 b). Crvena svetlost se uglavnom rasejava u fosforu, dok se UV-B apsorbuje i reemitiše u zelenom delu spektra (slika 18 v). Zeleni filter ispred



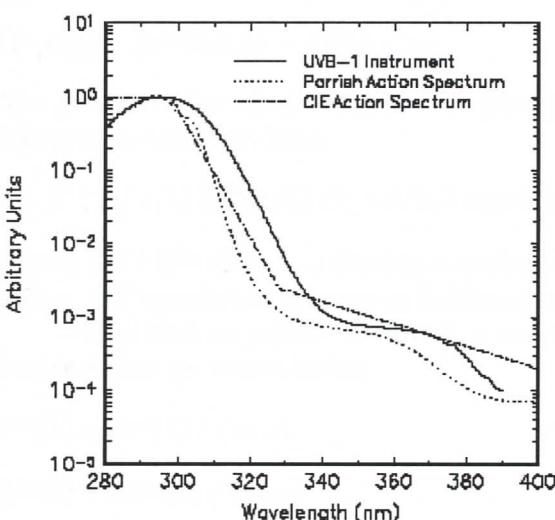
Slika br.18 Relativna osetljivost pojedinih elemenata RB metra.

fotodiode sprečava crvenu svetlost da stigne do fotodiode, tako da se detektuje samo zelena svetlost (slika 18 g). Pomoću GaAs fotodiode se meri intenzitet zelene svetlosti. Maksimum spektralne osetljivosti ove fotodiode je u zelenoj oblasti spektra (slika 18 d). [4]

Sve optičke komponente, detektor i fosfor, su terminalno regulisani na  $+45^{\circ}\text{C}$  za spoljašnje temperaturu u opsegu od  $40^{\circ}\text{C}$  i  $+40^{\circ}\text{C}$ . Ovo je važno zbog toga što osetljivost fosfornog sloja opada sa sniženjem temperatue ( $0.5\%$  na  $1^{\circ}\text{C}$ ) i zbog toga što se spektralni odgovor fosfora menja, tj. maksimum relativnog spektralnog odgovora se pomeri ka višim talasnim dužinama sa povećanjem temperature.

### 5.2.2 Faktor konverzije

Ovaj detektor se prvenstveno koristi za određivanje eritemalnog UV zračenja. Zbog toga je neophodno da se naglasi da se spektralni odgovor UVB-1 detektora za nijansu razlikuje od eritemalnog akcionog spektra (slika br.19), te se zbog toga koristi konverzionalni faktor, i njega daje proizvodjač.



Slika br.19 Razlika izmedju eritemalnog spektra i spektra UVB-1

### 5.2.3 Kalibracija UVB-1 detektora

Ovde će nešto više reći biti o teoriji kalibracije Grainiger, Basher i McKenzie (1993) [14] koja može da se primeni na svaki širokopojasni detektor, pa tako i UVB-1.

Izlazni signal S horizontalno postavljenog UVB-1 detektora, kada je detektor u horizontalnom položaju i izložen konstantnom zračenju  $L(\lambda, \theta, \phi)$ , može da se izrazi kao:

$$S = \int \int \int R(\lambda, \theta, \phi) L(\lambda, \theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi d\lambda$$

gde je  $R(\lambda, \theta, \phi)$  funkcija odgovora instrumenta na ulazno zračenje  $L$ , talasne dužine  $\lambda$ , zenitnog ugla  $\theta$  i ugla azimuta  $\phi$ . Zbog toga što je odgovor instrumenta nezavisan od azimuta i pošto zenitni ugao može da se razdvoji od spektralne zavisnosti, funkciju  $R$  možemo da predstavimo kao proizvod:

$$R(\lambda, \theta, \phi) = K A(\theta) r(\lambda)$$

gde je  $K$  faktor apsolutne kalibracije,  $r(\lambda)$  je relativni spektralni odgovor a  $A(\theta)$  relativni kosinusni odgovor, tj. odnos merenog ugaonog odziva instrumenta  $C(\theta)$  i idealnog kosinusnog odgovora:

$$A(\theta) = C(\theta) / \cos\theta$$

Kosinusni odgovor  $A(\theta)$  daje proizvidjač za UVB-1.

Stižemo do jednačine:

$$S = K \int r(\lambda) \int \int A(\theta) L(\lambda, \theta, \phi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi d\lambda$$

Ukupno zračenje može da se podeli na direktnu i difuznu komponentu:

$$L(\lambda, \theta, \phi) = L^{\text{dir}}(\lambda, \theta, \phi) + L^{\text{dif}}(\lambda, \theta, \phi)$$

Ako predpostvimo da je difuzna komponenta konstantna u gornjoj hemisferi u odnosu na detektor, biće:

$$S = K' [ D \int r(\lambda) E^{\text{dif}}(\lambda, \theta_0) d\lambda + A(\theta_0) \cos(\theta_0) \int r(\lambda) E^{\text{dir}}(\lambda, \theta_0) d\lambda ] \quad (1)$$

gde su  $E^{\text{dif}}$  i  $E^{\text{dir}}$  difuzno i direktno spektralno zračenje,  $\theta_0$  i  $\phi_0$  označena pozicija Sunca, i  $K'$  apsolutna konstanta kalibracije ( $K'=\pi K$ ).

U praksi se jedino  $E^{\text{tot}}$  meri, a računom se pronalaze difuzna i direktna komponenta po formulama:

$$E^{\text{dif}}(\lambda) = E^{\text{tot}}(\lambda) / (1+\eta)$$

$$E^{\text{dir}}(\lambda) = \eta E^{\text{tot}}(\lambda) / (1+\eta)$$

gde se  $\eta(\theta_0)$  računa za sunčan dan (Green, 1980.).

Moguće kalibracije su: apsolutna ( $K'$ ) i uporedjuje sa računatim vrednostima jednačine (1)), spektralni odgovor ( $r(\lambda)$ ) i kosinusni odgovor ( $A(\theta)$ ).

Za ovaj instrument proizvidjač preporučuje kalibracije na svakih 12-18 meseci.

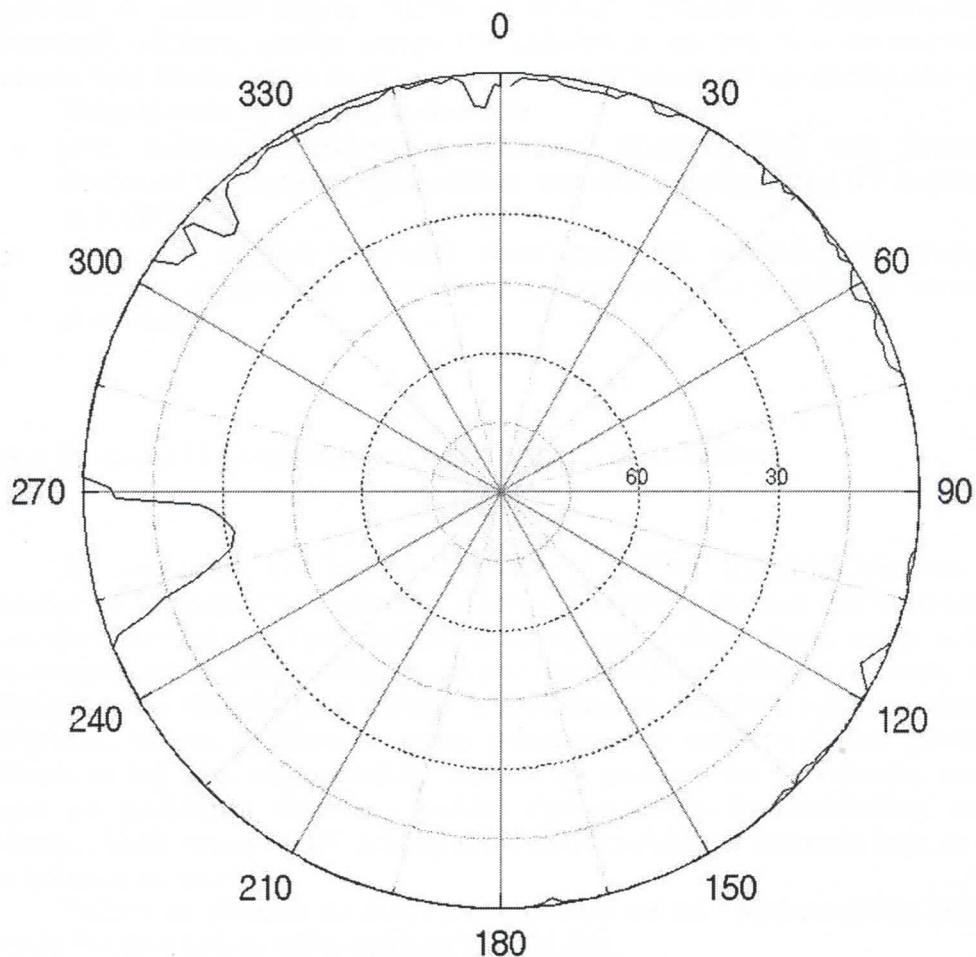
## Glava 6

### UPOREĐIVANJE MERENIH VREDNOSTI UV INDEKSA SA RAČUNATIM

Ovaj rad se bavi uporedjivanjem rezultata merenja UV indeksa u Novom Sadu UVB-1 UV Piranometrom (Yankee Environmental Systems Inc.) sa vrednostima računatim programom STARsci u periodu od 21. 4. 2003. do 25. 6. 2003. Detektor je smešten na Poljoprivrednom fakultetu, Novi Sad.

#### 6.1 Odabir lokacije uređaja

Prilikom odabira mesta za postavljanje detektora, birana je lokacija koja ima najmanje osenčivanje, ali ujedno, zbog prenosa signala neophodno je bilo da ona bude blizu stabilog izvora napajanja i medija za beleženje očitavanja i online prenos usrednjениh vrednosti na internet.



Slika br.20 Zavisnost ugla horizonta od azimuta.

Na slici br.20 je data zavisnost ugla horizonta, u funkciji od azimuta. Za ovo merenje uglova korišten je teodolit (Wild T2, tačnosti 1"). Pri tome je zenitni ugao meren od horizonta kao  $0^\circ$  i vertikale kao  $90^\circ$ , azimutalni ugao je meren od severa kao  $0^\circ$  u smeru obrnutom od kretanja skazaljke na satu (pozitivnom smeru) do  $360^\circ$ . U prilogu se nalazi fotografski zapis u krugu od  $360^\circ$  po azimutu.

Iako po horizontu postoje određena manja odstupanja od idealnih  $0^\circ$ , ocenjeno je da je da je ova lokacija dobra za monitoring UV zračenja. Naime jedno stablo u blizini azimutalnog ugla od  $250^\circ$  delimično zaklanja horizont, ali to ne utiče bitno na merenja. Detektor je postavljen 10. 4. 2003.god.

## 6.2 Upoređivanje merenih vrednosti sa računatim u programu STARsci

Detektor vrši merenja UV indeksa na svakih 30 s, a zapisani podaci su usrednjene vrednosti na po 10 min.

Po proizvodjaču greška merenja je  $\pm 5\%$  od idealnog kosinusnog odgovora za zenitne uglove Sunca od  $0^\circ$ - $60^\circ$ , temperatura instrumenta se automatski održava, greška menja UV indeksa je od 2-6 % u zavisnosti od zenitnog ugla Sunca, s tim da je za zenitne uglove manje od  $65^\circ$  greška oko 4%.

Zadatak rada se sastojao iz dva dela:

- prvi: računete vrednosti programom STARsci, koji vrši proračun vrednosti UV indeksa, uporediti sa merenim vrednostima UV indeksa u 13 h CET;
- drugi: za desetak sunčanih dana uporediti vrednosti UV indeksa računate programom sa vrednostima merenim na svakih sat vremena obdanice.

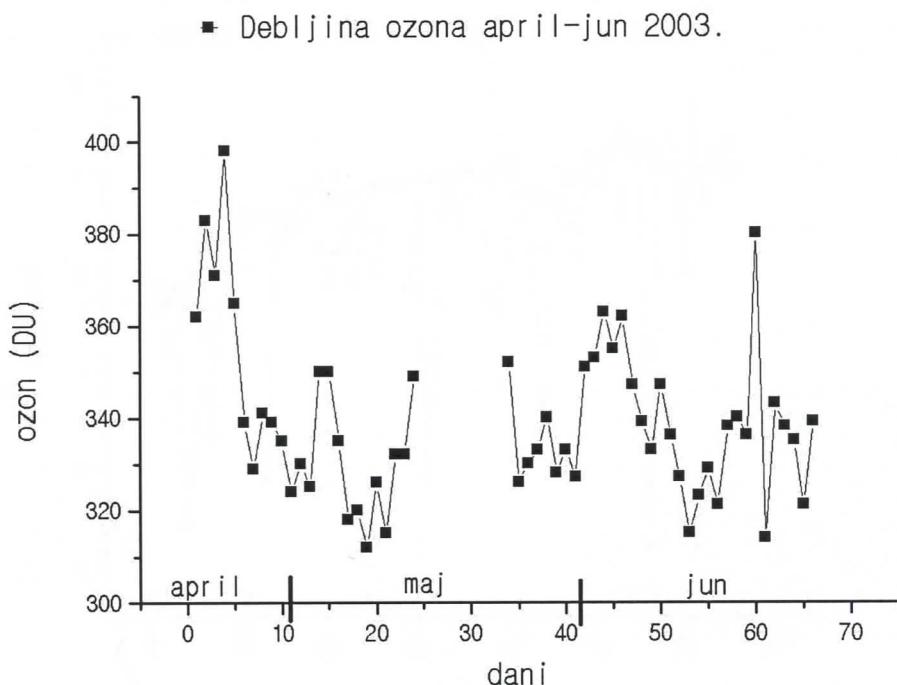
### 6.2.1 Računski program za proračun UV indeksa

Za računanje UV indeka korišten je softver STARsci (System for Transfer of Atmospheric Radiation, Meteorologisches Institut der Universität München, Germany). Vrednosti su računate za sunčane dane, mada softver ima mogućnost uključenja oblaka, ali ova opcija nije korištena s obzirom da je teško proceniti tip i debljinu oblaka. Ulagani podaci uključuju odabrani datum, nadmorsku visinu, debljinu ozona na posmatranom mestu u datom trenutku, pritisak za taj dan, odgovarajuće modele za podlogu na licu mesta, model ozona po godišnjim dobima i model tipa aerosola karakterističan za to područje. Velik uticaj na UV indeks ima i optička debljina aerosola koja se kod nas još uvek ne meri.

Podaci za pritisak za Novi Sad preuzeti su od Meteorološke stanice Rimski Šančevi koji se očitavaju u 12 h svaki dan.

Podaci za debljinu ozonskog omotača u DU preuzeti su sa TOMS satelita, koji snima debljinu ozonskog omotača jedanput dnevno. Za datu geografsku širinu i dužinu i izabrani datum očitavana tražena debljina može se

naći na internet adresi [http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone\\_overhead.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead.html) za svaki dan pojedinačno. Na slici br.21 date su vrednosti debljine ozona za Novi Sad (geografska širina  $45.3^{\circ}$ , geografska dužina  $19.8^{\circ}$ ).



Slika br.21 Debljina ozonskog omotača iznad Novog Sada u periodu april-jun, preuzeto sa TOMS satelita.

Tip aerosola je prosečan kontinentalan (uzimana debljina aerosola na 550 nm je 0.25). Podloga je betonska. Nadmorska visina zajedno sa visinom zgrade iznose 80 m+50 m=130 m. Neophodno je bilo uzeti u obzir da STARsci vrši računanje za UTC, te je na pr. 13 h po CET 11 h po UTC, zbog +1 h za letnje vreme i +1 h za ove koordinate.

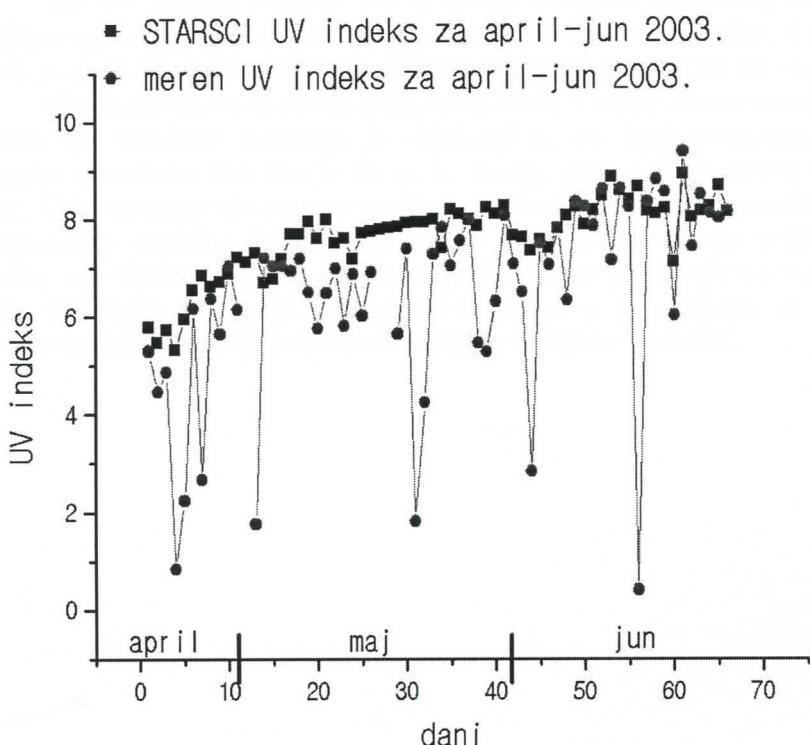
Program STARsci ima mogućnost uključenja uticaja oblaka prilikom računanja UV indeksa, ali obzirom da je procena tipa i debljine oblaka teška, UV indeks je računat za sunčane dane.

### 6.2.2 Upoređivanje računatih sa merenim vrednostima u 13 h

Merene vrednosti UV indeksa uzimane su kao usrednjene za 30 min oko 13h za svaki dan. Na slici br.22 prikazane su računate i merene vrednosti za svaki dan u periodu od 21. 4. 2003 do 25. 6. 2003.

Obzirom da je programom STARsci računat UV indeks za sunčan dan, jasno je da su odstupanja računatog od merenog UV indeksa dozvoljena za

oblačene dane. Odstupanja koja su očigledna najviše potiču od oblaka, koji apsorbuju UV zračenje.



Slika br.22 Merene vrednosti i vrednosti koje daje model za UV indeks u 13h u Novom Sadu za period april-jun 2003.

### 6.2.3 Upoređivanje računatih sa merenim vrednostima za sunčane dane

Kako je to već objašnjeno, detektor vrši sken na svakih 30 s, a daje usrednjenu vrednost na svakih 10 min. Na svakih sat vremena očitavane su vrednosti desetominutnih usrednjjenih vrednosti. One su upoređene sa računatim vrednostima u STARsci programu.

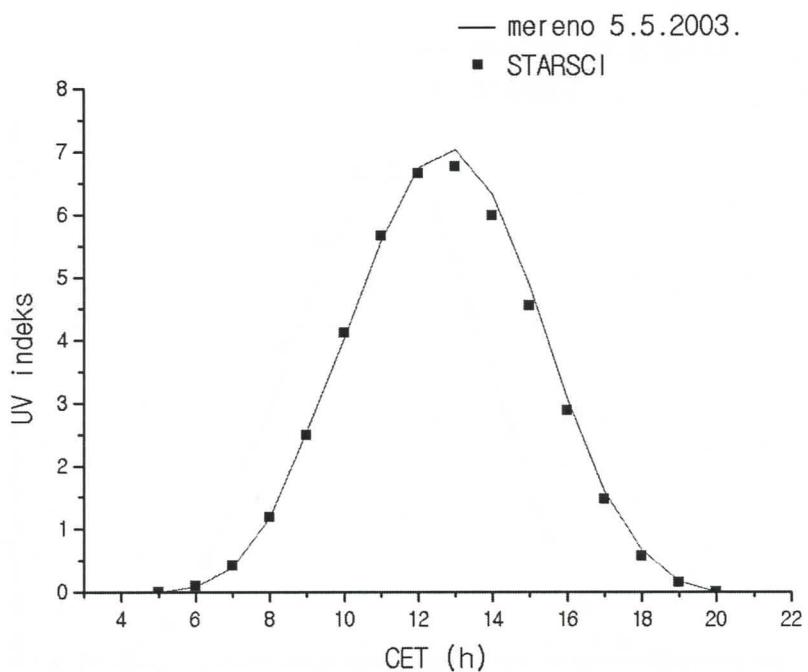
Slike br. 23-32 prikazuju računate i merene vrednosti UV indeksa za deset sunčanih dana. Greška instrumenta po proizvidjaču iznosi 2-6 % za zenitne uglove veće od  $65^\circ$ , a za manje uglove oko 4 %.

Srednja vrednost relativnog odstupanja računatih vrednosti od merenih vrednosti, za pet tačaka oko 13 h za sunčane dane (s tim da je nekoliko tačaka koje su imale ekstremno odstupanje odbačeno), iznosi 3.46 %. Obzirom da je ovo u okviru greške koju proizvodjač predvidja, možemo da zaključimo da se računate vrednosti dobro slažu sa merenim.

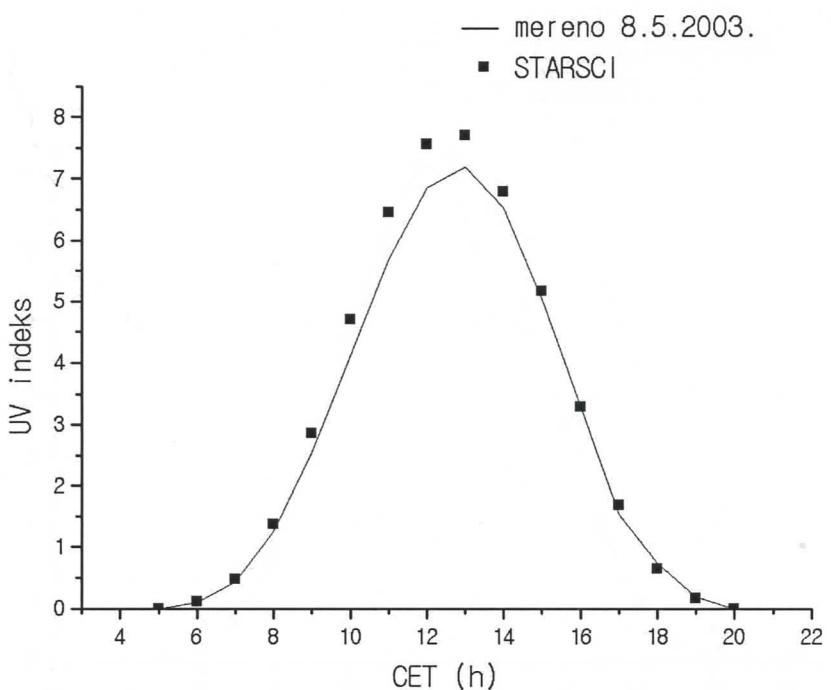
Za sunčani dan 6. 6. 2003. god. srednja vrednost relativnog odstupanja računatih vrednosti od merenih, za 12 tačaka (nisu uzimane u obzir tačke u ranim jutarnjim i večernjim časovima) iznosi 2.76 %. Ovde je slaganje rezultata izrazito dobro.

Na UV indeks najveći uticaj imaju debljina ozonskog omotača i otička debljina aerosola, ako se posmatraju sunčani dani. Međutim, u manjoj ili većoj meri, postoji čitav niz dodatnih faktora koji mogu da utiču na merenje.

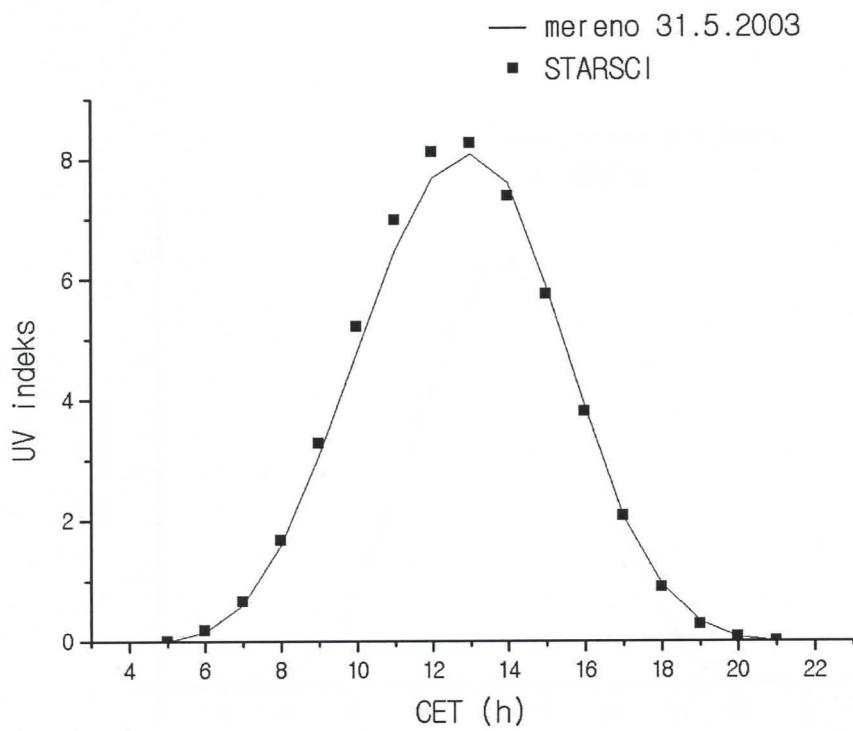
Obzirom da su u ovom delu rada uzeti u obzir samo sunčani dani, uticaj oblaka na rezultate merenja je minimalan, ali ipak prisutan. Tako odlično slaganje rezultata kao što je za 6. 6. 2003. god. nije moguće za sve sunčane dane. Ovo upućuje da su ove razlike računatih i merenih vrednosti uslovljene promenama optičke debljine aerosola. Ova veličina ima velik uticaj na UV indeks, ali obzirom da se na ovim područjima još uvek ne meri, uzimana je njena vrednost od 0.25. Dakle, odstupanja u merenjima za sunčane dane najviše su uslovljena promenama optičke debljine aerosoli.



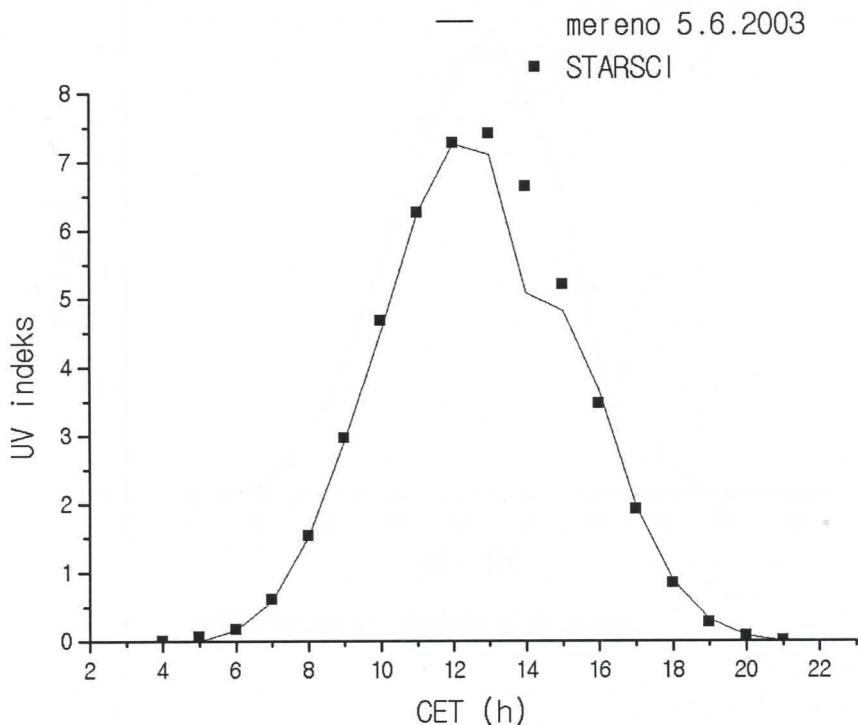
*Slika br.23 UV indeks 5. 5. 2003.*



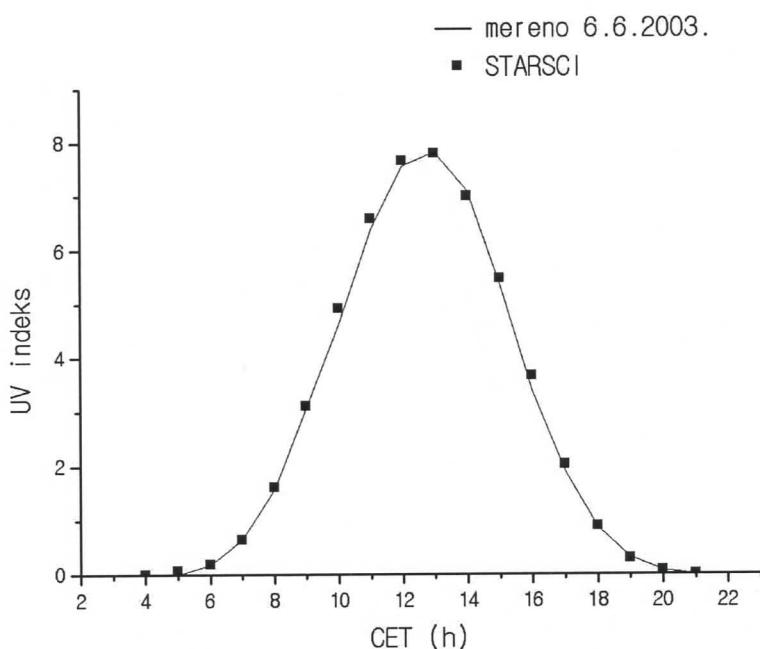
*Slika br.24 UV indeks 8. 5. 2003.*



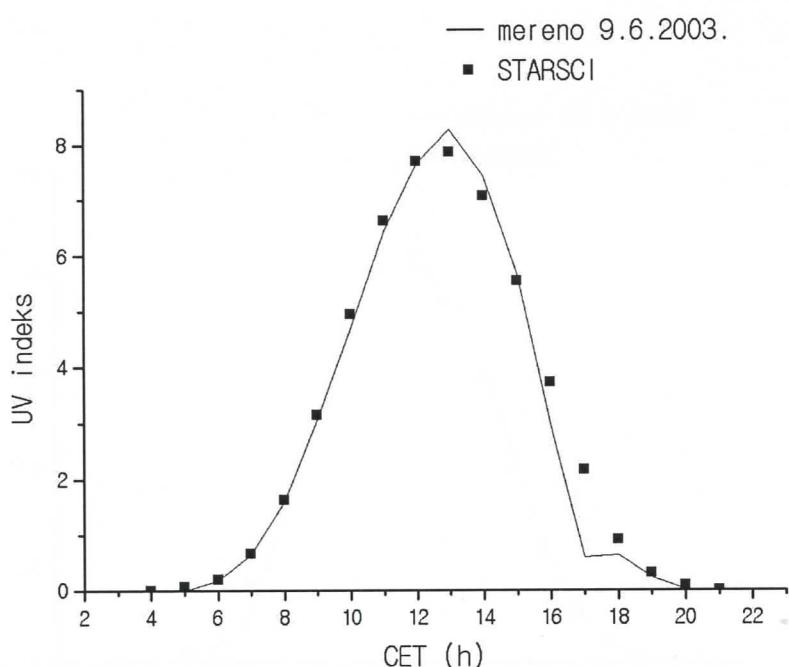
Slika br.25 UV indeks 31. 5. 2003.



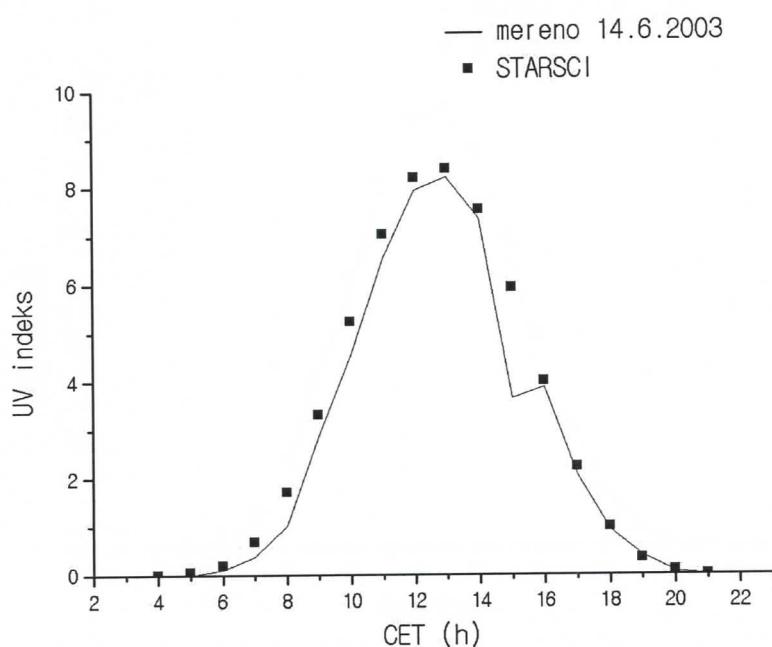
Slika br.26 UV indeks 5. 6. 2003.



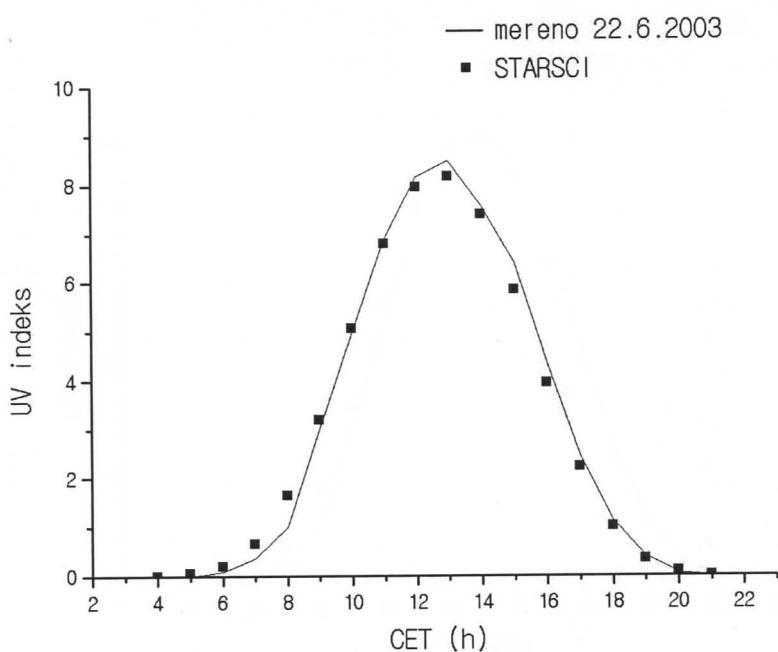
Slika br.27 UV indeks 6. 6. 2003.



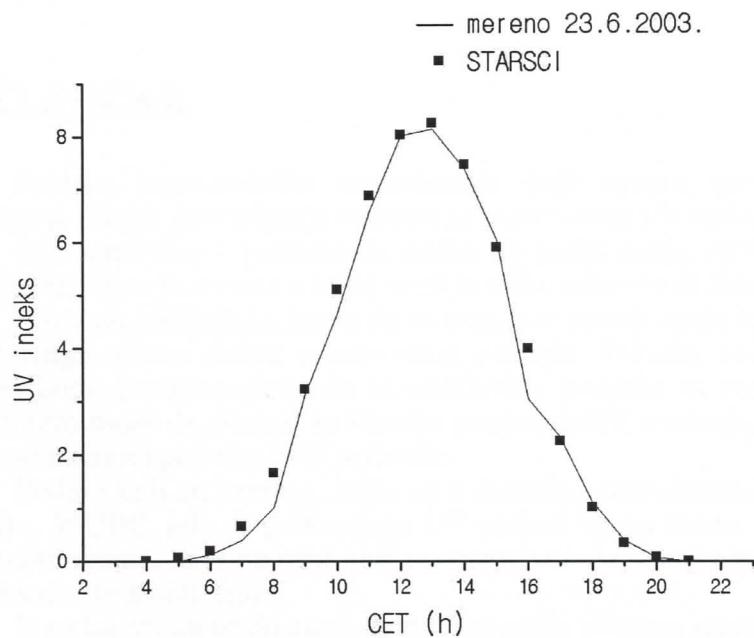
Slika br.28 UV indeks 9. 6. 2003.



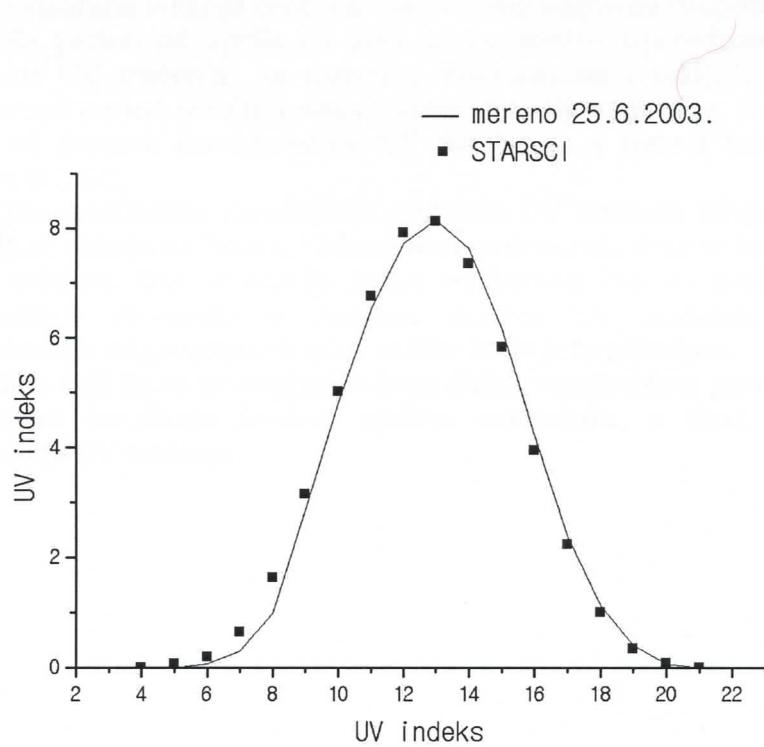
Slika br.29 UV indeks 14. 6. 2003.



Slika br.30 UV indeks 22. 6. 2003.



Slika br.31 UV indeks 23. 6. 2003.



Slika br.32 UV indeks 25. 6. 2003.

## **Glava 7**

### **ZAKLJUČAK**

Svetska meteorološka organizacija daje veoma precizne zahteve i predloge prilikom postavljanja centara za monitoring UV zračenja. WMO na taj način daje smernice i predstavlja način za podsticanje otvaranja novih UV centara. Pri tome je svesna u kojoj meri je teško odgovoriti tim zahtevima.

Čitav niz zaključaka može da se izvede iz proučavanja trendova prilikom monitoringa tokom dužeg vremenskog perioda. Takođe, važno je da mreža centara bude dovoljno gusta da bi obezbedila podatke sa raznih područja na Zemlji. Ovo može da posluži za kasniju prognozu UV zračenja, koji bi bio samo jedan od načina upotrebe ovih podataka.

Podaci koji su mereni, šalju se u Svetsku meteorološku organizaciju u Torontu, WUDC, gde se prikupljaju UV podaci širom Sveta. Oni su dostupni svim naučnicima, te je na ovaj način omogućeno da se svi aspekti UV zračenja proučavaju što kvalitetnije.

U našoj zemlji se do 2001. god. nisu vršila nikakva merenja UV zračenja. Od 2001. do 2003. god. merenja su vršena priručnim aparatom. 10. 4. 2003. god. postavljen je detektor UV zračenja u Novom Sadu, čime započinje monitoring UV zračenja na ovim područjima na način kako to preporučuje WMO.

Odabrana lokacija centra za monitoring odgovara preporukama WUDC.

Za period od aprila do juna 2003. godine upoređivane su računate vrednosti UV zračenja sa merenim vrednostima i zaključeno je da se za posmatrani period rezultati slažu unutar dozvoljene greške. Ovim je učinjena jedna od provera karakteristika UV detektora, a time i izведен jedan od zahteva WUDC.

Desetominutne usrednjene vrednosti UV zračenja mogu u svako doba dana da se očitaju na internet adresi [www.cmem.net](http://www.cmem.net), čime se javnost informiše o UV indeksu. Ovo prestavlja jedan od koraka koji se preduzimaju da se stanovništvo informiše o štetnom dejstvu UV zračenja, i omogućuje preduzimanje odgovarajućih mera zaštite kada je to potrebno.

Podaci koji će se prikupljati tokom dužeg vremenskog perioda moći će da posluže za izvođenje širokog spektra zaključaka, a time i unapređenja poznavanja UV zračenja.

## LITERATURA

1. Darko Kapor: Predavanja na predmetu Zračenje u atmosferi (IV-V semestar, grupa Fizika, Meteorologija i modeliranje životne sredine)
2. Ivan Janić: Osnovi atomske fizike I deo, Novi Sad 1992.
3. Zoran Mijatović, Ljiljana Čonkić, Suzana Miljković: UV zračenje, izvori, osobine, efekti i zaštita; Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2002.
4. Zoran Mijatović i Selena Grujić, Ultraljubičasto zračenje Sunca i monitoring, Simpozijum za nastavnike fizike, Vrnjačka Banja, 2001.
5. Opća enciklopedija, Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb, 1982.
6. [http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone\\_overhead.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead.html)
7. F. McKinley and B.L. Diffey, CIE Journal 6,17 , 1987.
8. WMO-GAW, Report of the WMO Meeting of Experts on UV-B Measurements, Data Quality Control and Standardization of UV Indices, Rep. No. 95, 1994.
9. K.Lion: Radiation, An Introduction to Atmospheric Radiation, Academy Press Inc., New York, 1980.
10. WMO-GAW, Report of the WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public, july 1997.
11. [www.srb.noaa.gov](http://www.srb.noaa.gov)
12. World meteorological Organization, Global Atmosphere Watch No.120-WMO-UMAP Workshop on Broad-Band UV Radiometers (Garmisch-Partenkirchen, Germany 22-23 april 1996)
13. World meteorological Organization, Global Atmosphere Watch No.126-Guidelines for Site Quality control of UV monitoring
14. UVB-1 Ultraviolet Pyranometer, Installation and User Guide, version 2, Yankee Environmental Systems, Inc.

## Kratka biografija



Rođena 1975. u Novom Sadu. Pohađala osnovnu školu "Đura Daničić" i prirodno-matematičku gimnaziju "Svetozar Marković" u Novom Sadu. Studije Fizike, smer Diplomirani fizičar, na institutu za Fiziku u Novom Sadu, upisala 1994. godine.

Novi Sad, datum 11.7.2003.

Judita Mamuzić

Judita Mamuzić

**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Diplomski rad

VR

Autor: Judita Mamužić

AU

Mentor: prof. dr. Zoran Mijatović

MN

Naslov rada: Monitoring UV zračenja u Novom Sadu

NR

Jezik publikacije: Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: Srpski

JI

Zemlja publikovanja: Srbija i Crna Gora

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2003.

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: 21 000 Novi Sad, PMF, Departman za Fiziku, Trg Dositeja Obradovića 4

MA

Fizički opis rada: 52 poglavља, 60 strana, 1 tabela, 32 slike, 1 prilog

FO

Naučna oblast: Zaštita životne sredine

NO

Naučna disciplina: Zaštita od nejonizujućeg zračenja

ND

Ključne reči: UV zračenje, UV indeks, monitoring

PO

UDK:

Čuva se: u biblioteci Departmana za Fiziku, PMF Novi Sad

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod: UV zračenje je deo elektromagnetskog spektra, značajan prvenstveno zbog njegovog štetnog dejstva. U Svetu i u našoj zemlji vrši se monitoring UV zračenja. Instrumenti za monitoring UV zračenja mogu da budu spektralni, širokopojasni i sa filtrima. Značajan aspekt monitoringa predstavlja upravljanje kvalitetom i pouzdanost. Monitoring UV zračenja u našoj zemlji započelo je aprila 2003. godine. Izabrana lokacija odgovara preporukama WUDC. Vrednosti UV indeksa računate programom STARsci poredene sa merenim vrednostima UV indeksa slažu se unutar dozvoljenih granica.

IZ

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: jul 2003.

DP

Datum odbrane: 15. 7. 2003.

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik: dr. Darko Kapor, redovni profesor, PMF Novi Sad

Član: dr. Djurović Stevica, redovni profesor, PMF Novi Sad

Član: dr. Zoran Mijatović, vanredni profesor, PMF Novi Sad, mentor

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE KEY  
WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Documentation type: Monograph type

DT

Type of record: Printed text

TR

Contents code: Graduating Thesis

CC

Author: Judita Mamužić

AU

Mentor: PhD Zoran Mijatović, Associate Professor

MN

Title: Monitoring of UV Radiation in Novi Sad

XI

Language of text: Serbian (latin)

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia and Montenegro

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2003.

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publication place: Novi Sad, Faculty of Science, Departman of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

PP

Physical description: 52 paragraphs, 60 pages, 1 table, 32 pictures, 1 annex

PD

Scientific field: Environmental Protection

SF

Scientific discipline: Nonionizing radiation protection

Key words: UV radiation, UV index, monitoring

UC:

Holding data: Departman of Physics, Library Novi Sad

HD Note:

**Abstract:** UV radiation is a significant part of this electromagnetic scale due to it's good and bad effects. This is why there is an effort in UV monitoring. UV detectors can be one of these: spectral, broad-band or with multifilters. Quality control and quality assurance are very important part of UV monitoring. UV monitoring in our country begins in april 2003. Site for UV monitoring in Novi Sad is chosen according to WUDC reccomendations. UV index calculated in softwer STARsci is agreeable with measured values of UV index within specified uncertainty.

**AB**

Accepted by the Scientific Board on: July 2003.

Defended: 15. 7. 2003.

Thesis defend board: PhD Darko Kapor, Full Professor, Faculty of Science, Novi Sad

Member: PhD Stevica Djurović, Full Professor, Faculty of Science, Novi Sad  
Member: PhD Zoran Mijatović, Associate Profesor, Faculty of Science, Novi Sad, mentor

