Mjerenje intenziteta UVA i UVB zračenja pomoću Arduino platforme

Vidaček, Juraj

Undergraduate thesis / Završni rad

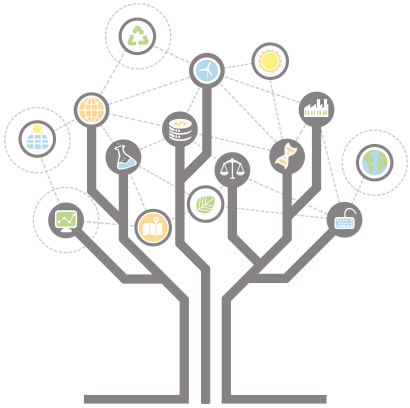
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:551728

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

JURAJ VIDAČEK

MJERENJE INTENZITETA UV-A I UV-B ZRAČENJA POMOĆU ARDUINO PLATFORME

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

MJERENJE INENZITETA UV-A I UV-B ZRAČENJA POMOĆU ARDUINO PLATFORME

KANDIDAT: JURAJ VIDAČEK

MENTOR: doc.dr.sc. IVANA GRČIĆ

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: JURAJ VIDAČEK

Matični broj: 2658 - 2016./2017.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

MJERENJE INTENZITETA UVA I UVB ZRAČENJA POMOĆU ARDUINO PLATFORME

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Teorijske osnove
3. Mjerne metode
4. Eksperimentalni dio
5. Rezultati i rasprava
6. Zaključak
7. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 14.03.2019. Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:

Doc.dr.sc. Ivana Grčić

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

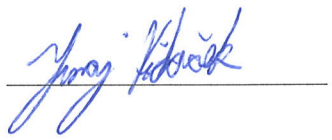
MJERENJE INTENZITETA UV-A I UV-B ZRAČENJA POMOĆU ARDUINO PLATFORME

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Ivane Grčić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 05.09.2019.

JURAJ VIDAČEK



SAŽETAK: MJERENJE INTENZITETA UV-A I UV-B ZRAČENJA POMOĆU ARDUINO PLATFORME

Rad sadrži osnovne teorijske postavke vezane uz spektar sunčevog zračenja. Posebna se pozornost posvećuje dijelu spektra koji se odnosi na ultraljubičasto (UV) zračenje: UV-A (340 - 380 nm) i UV-B zračenje (290 - 340 nm). U kratkim je crtama opisan njihov utjecaj na biokemijske procese u živim bićima, ali i njihova primjena u različitim industrijama kao i u medicini. Velik utjecaj zračenje ima na učinkovitost fotokatalitičkih procesa za pročišćavanje voda i zraka, te je stoga potrebna kontinuirana kontrola intenziteta zračenja u procesnim jedinicama. U ovom radu naglasak je na mjernim metodama koje se ugrubo mogu podijeliti na konvencionalne te jednostavnu mjernu platformu na bazi Arduina i sl.. Teorijske osnove slijedi vlastiti eksperiment u kojem su korištene obje mjerne metode. Rezultati su naposljetku uspoređeni, uz prateću raspravu oko prednosti i nedostataka provedenog eksperimenta.

KLJUČNE RIJEČI: *Spektar sunčevog zračenja, UV-A zračenje, UV-B zračenje, Arduino platforma, solarna mjerna komora.*

SADRŽAJ

1.UVOD.....1

2. TEORIJSKE OSNOVE.....2

2.1. Spektar sunčevog zračenja.....2

2.2. Ultraljubičasto zračenje.....5

2.3. Učinci ultraljubičastog zračenja.....5

2.4. Mjerne metode.....8

3. EKSPERIMENTALNI DIO.....10

3.1. Solarna komora.....10

3.2. Arduino platforma.....12

3.3. Konvencionalne metode.....15

4. REZULTATI I RASPRAVA.....18

5.ZAKLJUČAK.....23

6.LITERATURA.....24

1. UVOD

Tema završnog rada je mjerenje UV-A i UV-B zračenja pomoću Arduino platforme. Rad je koncipiran na način da prati pojedine faze provedenog eksperimenta.

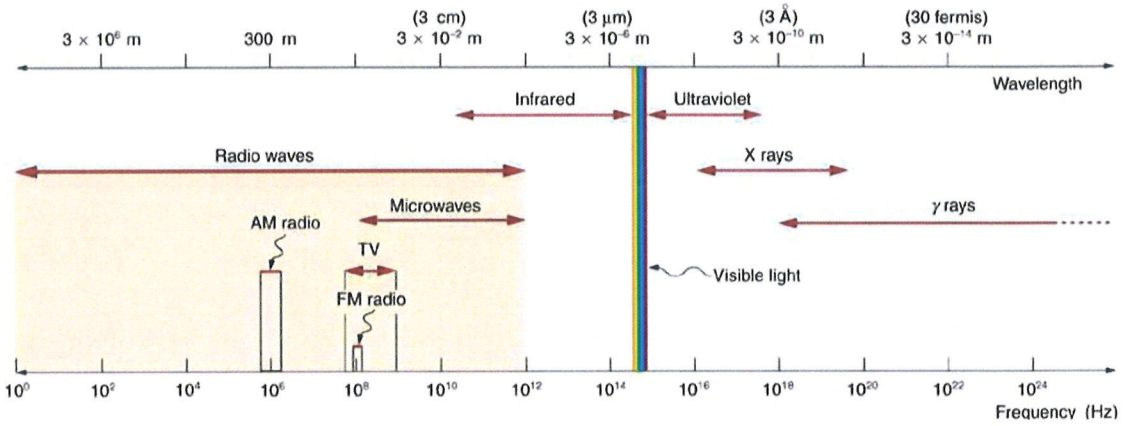
Prvi dio rada posvećen je teorijskim osnovama koje ne samo da uvode u rad već su nužne za razumijevanje važnosti eksperimenta i dobivenih rezultata. Poglavlje je podijeljeno u nekoliko potpoglavlja u kojima se razrađuje spektar Sunčevog zračenja. U kratkim crtama opisano je infracrveno zračenje i vidljiva svjetlost, dok je najviše pažnje posvećeno ultraljubičastom zračenju i to UV-A i UV-B zračenjima te njihovim učincima. Dio rada posvećen je i opisu mjernih metoda koje su korištene u eksperimentu. Prije opisivanja metoda koje smo koristili opisane su metode koje možemo naći u literaturi. Drugi dio rada odnosi se na provođenje eksperimenta i raspravu dobivenih rezultata. U tom je dijelu opisana solarna komora u kojoj su vršena mjerenja, te Arduino platforma (njezini dijelovi i način njihovog sastavljanja). U završnom dijelu rada priloženi su i opisani rezultati koji su dobiveni mjerenjem radiometrijskim metodama te jednostavnom Arduino platformom.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U prvom dijelu rada pružene su teorijske osnove koje su nužne za razumijevanje teme i koje ujedno ukazuju na važnost provođenja eksperimenata ovakve vrste. Kako bi tema bila što razrađenija i jasnija, korišten je deduktivan pristup: nakon definiranja osnovnih pojmova kao što je spektar sunčevog zračenja te UV zračenja slijedi opis i metode njihovog mjerenja. Isto tako, razloženi su učinci i primjena UV zračenja ukazujući na taj način na nezamjenjivost i sveprisutnost UV zračenja kao i na njihovu široku primjenjivost u svakodnevnom životu.

2.1. Spektar sunčevog zračenja

Elektromagnetski valovi su u rasponu valnih duljina od nekoliko kilometara do onih koje su manje od 0,02 nm. Kako bismo lakše razumjeli sličnosti i razlike između valova, oni su podijeljeni u razrede. Ti se razredi nazivaju elektromagnetski spektar. Slika 1. prikazuje cijeli spektar elektromagnetskog zračenja [15].



Slika.1. Elektromagnetski spektar, slika pokazuje glavne kategorije elektromagnetskih valova. Granica između pojedinih kategorija je jasna, dok se neke kategorije preklapaju [15].

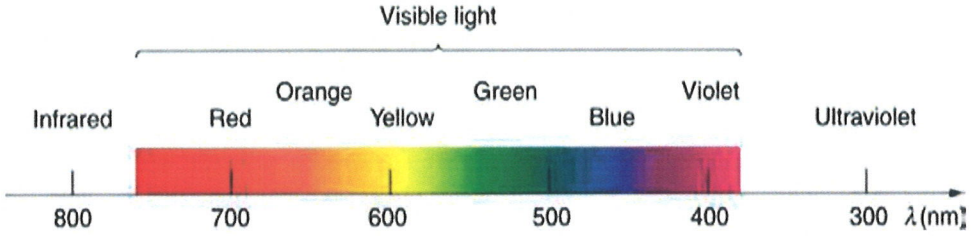
Spektar sunčevog zračenje samo je dio elektromagnetskog zračenja i to u intervalu od 200 nm do 4000 nm. Na temelju svojstava i valnih duljina Sunčevo se zračenje može podijeliti u tri područja: infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje [15]. U nastavku rada

u kratkim je crtama opisano infracrveno zračenje i vidljiva svjetlost, dok je ultraljubičasto zračenje izdvojeno u zasebno poglavlje budući da je ono tema ovog rada.

Infracrveno zračenje uglavnom se dobiva termičkim kretanjima, vibracijama i rotacijama atoma i molekula. Prostire se između donje granice vidljive svjetlosti (odmah ispod crvene) do gornje granice koja je previsoka da bi se proizvela ubrzavanjem elektrona u krugovima (no, manji sustavi poput atoma i molekula mogu vibrirati dovoljno brzo da proizvedu te valove) [15]. Na primjer molekule vode rotiraju i vibriraju poprilično dobro na infracrvenim frekvencijama, emitirajući i apsorbirajući tako dobro da je emisivnost za kožu čak 0,97. Noćnim naočalama mogu se uočiti infracrvene emisije raznih toplih objekata (uključujući i ljude) i pretvoriti ih u vidljivu svjetlost [15]. Isto tako, pomoću kamere sposobne za otkrivanje infracrvenog zračenja možemo ispitati zračenje topline iz kuće. Izviđački sateliti mogu uočiti zgrade, vozila, čak i pojedine ljude na temelju njihova infracrvenog zračenja. Češće su u upotrebi infracrvene svjetiljke, od kojih neke nazivamo kvarcnim grijačima, a njihova svrha je da nas zagrijavaju (budući da ljudi bolje apsorbiraju infracrveno zračenje od neposredne okoline).

Sunce zrači gotovo kao savršeno crno tijelo (e=1) sa temperaturom površine od 6000 K. Otprilike pola solarne energije koja dolazi na Zemlju spada pod infracrveno područje, veći dio ostatka te energija spada pod vidljivu svjetlost, dok najmanji dio spada u ultraljubičasto zračenje. U prosjeku 50 posto sunčeve energije koja dođe do Zemlje bude apsorbirana. Relativna konstanta temperatura Zemljine površine rezultat je energetske ravnoteže između dolaznog sunčevog zračenja i energije zračenja iz Zemlje. Većina infracrvenog zračenja koja se emitira sa Zemlje bude apsorbirana od strane molekula CO_2 i H_2O, nakon čega se dio tog zračenja vraća opet na Zemlju a dio odlazi u svemir. To zračenje uzrokovano molekulama CO_2 i H_2O naziva se efekt staklenika. Taj efekt održava temperaturu Zemljine površine za oko 40 °C veću nego što bi bila da nema tog efekta [15].

Vidljiva svjetlost samo je uzak segment elektromagnetskog spektra na koji ljudsko oko normalno reagira. Na slici 2. možemo vidjeti prikaz dijela spektra koji pripada vidljivoj svjetlosti. Nalazi se između ultraljubičastog i infracrvenog zračenja [15]. Vidljiva svjetlost nastaje vibracijama i rotacijama atoma i molekula, kao i prijenosima elektrona između atoma i molekula. Prijemnici ili detektori svjetlosti u velikoj mjeri koriste prijelaze elektrona.



Slika 2. pokazuje dio spektra koji pripada vidljivoj svjetlosti, zajedno s bojama i njihovim pripadajućim valnim duljinama [15].

Vidljiva svjetlost ima valne duljine u intervalu od 400 nm do 750 nm (valja napomenuti da mrežnica oka reagira čak i na najniže ultraljubičaste frekvencije, ali te frekvencije ne dođu do mrežnice budući da ih prije apsorbiraju rožnica i leća oka). Crvena svjetlost ima najnižu frekvenciju i najdulju valnu duljinu, dok ljubičasta svjetlost ima najvišu frekvenciju i najkraću valnu duljinu. Kao što je već spomenuto, Sunce zrači skoro kao idealno crno tijelo i dio tog zračenja koji spada pod vidljivu svjetlost intenzivnije je u crvenom dijelu spektra nego u ljubičastom, zato Sunce ima žućkasti izgled [15]. Vidljiva svjetlost je nama najdominantnija i mi uživamo u ljepotama prirode kroz nju. S druge strane, primjerice biljke su selektivnije što se tiče toga, pa za fotosintezu koriste samo određene dijelove vidljivog spektra za izradu šećera.

Optika je znanost koja se bavi proučavanjem ponašanja vidljive svjetlosti i drugih oblika elektromagnetskih valova. Optiku možemo podijeliti u dvije kategorije. Prva je kada elektromagnetsko zračenje, poput vidljive svjetlosti, reagira s objektima koji su veći u odnosu na valnu duljinu i njihovo kretanje može biti reprezentirano kao ravne linije poput zraka. Geometrijska optika se bavi proučavanjem takvih linija a u svoje opservacije uključuje leće i ogledala. Druga kategorija je kada elektromagnetsko zračenje reagira s objektima koji su u odnosu na valnu duljinu jednaki ili manji. Na primjer, promatrani detalj je ograničen valnom duljinom, pa tako vidljiva svjetlost nikada ne može uočiti pojedine atome jer su puno manji od njezine valne duljine. Proučavanjem takvih situacija bavi se fizikalna ili valna optika koja proučava i karakteristike tih valova [15].

2.2. Ultraljubičasto zračenje

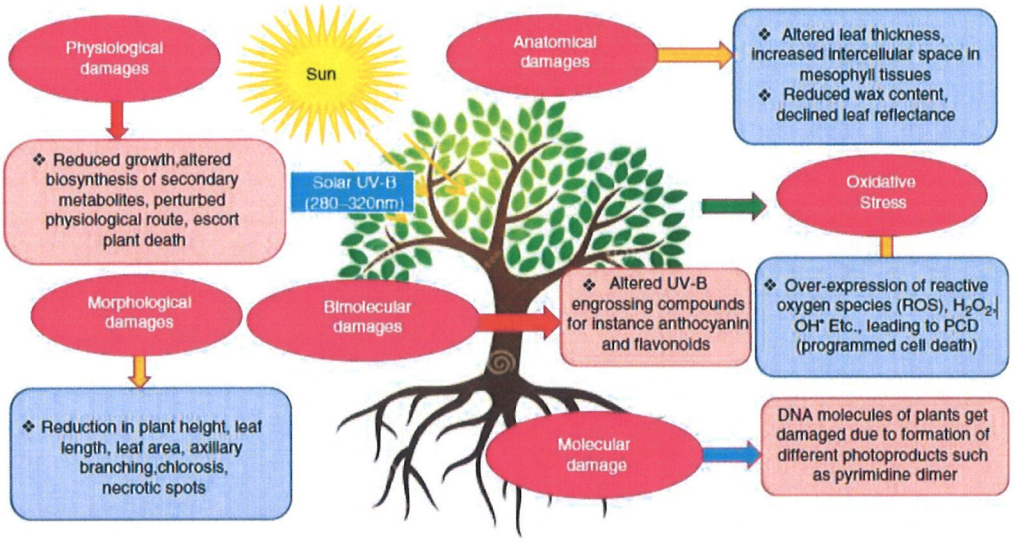
Ultraljubičasto zračenje nalazi se između vidljive svjetlosti i gama zračenja u rasponu od 10 nm do 400 nm. Ultraljubičasto zračenje također nastaje kretanjima atoma i molekula te prijenosima elektrona u njima. Otkriveno je 1801. godine kada je Johann Ritter shvatio da solarno zračenje ima nevidljivu komponentu izvan raspona ljubičaste svjetlosti vidljivog spektra [15].

Od ukupne energije Sunčevog zračenja na UV zračenje otpada oko 7 posto. Radi njihovog lakšeg proučavanja, UV spektar podijeljen je na više dijelova. Ti dijelovi su: blisko UV zračenje ($400 > \lambda > 300$ nm), srednje UV zračenje ($300 > \lambda > 200$ nm), zatim daleko UV zračenje ($200 > \lambda > 100$ nm) i ekstremno UV zračenje ($\lambda < 100$ nm) [15]. Postoji još jedna, poznatija podjela koja je korištena u ovom radu. Ona se na temelju bioloških učinaka dijeli na: UV-A ($400 > \lambda > 315$ nm), UV-B ($315 > \lambda > 280$ nm) i UV-C ($\lambda < 280$ nm) zračenja. U literaturi se nalaze različite podjele, a granice pojedinih dijelova UV zračenja variraju za ± 25 nm. Većina UV-B i cijelo UV-C zračenje apsorbirano je od strane ozona u gornjem dijelu atmosfere. Negdje oko 99 posto UV Sunčevog zračenja koje dođe na Zemljinu površinu pripada UV-A zračenju [15].

2.3. Učinci UV zračenja

UV zračenja, budući da ih ne vidimo golim okom, nekako ih gotovo i ne zamjećujemo. Međutim, dublja analiza učinaka i primjene UV zračenja u svakodnevnom životu dovoljno dokazuje njezinu sveprisutnost ali i važnosti za svakodnevne prirodne procese koji čine našu stvarnost.

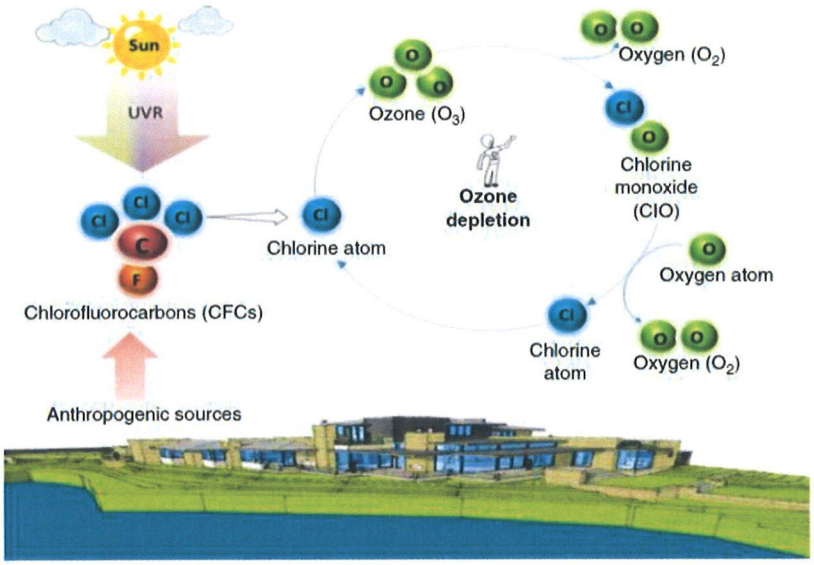
Svijet flore ovisan je o sunčevoj svjetlosti čime je neizbježno podvrgnut i UV-B zračenju [2]. Biljke svojim fotoreceptorima primaju sunčeva zračenja koja utječu na kemijske i biološke procese a posljedice su često shvaćene kontradiktorno [3]. UV-B zračenja u početku su smatrana negativnim faktorom u procesu fotosinteze, no novija istraživanja dovode u pitanje štetnost UV-B zračenja [2].



Slika 3. Višestrukost utjecaja UV-B zračenja na biljke. Slika prikazuje utjecaj UV-B zračenja na fiziološke (rast, razvoj, metabolizam), morfološke (izgled lišća, grana), anatomske (debljina lista, udio voska), molekularne (utjecaj na DNA biljaka) i biomolekularne (uvio flavonoida i drugih aktivnih tvari) značajke biljaka (preuzeto iz [2]).

Iako je UV-B zračenje samo mali dio spektra sunčevog zračenja, ono utječe na molekule, stanice a time i na druge biološke razine u organizmima biljaka [2]. Nukleinske kiseline, lipidi i proteini apsorbiraju UV-B zračenja što utječe na razvoj i tijek kemijskih procesa kod biljaka. On je u prvotnoj atmosferi remetio fotosintezu, rast i razvoj biljaka oštećivao DNA, membrane i proteine [2]. No, upravo iz tog razloga UV-B u procesu evolucije postaje pozitivan faktor. On je poticao biljke da evoluiraju na način da mogu supostojati s UV-B zračenjima (koji je danas emitiran u manjoj mjeri negoli je to bio slučaj s prvotnom atmosferom) koji od negativnog faktora postaje regulator rasta i razvoja te metaboličkih aktivnosti biljaka [2]. Isto tako, na temelju eksperimenata je potvrđeno da UV-B zračenje povećava nutritivnu i farmakološku vrijednost [3]. Nadalje, UV-B zračenja utječu i na adaptaciju biljaka na okolinu, te njihovu sposobnost da se obrane od kukaca. Sve od navedenog indirektno utječe na razvoj farmaceutske i prehrambene industrije kao i agronomije [3].

Možemo zaključiti kako manja doza UV-B zračenja djeluje kao stimulans na rast i razvoj flore, dok veća doza (koja je bila prisutna u prvotnoj atmosferi) djeluje upravo suprotno. Problem u novije vrijeme je taj što ljudi utječu na atmosferske prilike indirektno povećavajući dozu UV-B zračenja i to brzinom koja ne dozvoljava biljkama da se prilagode na vrijeme (kako je to bio slučaj u prirodnoj evoluciji).



Slika 4. Trošenje ozona uzrokovano ljudskim utjecajem (preuzeto iz [1]. Klorofluorougljici (eng. Chlorofluotocarbons) dolaze od antropogenih izvora i troše ozon na način da klor iz klorofuorougljika reagira s ozonom stvarajući klorov monoksid, zatim klorov monoksid reagira s jednim atomom kisika stvarajući molekulu kisika i atom klora koji opet reagira s ozonom.

Također valja spomenuti medijski popularnije UV-A zračenje. UV-A zračenje ne samo da dopire u znatno većoj količini negoli UV-B već i direktno utječe na ljude. Ono uzrokuje tamnjenje ljudske kože, ali i njezino crvenjenje. Veća izloženost UV-A zračenju može dovesti do prekomjernog starenja kože kao i do razvoja kancerogenih stanica koje naposlijetku dovode do raka kože. Paradoksalno, u kombinaciji s nekim lijekovima, koristi se za liječenje raznih kožnih oboljenja kao što je psorijaza, gljivične infekcije i ekcemi. Nadalje, jedan je od uzročnika prekomjerne osjetljivosti na svjetlost i očnog oštećenja. U medicinske se svrhe nerijetko koristi i u dijagnostici različitih dermatoloških, zubnih i drugih oboljenja. Nikako ne smijemo zaboraviti ni činjenicu da nas ono opskrbljuje vitaminom D zaslužnim za zdrave i jake kosti. Utječe na stanice i mikroorganizme. [1] Unatoč njegovom pozitivnom učinku, iz navedenog je jasno kako moramo biti oprezni s UV-A zračenjem zaštićujući prvenstveno našu kožu i oči (kremom za sunčanje i naočalama) od štetnog utjecaja.

Čovjek je pronašao način da UV-A zračenje koristi i u ekonomske svrhe. Naime, UV-A zračenja korisna su u indistriji plastike, stakla, metala, papira, guma i fotografije [1]. UV-A zračenja mogu se proizvesti u kontroliranim uvjetima i usmjeriti na pojedinačan cilj, no danas

(kao što je slučaj i s UV-B zračenjima) problem predstavlja veća količina UV-A zračenja koje dopire do Zemlje zbog ozonskih rupa nastalih ljudskim djelovanjem.

Također valja spomenuti da UV zračenje ima veliku ulogu kod solarne fotokatalize. U solarnoj fotokatalizi Sunce je izvor zračenja koji je potreban za aktivaciju tvari (fotokatalizatora ili kemijskih vrsta koje djeluju kao fotokatalizatori). Solarna fotokataliza se je pokazala kao unčikovita za dezinfekciju vode, indistrijsku proizvodnju finih kemikalija, za tretiranje podzemnih voda, pitke vode, industrijskih otpadnih voda te onečišćenja zraka i tla. Solarna fotokataliza ovisi o raznim čimbenicima kao što su Sunčeva ozračenost i vremenski uvjeti, temperatura, pH otopine, količina katalizatora, koncentraciji kisika te mnogim drugim. Stope solarne fotokatalitičke reakcije rastu s povećanjem solarnog zračenja. [5]

Na temelju napisanog lako je zaključiti kako različita zračenja sunčevog spektra imaju veliku i važnu ulogu u svakodnevnom životu cjelokupnog živog svijeta. Ono je i korisno i štetno, ovisno o dozi zračenja i duljini izloženosti, no priroda je uspjela postići harmoniju tih dvaju polova koju bi čovjek u bliskoj budućnosti mogao narušiti pomičući granicu u korist štetnih utjecaja sunčevog zračenja. Ozonski omotač nas štiti od prevelikog Sunčevog zračenja apsorbirajući većinu štetnog UV zračenja, a mi smo to narušili stvarajući ozonske rupe (uzrokuju ih CFC spojevi i haloni).

2.4. Mjerne metode

Postoje razne metode kojima se može mjeriti Sunčevo zračenje. Mi smo koristili spektrometar, radiometar i Arduino platformu, no u nastavku su informativno spomenute one koje nisu korištene.

Aktinometrija je grana meteorologije koja se bavi mjerenjem zračenja (osobito Sunca, atmosfere i Zemljine površine), bilancom zračenja i zakonitostima apsorpcije zračenja u atmosferi. Sunčevo zračenje možemo mjeriti i piranometrom. Piranometar mjeri ukupno Sunčevo zračenje, izravno i raspršeno, u spektralnom opsegu od 0,3 do 3,0 μm. Zapis piranometra naziva se piranograf, a instrument za kontinuirani zapis izravnoga zračenja pirheliograf. [16] Analogni instrument za mjerenje samo dugovalnoga Sunčeva zračenja zove se pirgeometar, a za mjerenje izravnoga zračenja pirheliometar. Pirheliometar

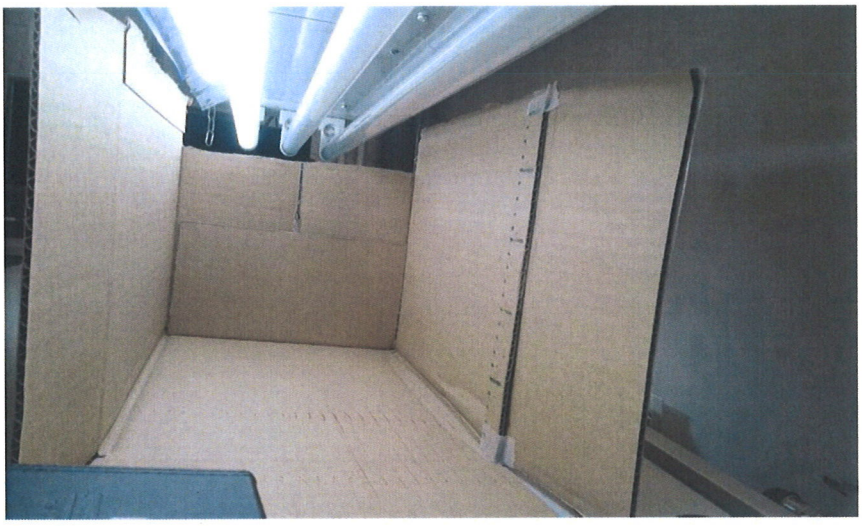
zapravo mjeri koliko neko zračenje može zagrijati određenu tvar, ali se najčešće koristi za mjerenje izravnog Sunčevog zračenja. Kod mjerenja Sunčevog zračenja može se koristiti i bolometar. Bolometar je osjetljiv instrument koji služi za otkrivanje i mjerenje energije zračenja. Fotometrom možemo mjeriti svjetlosnu jakost. On se temelji na uspoređivanju osvijetljenosti neke površine od strane poznatog izvora svjetlosti i osvijetljenosti koja dolazi od nepoznatog izvora. Stariji su fotometri mjerili zatamnjenja, a danas se koriste fotoelektrični fotometri s foto detektorima osjetljivim na zračenje [15].

3.EKSPERIMENTALNI DIO

U ovome dijelu vidjeti ćemo glavne sastavnice eksperimenta, solarnu komoru i Arduino platformu.

3.1. Solarna mjerna komora

Solarna mjerna komora u kojoj se vršilo mjerenje sastojala se od nekoliko elemenata: stalka na kojem su o lanac bili ovješeni izvori zračenja, kutije koja je sprječavala ulaz vanjskog svijetla, dva postava izvora zračenja koja su se sastojala od priključnica za linearne fluorescentne žarulje (neonske lampe) i seta od 3 lampe jednakih karakteristika. Na slici 5. prikazan je izgled te solarne komore. Prilikom mjerenja bilo je potrebno podešavati visinu što se postizalo dodavanjem i oduzimanjem knjiga na kojima je uređaj postavljen. Korištene svjetiljke emitirale su zračenja različite jakosti: prvi je set imao puno manju snagu zračenja dok je drugi imao jače i UV-A i UV-B zračenje.

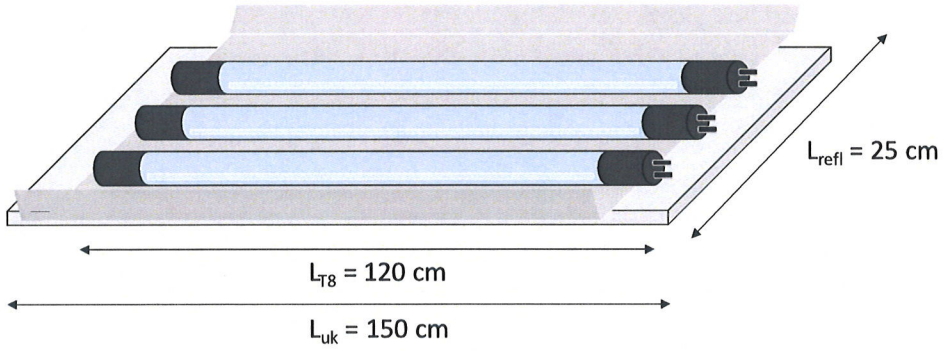


Slika 5. Solarna komora (fotografirao: Juraj Vidaček, 18. lipnja 2019)

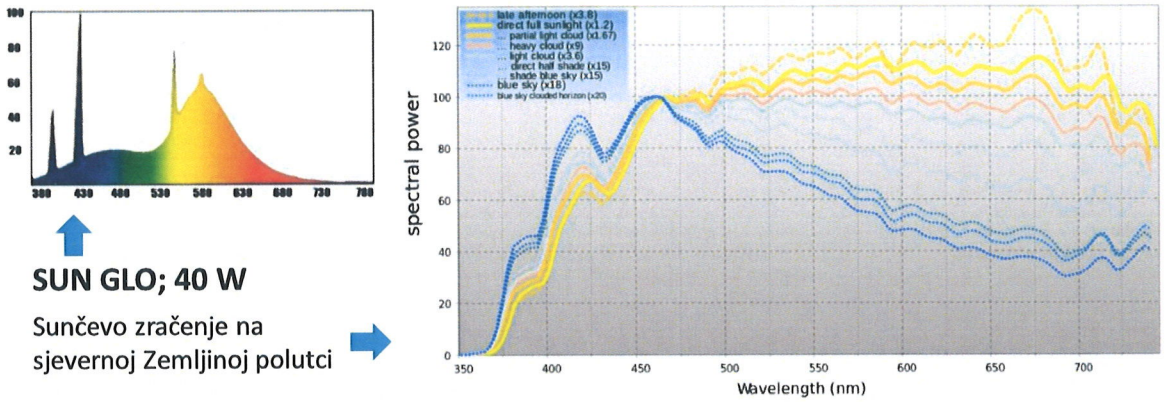
U prvom postavu (slika 6.) korištene su žarulje tipa T8 (ϕ 27 mm) Hagen SUN GLO, nominalne snage 40 W i duljine 120 cm. Na panel su postavljene 3 žarulje na jednakoj udaljenosti. Maksimalno iskorištenje cjelokupne emisije s izvora osigurano je reflektivnom površinom izvedenom u obliku ravne ploče sa presavinutim stranicama (45°).

U drugom postavu korištene su linearne fluorescentne žarulje istih dimenzija, ali značajnijih emisija UV zračenja. Žarulje su bile tipa T8 (ϕ 27 mm) Terra Exotica Sunray UVB 6.0, nominalne snage 36 W.

Spektralne karakteristike korištenih linearnih fluorescentnih žarulja odgovaraju spektru sunčevog zračenja u smislu valnih duljina emisija UV-A, UV-B i vidljivog dijela zračenja izuzev intenziteta pojedinih dijelova UV spektra. Na slici 7. prikazan je spektar lampi s manjim intenzitetom u usporedbi sa Sunčevim spektrom na sjevernoj polutci. Na spektru žarulja mogu se vidjeti vrhovi, drugim riječima, na određenim se dijelovima mogu vidjeti veliki skokovi dok kod Sunčevog spektra tako velikih skokova nema.



Slika 6. Postav izvora zračenja s dimenzijama



Slika 7. Spektralne karakteristike cijevnih fluorescentnih žarulja: T8 SUN GLO (40W) u usporedbi sa Sunčevim zračenjem.

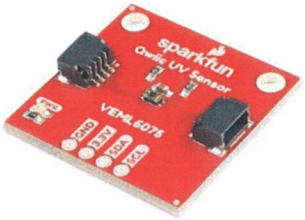
3.2. Arduino platforma

Arduino je program koji smo koristili za izradu jednostavne mjerne platforme, a senzor koji smo spojili uz pomoć tog programa je VEML6075. Arduino je naziv za open-source elektroničku platformu koja putem jednostavnog hardvera (senzora i sustava za upravljanje) i pojednostavljenog softverskog jezika omogućuje primanje vanjskog podražaja (input-a) te njegovog pretvaranja u digitalni signal (output) [8, 9]. Osnovne sastavnice platforme jesu elektronički mikrokontroler (čije komponente ovise o vrsti modela), Arduino programski jezik (temeljen na Wiring programskom okviru za upravljanje mikrokontrolerima) te Arduino softver (temeljen na Processing softveru). Wiring i Processing su, kao i Arduino, open source, što znači da su dostupni besplatno, zajedno sa svim projektima i doprinosima koje su korisnici napravili na njima[8].

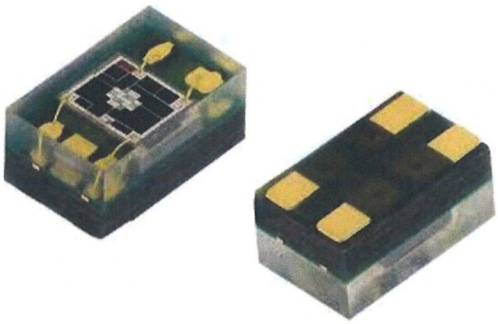
Senzor VEML6075 može očitavati UV-A i UV-B zračenje što mu omogućava da uz pomoć tih podataka izračuna UV indeks [10]. Pločica na kojoj se nalazi senzor je dimenzija 22 mm×30 mm, dok sam senzor koji očitava vrijednosti ima dimenzije 2,0 mm×1,25 mm×1,0 mm. Slika 8. prikazuje pločicu na čijoj se na sredini nalazi senzor, dok je na slici 9. prikazan izgled tog senzora.

Senzor ima dva mjerna raspona, jedan je za UV-A a drugi za UV-B, a intenzitet tih zračenja lako može pretvoriti u digitalne podatke koji se mogu očitati [9]. Na slici 10. možemo vidjeti kako izgledaju krivulje odzivnih funkcija za UV-A i UV-B zračenje. Isto tako, vidljivo je da

krivulja za UV-A ima svoj maksimum na 365 nm, dok ga krivulja za UV-B postiže na 330 nm sa širinama na polovici maksimuma (engl. *Full width at half maximum* (*FWHM*)) od 20 nm.



Slika 8. Pločica sa senzorom VEML6075 (Preuzeto s [10])



Slika 9. senzor VEML6075 (Preuzeto s [10])

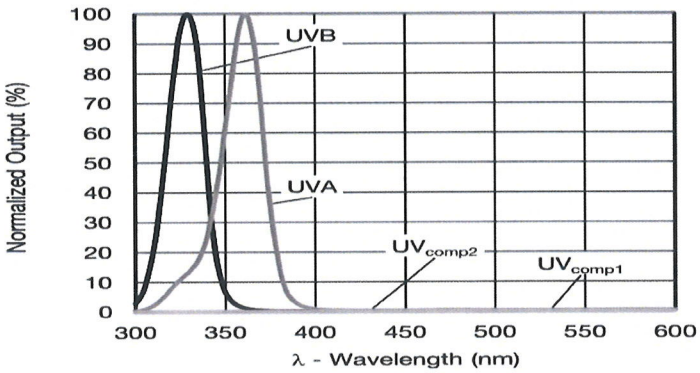


Fig. 4 - Normalized Spectral Response

Slika 10. Odzivne funkcije senzora VEML6075

Za izradu Arduino platforme bilo je potrebno: Croduino Basic2 pločica, program Arduino, kod [13] kojim se programu zadaju naredbe i senzor VEML6075. Croduino basic pločica veličine je 3 cm×5 cm, a sastoji se od: 22 Input-Output pina od kojih je 14 digitalnih (D0-D13) i 8 analognih (A0-A7) te Atmelovog Atmega328 mikrokontrolera (32 kB flash, 2kB RAM), pinova za napajanje, LED-ica, mini-b USB pomoću kojeg se povezuje s računalom, senzora i aktuatora te reset tipke. Osim analognih i digitalnih pinova postoje i drugi pinovi a to su:

- +5V – izvor istosmjernog napajanja napona 5 V, daje malu struju (400 mA)

- gnd – (ground) negativni pol istosmjernog napona

- 3V3 – izvor istosmjernog napajanja napon 3V, daje izrazito malu struju

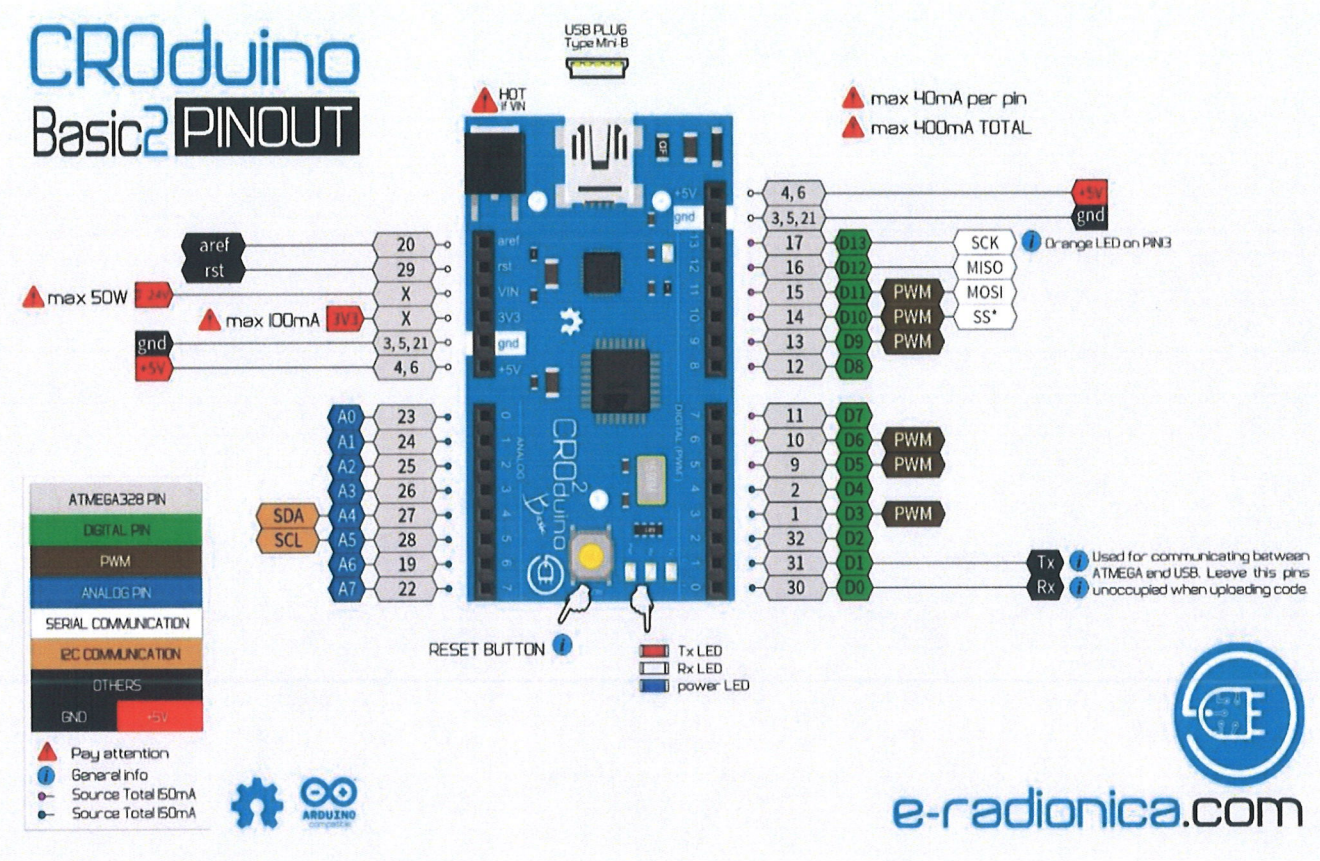
- VIN – ulaz istosmjernog napona 7V do 24V

- rst – povezan s reset tipkom

- aref – referentni analogni napon [13]

Prikaz i položaj svih sastavnica Croduino bassic2 pločice možemo vidjeti na slici 11.

Kako bi se senzor VEML6075 spojio na Croduino basic2 pločicu potrebno je računalo s instaliranim Arduino programom, te mali kablovi kojima se spaja senzor i USB kabel. Senzor se spaja analogno na dva pina (pin A4 i pin A5) i obavezno na izvor istosmjernog napajanja napona 3V. Nakon što se senzor spoji, učita se kod i u serial monitoru možemo očitati rezultate. Za svaku visinu na kojoj se mjeri uzimali smo po pet rezultata a kao krajnji rezultat korištena je njihova aritmetička sredina.



Slika 11. Croduino bassic2 pločica (preuzeto s [14])

3.3. Konvencionalne metode

Od konvencionalnih uređaja za mjerenje koristili smo spektrometar ocean optics USB2000+ i UVX radiometar Analytik Jena.

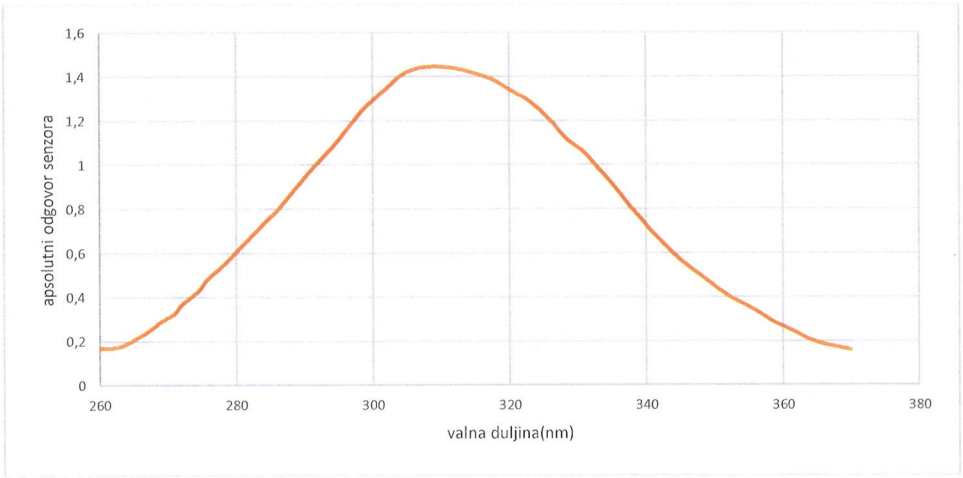
USB2000+ spektrometar je svestran. Glavna svrha mu je apsorpcija, transmisija, refleksija, emisija itd. [6]. Vrlo je popularan i podesiv za maksimalnu fleksibilnost. Isto tako, može se birati između širokog asortimana optičkih opcija i različitih pribora za uzimanje uzoraka kojima se izgrađuju različiti sustavi. Takvi spektrometri ostavljaju mali trag u mjerenju uzorka. Budući da su spektrometri danas sve manji i brži, mjerenja koja su se nekad smatrala nezamislivim izvan laboratorija danas su vrlo lako moguća. USB spektrometri povezuju se putem optike u slobodnom prostoru ili putem vlakana na izvore svjetlosti i na pribore za uzorkovanje tekućina, krutina ili drugih uzoraka. Zahvaljujući optičkim vlaknima, spektrometri se mogu instalirati izravno u procese za mjerenje kvalitativnih karakteristika. Pokriva raspon od nešto ispod 200

do 1100 nm. Zbog svega navedenog, korišten je i u ovom eksperimentu. [6] Na slici 12. možemo vidjeti izgled spektrometra.

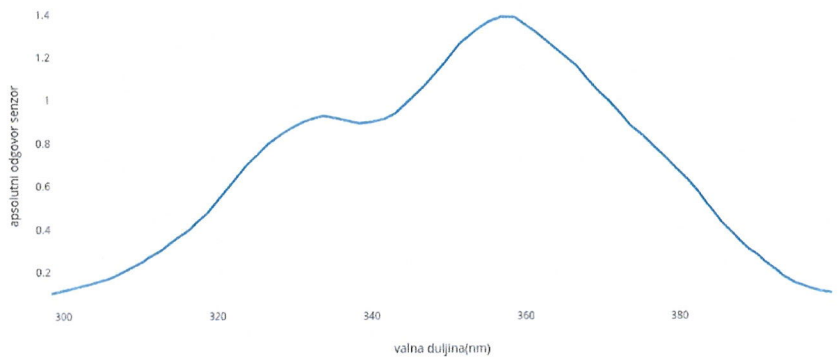
Slika 12. Spektrometar Ocean optics USB2000+, dimenzija 89.1 mm x 63.3 mm x 34.4 mm (preuzeto s [6])

UVX radiometar omogućava brzo i lako mjerenje UV intenziteta. Na slici 13. možemo vidjeti izgled radiometra. Digitalna očitanja radiometra su u širokom rasponu od 0,1 $\mu W/cm^2$ do 20 mW/cm^2 sa preciznošću koja je u skladu propisa NIST-a (National Institute of Standards and Technology) [7]. Senzori su kalibrirani na valnim duljinama od 254, 310 i 365 nm [7]. Na slikama 14. i 15. vide se odzivne funkcije senzora za UV-A i UV-B zračenje. Može se uočiti i kako su širine na polovini visine Gaussovih krivulja odzivnih funkcija radiometra puno veće nego one kod senzora VEML6075. Svaki je senzor prethodno kalibriran i zamjenjiv sa bilo kojim drugim senzorom bez utjecaja na točnost cjelokupnog sustava. Uređaj je dizajniran za izdržljivost i jednostavnost. UVX je prenosiv jer ga pokreće 9V tranzistorska baterija [7]. Može se koristiti u širokom rasponu istraživanja kao i u industriji. Najčešće se primjenjuje u genetičkim istraživanjima, fotokemijskim reakcijama, postupcima sterilizacije, eksperimentalnoj biologiji, dermatološkim istraživanjima, optičkim laboratorijskim mjerenjima i grafičkim procedurama.

Slika 13. UVX radiometar Analytik Jena (Preuzeto s [7])



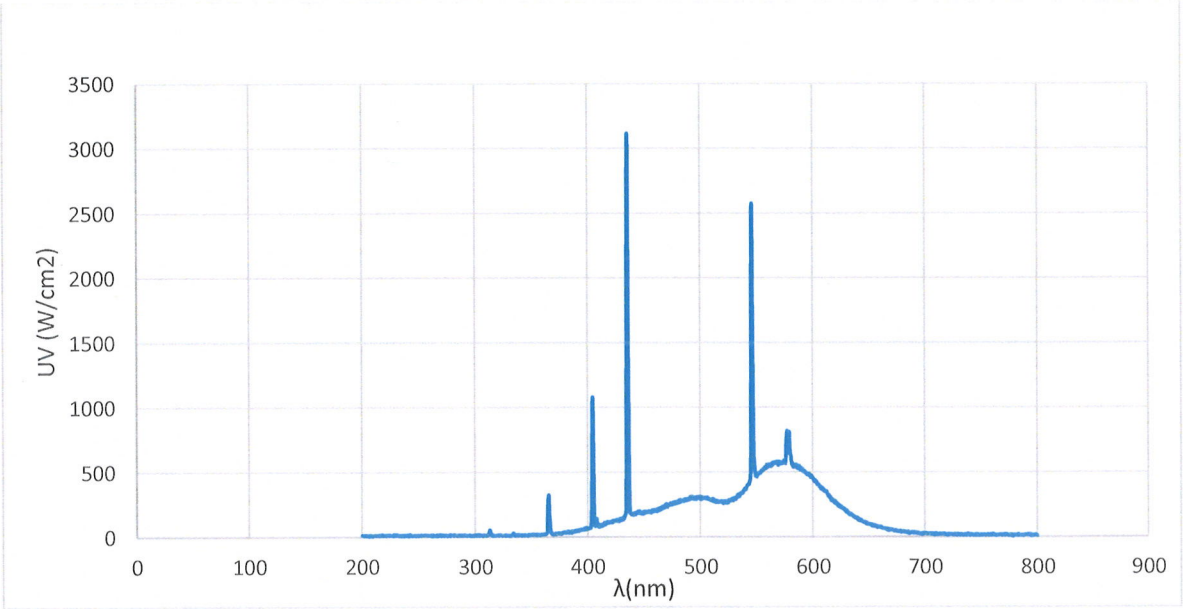
Slika 14. Prikaz odzivne funkcije senzora UVX-31 (UV-B zračenje)



Slika 15. Prikaz odzivne funkcije senzora UVX-36 (UV-A zračenje)

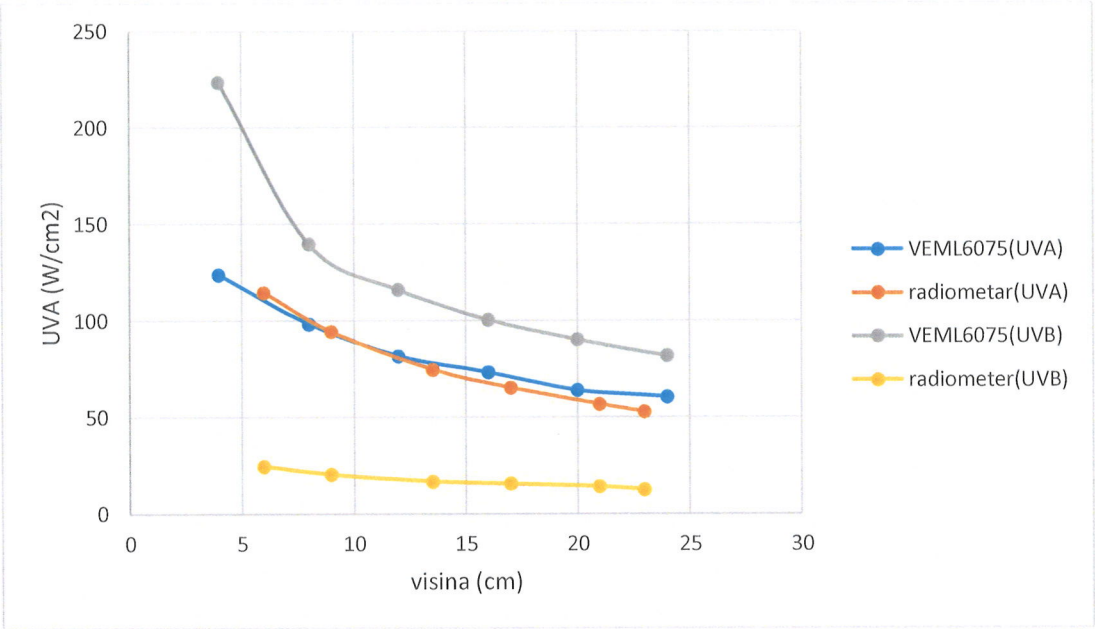
4. REZULTATI I RASPRAVA

Mjerenja u solarnoj mjernoj komori obavljena su s dva seta linearnih fluorescentnih žarulja punog spektra, ali različitih intenziteta UV zračenja. Mjerenja su napravljena s konvencionalnim uređajima i s Arduino platformom.



Slika 16. Rezultati spektrometrijskih mjerenja za set lampi 1

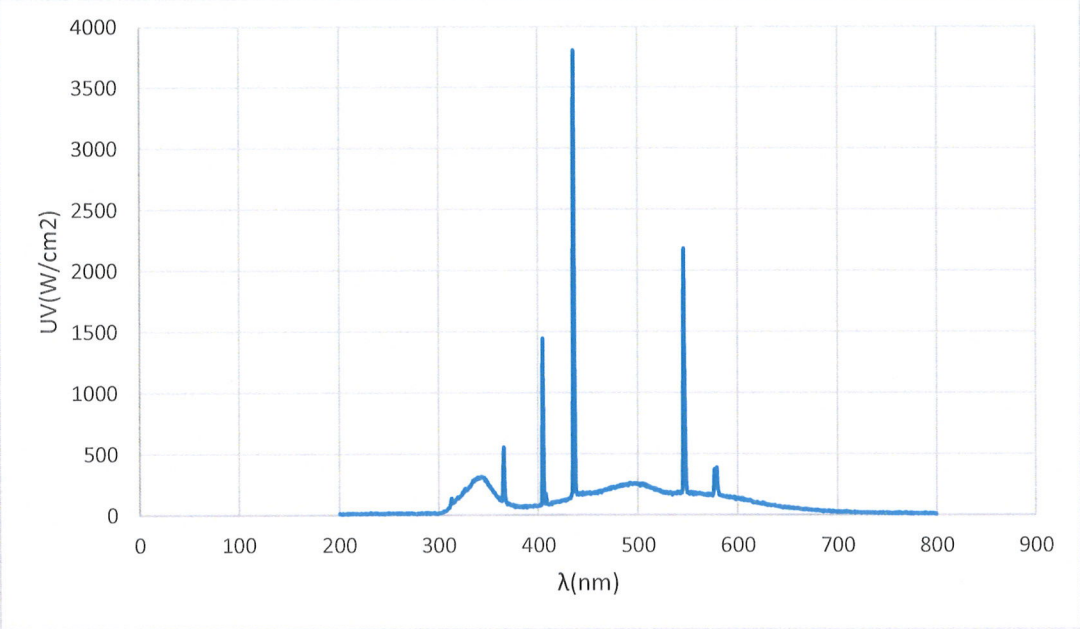
Na slici 16. prikazani su rezultati spektrometrijskih mjerenja u solarnoj mjernoj komori na setu lampi 1. Oni nam pokazuju spektar lampi. Na dijagramu se može uočiti da je najveći intenzitet lampi na valnoj duljini od 435 nm, što pripada negdje između plave i ljubičaste svjetlosti. No, to nije objekt našeg proučavanja. Naše je zanimanje usmjereno na dio koji pripada UV-A i UV-B dijelu. Vidimo da UV-A zračenje ima veći intenzitet od UV-B zračenja. Maksimalna vrijednost UV-A zračenja nalazi se na valnoj duljini od 365 nm i to odgovara u ovom slučaju jer je maksimum senzora VEML6075 za UV-A zračenje na 365 nm, a senzor radiometra je kalibriran na toj istoj valnoj duljini. S druge strane, kod UV-B zračenja situacija je malo drugačija. Najveći je intenzitet na valnoj duljini od 310 nm. Za senzor radiometra to također odgovara budući da je on kalibriran na toj valnoj duljini. Međutim, za senzor VEML6075 ne odgovara jer on svoj maksimum postiže na valnoj duljini od 330 nm i ima širinu na pola visine Gaussove krivulje 20 nm.



Slika 17. Rezultati mjerenja radiometra i senzora VEML6075 za set lampi 1

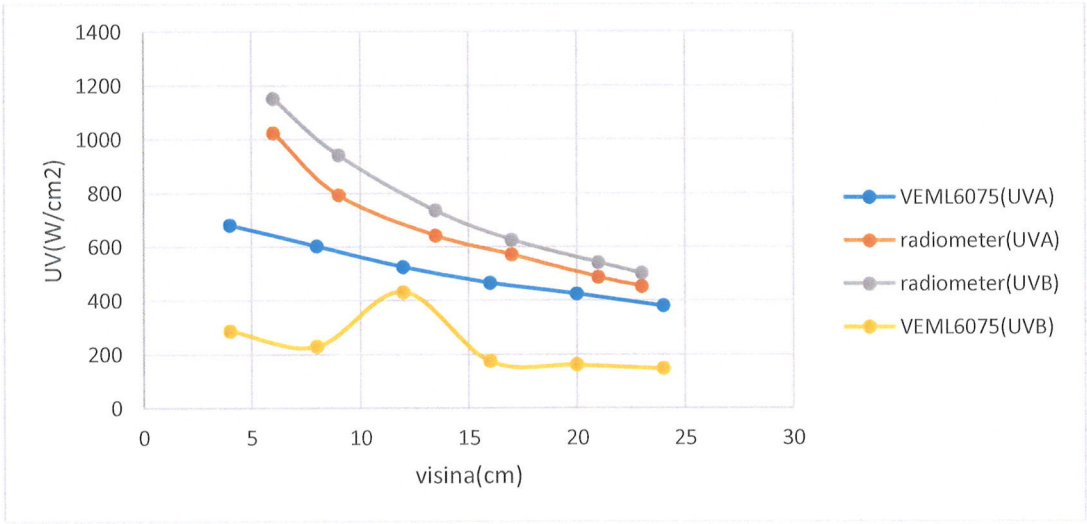
Na slici 17. prikazani su rezultati mjerenja koja smo dobili s radiometrom i Arduino senzorom. Rezultati zapravo prikazuju odnos između visine na kojoj se nalazi senzor i intenziteta koji senzor izmjeri na toj visini. Rezultate senzora VEML6075 morali smo uzimati kao srednju vrijednost pet mjerenja koja su dobivena na određenoj visini zbog razlike koja se pojavljivala na istoj visini. Isto tako, vidljivo je da se linije radiometra i arduino senzora za UV-A zračenje gotovo preklapaju (što nije slučaj sa krivuljama koje prikazuju UV-B zračenje). One se razlikuju zbog osjetljivosti mjernih instrumenata. Naime, senzor radiometra za UV-B zračenje je kalibriran na valnoj duljini od 310 nm, dok arduino senzor VEMl6075 svoj maksimum postiže na valnoj duljini od 330 nm.

Prilikom mjerenja sa setom lampi 2 postaju jasnija ograničenja Arduino platforme. Zračenja lampi seta2, koje su jače od seta1, bila su prejaka za Arduino senzor, stoga je korištena posebna pločica od pleksiglasa debljine 4 mm koja je propuštala samo 50 % zračenja.



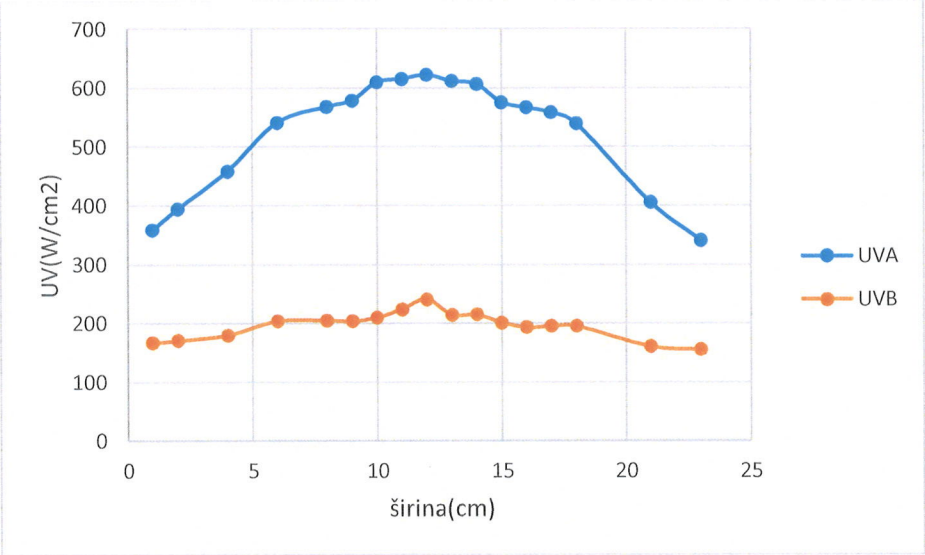
Slika 18. Rezultati spektrometrijskih mjerenja za set lampi 2

Slika 18. prikazuje spektar seta lampi2. Koncentracija je i kod ovih lampi najveća na valnoj duljini od 435 nm. Kod seta lampi 2 uočljivo je da dio zračenja koji pripada UV-A i UV-B dijelu znatno je drugačiji od onog kod seta lampi 1. UV-B zračenje raste do 315 nm, potom se prelazi u UV-A zračenje koje nastavlja rasti do 340 nm, nakon čega počne padati; nakon pada slijedi skok na valnoj duljini 365 nm gdje je i intenzitet UV-A zračenja najveći.



Slika 19. Rezultati mjerenja radiometra i senzora VEML6075 za set lampi 2

Slika 19. prikazuje ovisnost između intenziteta zračenja i visine na kojoj se nalazi senzor. Zbog prevelike razlike u rezultatima između radiometra i senzora VEML6075 donesen je zaključak da senzor VEML6075 ipak ima gornju granicu jačine intenziteta koju može izmjeriti. Uz pomoć pločice koja smanjuje intenzitet zračenja za 50%, dobiveni su točniji rezultati, no oni su ipak vrlo različiti od radiometra. Ipak, budući da su odstupanja rezultata senzora VEML6075 ponovno bila na istoj visini, kao konačan rezultat uzimala se (kao i kod prvoga seta lampi) aritmetička sredina pet uzastopnih mjerenja. Što se tiče UV-A zračenja, na temelju eksperimenta jasno je kako su na manjim visinama rezultati radiometra i senzora VEML6075 podjednaki, a porastom visine povećava se i razlika među rezultatima. Krivulje za UV-B zračenje u potpunosti se razlikuju, što se i očekivalo zbog razlika u odzivnim funkcijama koje su ranije navedene.



Slika 20. Rezultati mjerenja senzora VEML6075 za distribuciju zračenja po širini komore

Za drugi set lampi napravljen je još jedan eksperiment. Na visini od 15 cm mjeren je intenzitet ali po širini od jednog ruba kutije do drugog. Na slici 20. prikazani su vidjeti rezultati tog mjerenja (ponovno je korištena aritmetička sredina pet uzastopnih mjerenja). Kao što je i očekivano, intenzitet na sredini je najjači. UV-A ima ljepšu krivulju od UV-B-a. Na UV-A krivulji jasnije se vidi rast intenziteta prema sredini kao i pad poslije sredine, dok na UV-B krivulju razlike nisu toliko očigledne (na sredini se vidi malo veći skok).

S obzirom na sve učinke, pozitivne i negativne, koje smo ranije u radu naveli mnogi ljudi htjeli bi znati intenzitet UV zračenja. Konvencionalne metode mjerenja UV zračenja dosta su skupe i teško dostupne. S druge strane, jednostavna Arduino platforma znatno je jeftinija, lako se koristi, a relativno precizne rezultate daje na manjim intenzitetima (za vrlo jaka umjetna zračenja ne pokazuje dobre rezultate jer je senzor ipak napravljen za sunčev spektar zbog toga nismo ni dobivali dobre rezultate za UV indeks).

5. ZAKLJUČAK

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da Arduino platforma nije dovoljno precizna za samostalna mjerenja intenziteta UV-A i UV-B zračenja, ali je vrlo pristupačna i prilično jeftina metoda mjerenja za razliku od konvencionalnih metoda mjerenja. S obzirom na prilično dobar odziv i stalnost rezultata, navedenu platformu moguće je koristiti kao kontrolnu opremu u procesnim jedinicama u kojima se odvija fotokatalitičko pročišćavanje voda ili zraka. Na taj način bi se evidentirale eventualne promjene intenziteta upadnog zračenja, što bi uvelike doprinijelo kontroli i učinkovitosti samog procesa.

Korišteni je senzor napravljen za mjerenje UV-A i UV-B zračenja koja dolaze od Sunca. Budući da nije napravljen za mjerenje zračenja koja dolaze iz umjetnih izvora, nije bilo moguće točno odrediti UV indeks. Senzor ima i gornju granicu intenziteta zračenja koje može izmjeriti, no granica nije bila jasno određena u ovom radu zbog ograničenja eksperimenta u solarnoj mjernoj komori. Drugi set lampi je već imao preveliki intenzitet u odnosu na prvi set. Na temelju navedenog, može se zaključiti da senzor odlično mjeri male intenzitete dok kod velikih intenziteta zračenja pokazuje previsoke rezultate. Za daljnji rad umjeravanja senzora na Arduino platformi potrebno je adaptirati solarnu mjernu komoru barem u smislu mogućnosti potenciostatskog mijenjanja intenziteta jačih lampi.

Završni rad Mjerenje UV-A i UV-B zračenja pomoću arduino platforme mali je doprinos u proučavanju i mjerenju zračenja sunčevog spektra. Budući da je riječ o nečemu što nas svakodnevno okružuje i utječe na biokemijske procese u svim živim bićima, te ima industrijsku primjenu ovim je radom ukazano i na to kako se jeftino, brzo i efikasno mogu mjeriti ova po život važna zračenja.

6. LITERATURA:

[1] Parrish i sur. *UV-A Biological Effects od Ultraviolet Radiation with Emphasis of Human Responses to Longwave Ultravio*. New York: Plenum Press; 1978.

[2] Singh, Vijay Pratap i sur. *UV-B Radiation: From Enviromental Stressor to Regulator od Plant Growth.* London: Wiley Black; 2017.

[3] Vidović, Marija i sur. UV-B Radiation: From Enviromental Stressor to Regulator of Plant Growth. U: Singh, Vijay Pratap. *Plant Growth*. London: Wiley Black; 2017, str. 9-57

[4] Premec, Krunoslav. Ultraljubičasto Sunčevo zračenje i njegov značaj. *Hrvatski meteorološki časopis*. 2001. 35136, pp. 45-54.

[5] Spasilo, Danilo i sur. (2015) *Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial, and pre-industrialized applications. A comprehensive approach.* Applied Catalysis B: Environmental, 170-17 . pp. 90-123.

[6] *Ocean Optics*. Dostupno na: https://oceanoptics.com/product/usb2000-custom/#tab-details. Datum pristupa: 16. kolovoza 2019.

[7] *UVX Radiometer*. Dostupno na: https://www.bioexpress.com/assetsvc/asset/en_US/id/14434992/contents. Datum pristupa: 16. kolovoza 2019.

[8] *Arduino–Introduction. What is Arduino?*. Dostupno na: http://creativityprojects.blogspot.hr/2013/03/history-of-arduino_4195.html. Datum pristupa: 10. kolovoza 2019

[9] *What is Arduino? Electronic Components Datasheet Search*. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Veml6075&gclid=EAIaIQobChMI8v7Oweae5AIVidmyCh2F6AAYEAAYASAAEgJ_4_D_BwE. Datum prostupa: 10. kolovoza 2019.

[10] *UV-A and UV-B Light Sensor with I^2C Interface*. Dostupno na: http://www.vishay.com/docs/84304/veml6075.pdf. Datum pristupa: 10. kolovoza 2019.

[11] *SparkFun VEML6075 Arduino Library*. Dostupno na: https://github.com/sparkfun/SparkFun_VEML6075_Arduino_Library. Datum pristupa: 15. svibnja 2019.

[12] *Novi Croduino je tu – Croduino Basic2*. Dostupno na: https://eradionica.com/hr/blog/2015/10/11/novi-croduino-je-tu-croduino-basic2/. Datum pristupa: 8. kolovoza 2019.

[13] *Što je Arduino, a što Croduino*?. Dostupno na: https://eradionica.com/hr/blog/2015/10/08/sto-je-arduino-i-croduino/. Datum pristupa: 8. kolovoza 2019.

[14] *Corduino Basic2*. Dostupno na: https://e-radionica.com/. Datum pristupa: 8. kolovoza 2019.

[15] Urone, Paul Peter i Roger Hinrichs. *College Physics*. Portland: OpenStax College; 2012. pp. Introduction to Science and the Realm of Physics, Physical Quantities, and Units.

[16] Hrvatska enciklopedija. Dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/. Datum pristupa: 25. kolovoza 2019.

PRILOZI:

Slika.1. Elektromagnetski spektar, slika pokazuje glavne kategorije elektromagnetskih valova. Granica između pojedinih kategorija je jasna, dok se neke kategorije preklapaju [15].

Slika 2. pokazuje dio spektra koji pripada vidljivoj svjetlosti, zajedno s bojama i njihovim pripadajućim valnim duljinama [15].

Slika 3. Višestrukost utjecaja UV-B zračenja na biljke (preuzeto iz [2]).

Slika 4. Trošenje ozona uzrokovano ljudskim utjecajem (preuzeto iz [1].

Slika 5. Solarna komora (fotografirao: Juraj Vidaček, 18. lipnja 2019)

Slika 6. Postav izvora zračenja s dimenzijama

Slika 7. Spektralne karakteristike cijevnih fluorescentnih žarulja: T8 SUN GLO (40W) u usporedbi sa Sunčevim zračenjem.

Slika 8. Pločica sa senzorom VEML6075 (Preuzeto s [10])

Slika 9. senzor VEML6075

Slika 10. Odzivne funkcije senzora VEML6075

Slika 11. Croduino bassic2 pločica (preuzeto s [14])

Slika 12. Spektrometar Ocean optics USB2000+ dimenzija 89.1 mm x 63.3 mm x 34.4 mm (preuzeto s [6])

Slika 13. UVX radiometar Analytik Jena (Preuzeto s [7])

Slika 14. Prikaz odzivne funkcije senzora UVX-31 (UV-B zračenje)

Slika 15. Prikaz odzivne funkcije senzora UVX-36 (UV-A zračenje)

Slika 16. Rezultati spektrometrijskih mjerenja za set lampi 1

Slika 17. Rezultati mjerenja radiometra i senzora VEML6075 za set lampi 1

Slika 18. Rezultati spektrometrijskih mjerenja za set lampi 2

Slika 19. Rezultati mjerenja radiometra i senzora VEML6075 za set lampi 2

Slika 20. Rezultati mjerenja senzora VEML6075 za distribuciju zračenja po širini komore