

Merenje spektralnih refleksija biljaka

Srđan Tegeltija, Branislav Tejić, Nikola Đukić, Gordana Ostojić, Milovan Lazarević
Katedra za mehatroniku, robotiku i automatizaciju / Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad, Srbija

srkit@uns.ac.rs, tejić@uns.ac.rs, nikoladj@uns.ac.rs, goca@uns.ac.rs, laza@uns.ac.rs

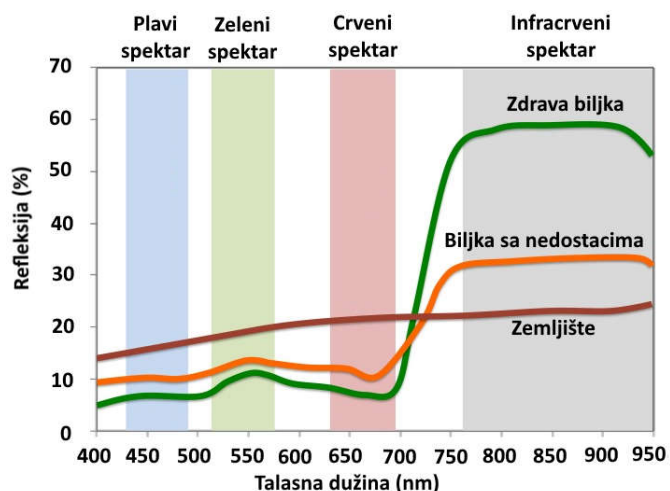
Sažetak—Prinos i kvalitet roda poljoprivrednih proizvoda u velikoj meri zavise od stanja samih biljaka (dovoljno vlage i hranljivih materija u zemljištu, odsustvo bolesti i štetočina, itd.). Kada biljka pokaže simptome nekih nedostataka (nedostatak vode i hranljivih materija, pojava bolesti i štetočina, itd.), tada je kvalitet i prinos roda poljoprivrednih proizvoda uveliko narušen. Metode za procenu stanja biljaka, i pre vidljivih simptoma, koje se često koriste baziraju se na određivanju indeksa spektralnih refleksija biljaka. U ovom radu opisani su postojeći načini određivanja indeksa spektralnih refleksija biljaka. Opisan je i predlog jednog rešenja za jednostavno i pouzdano određivanje indeksa spektralnih refleksija biljaka.

Ključne reči—stanje biljaka; spektralna refleksija biljaka; indeksi spektralnih refleksija biljaka;

I. UVOD

Veliki uticaj na prinos i kvalitet roda poljoprivrednih kultura ima stanje samih biljaka. Stanje biljaka zavisi od velikog broja faktora, neki od njih su količina vlage u zemljištu, količina hranljivih materija u zemljištu, pojava i razvoj bolesti, pojava štetočina, itd. Usled raznih nepovoljnih uticaja biljka će vremenom pokazati nedostatke, u početku kao promena boje listova, a u uznapredovalim stadijumima dolazi do sušenja i opadanje listova. U krajnjim stadijumima nastupa odumiranje cele biljke. Kada simptomi nedostataka postanu uočljivi kvalitet i prinos roda je uveliko narušen, čime se povećavaju troškovi proizvodnje. Kako bi se predupredio gubitak kvaliteta i prinosa roda biljke potrebno je odrediti stanje i nedostatke biljaka pre pojave vidljivih simptoma. Jedan od neinvazivnih načina određivanja stanja biljaka je određivanje indeksa spektralnih refleksija biljaka [1]-[3]. U zavisnosti od stanja, biljka određene delove spektra svetla više apsorbuje dok druge delove spektra više reflektuje. Biljka koja je zdrava i efikasno vrši fotosintezu apsorbuje vidljivi deo spektra (crveni, zeleni i plavi deo spektra) dok nevidljivi deo spektra u infracrvenom i spektru bliskom infracrvenom spektru reflektuje. Biljka koja poseduje određene nedostatke (nedostatak vode ili hranljivih materija) ne vrši efikasno fotosintezu i takva biljka ima nešto veću refleksiju vidljivog spektra dok se refleksija nevidljivog spektra tj. spektra bliskog infracrvenom spektru smanjuje. Na Sl. 1 prikazan je dijagram zavisnosti spektralne refleksije u zavisnosti od talasne dužine zračenja kod zdrave biljke, biljke sa nedostacima i zemljišta [4]. Sama vrednost spektralne refleksije u određenom delu spektra ne daje puno informacija o stanju biljke. Iz tog razloga uvedeni su indeksi spektralnih refleksija biljaka. Indeksi

spektralnih refleksija biljaka predstavljaju različite odnose spektralnih refleksija u određenim spektrima koji se računaju po odgovarajćim algoritmima.



Slika 1. Spektralne refleksije biljaka u zavisnosti od talasne dužine svetlosti

Indeksi spektralnih refleksija biljaka se nazivaju i vegetacioni indeksi. Indeksi spektralnih refleksija imaju primenu kod određivanja regiona sa zdravom vegetacijom i količinom biomase [5], za procenu prinosa roda poljoprivrednih kultura [6], za količinu dostupne vode biljkama [7],[8], za detekciju pojave obolenja biljaka [9]-[11], kao i detekciju pojave štetočina [12].

U ovom radu opisani su postojeći načini merenja spektralnih refleksija biljaka i opisan je predlog jednog rešenja za jednostavno i pouzdano merenje spektralnih refleksija biljaka. Predloženo rešenje omogućava brzo i jednostavno merenje spektralnih refleksija biljaka u plavom, zelenom, crvenom i infracrvenom spektru svetla.

II. MERENJE SPEKTRALNIH REFLEKSIJA BILJAKA I ODREĐIVANJE INDEKSA REFLEKSIJA BILJAKA

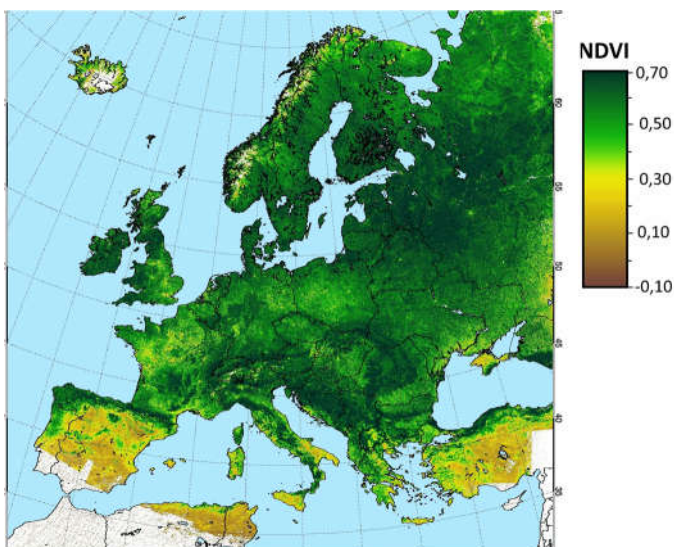
Kako bi bilo moguće odrediti indekse refleksija biljaka potrebno je izmeriti refleksije biljaka u određenim delovima spektra svetla namenskim senzorima ili obradom slika dobijenih sa kamera osetljivih na određene delove spektra svetla. U Tabeli I dat je primer nekoliko indeksa spektralnih refleksija i način njihovog određivanja (R_{NIR} spektralna refleksija u infracrvenom spektru

svetla, R_{RED} spektralna refleksija u crvenom spektru svetla, R_{GREEN} spektralna refleksija u zelenom spektru svetla, R_{BLUE} spektralna refleksija u plavom spektru svetla) [13]. Pored indeksa spektralnih refleksija datih u tabeli postoji veoma veliki broj različitih indeksa spektralnih refleksija koji imaju primenu za procenu stanja biljaka. U zavisnosti od potreba korisnika merenje spektralnih refleksija biljaka može se vršiti na velikim geografskim područjima (gde se istovremeno vrši merenje na velikom broju biljaka) kao i na pojedinačnim biljkama.

TABELA I. PRIMER INDEKSA SPEKTRALNIH REFLEKSIJA I NAČIN NJIHOVOG ODREĐIVANJA

Indeks spektralne refleksije	Računanje
SR (Simple Ratio)	$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$
EVI (Enhanced Vegetation Index)	$EVI = 2.5 \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{1 + R_{NIR} + 6R_{RED} - 7.5R_{BLUE}}$
GCI (Green Chlorophyll Index)	$CI_{GREEN} = \frac{R_{NIR}}{R_{GREEN}} - 1$

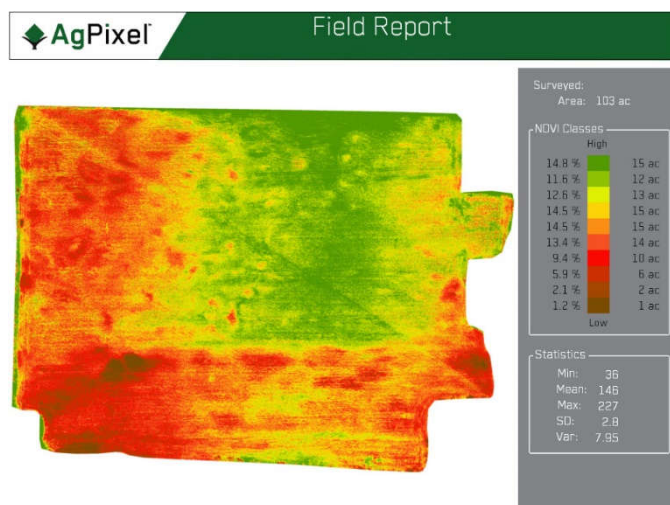
Merenje spektralnih refleksija biljaka na velikim područjima zasniva se na upotrebi multispektralnih kamera koje se postavljaju na satelite ili na letelice (avione, dronove, itd.) i na naknadnoj obradi slika. Obradom slika dobijaju se vrednosti indeksa spektralnih refleksija biljaka za svaki piksel slike. Postavljanjem multispektralnih kamera na satelite moguće je dobiti multispektralne slike veoma velikih područja (čak i celih kontinenata) [14]. Na Sl. 2 prikazan je primer NDVI indeksa određenog satelitskim snimanjem [15].



Slika 2. NDVI indeks na teritoriji Evrope određen satelitskim snimanjem

Iako je velika prednost određivanja indeksa refleksija biljaka korišćenjem satelitskih snimaka mogućnost dobijanja podataka za veoma velika područja, postoji veoma veliki broj nedostataka ove metode. Ukoliko je oblačno nije moguće dobiti podatke o

spektralnim refleksijama biljaka. Nedostatak predstavlja i mala učestanost uzorkovanja (zavisí od učestanosti preleta satelita iznad određene teritorije i potrebnog vremena za obradu podataka). U zavisnosti od satelita koji se koriste i površine koja se posmatra periodičnost uzorkovanja se kreću od jednog dana pa do nekoliko nedelja. Drugi nedostatak je taj što multispektralne kamere postavljene na satelite imaju fiksne filtere tj. nije moguće menjati spektre svetlosti u kojima se vrši uzorkovanje. Nedostatak predstavlja i rezolucija uzorkovanja koja se kreće od nekoliko metara do nekoliko desetina metara. Svi ovi nedostaci mogu predstavljati problem kada je potrebno veoma često pratiti stanje biljaka (nekad i više puta u toku dana) i iz tog razloga praćenje stanja biljaka pomoću satelitskih snimaka najčešće se koristi za praćenje i uticaj klimatskih promena na biljni svet [16], [17]. Postavljanjem multispektralnih kamera na letelice, najčešće na bespilotne letelice [18], moguće je vršiti uzorkovanje onoliko puta koliko to zahteva korisnik, čak i nekoliko puta u toku dana. Za razliku od satelitskih snimaka, prednost snimanja bespilotnim letelicama je i taj što se u svakom trenutku može postaviti multispektralna kamera sa željenim karakteristikama i rezolucija dobijenih slika je reda nekoliko centimetara. Nedostatak je taj što je nemoguće vršiti snimanje po kiši i veoma jakom vetru. Najčešće se snimanje izvodi tako što se u namenskom softveru odabere region (npr. njiva) koji treba da se snimi, zatim se određuje željena putanja bespilotne letelice i učestanost slikanja. Nakon toga bespilotna letelica obilazi željeni region zadatom putanjom i vrši uzorkovanje tj. slikanje. Na Sl. 3 dat je primer izveštaja za NDVI indeks određen snimanje bespilotnom letelicom generisanog u namenskom softveru AgPixel [19].



Slika 3. Primer izveštaja o NDVI indeksu generisanog u namenskom softveru

Najveći nedostatak procene stanja biljaka snimanjem satelitima i bespilotnim letelicama je cena. Proizvodnja i lansiranje satelita u orbitu oko Zemlje je praktično nemoguće za veliki broj kompanija i pojedinaca. Sa druge strane trenutno je i cena multispektralnih kamera visoka i nije dostupna svima i što procenu stanja pojedinačnih biljaka pomoću multispektralnih kamera čini finansijski neisplativim. Iz tog razloga nastali su namenski uređaji za određivanje indeksa spektralnih refleksija biljaka.

Namenski uređaji za određivanje indeksa spektralnih refleksija biljaka koriste za procenu stanja pojedinačne biljke. Uređaj se usmeri ka biljci i najčešće na svom ekranu ispisuju vrednost indeksa refleksije. Na Sl. 4 dat je primer jednostavnog uređaja za određivanje indeksa spektralne refleksije biljaka [20]. Pored cene, prednost ovih uređaja su male dimenzije i težina, prenosivost i veoma brzo određivanje vrednost indeksa refleksija (reda nekoliko sekundi) bez potrebe za dugim procedurama snimanja i obrade slika.



Slika 4. Primer uređaja za merenje indeksa refleksije biljaka

Nedostatak ovih uređaja je taj što nisu primenljivi za velike regione sa velikim brojem biljaka i što imaju najčešće mogućnost određivanja samo jednog indeksa spektralne refleksije. Najčešće se koriste za određivanje jednostavnijih indeksa refleksija koji se računaju samo na osnovu dva opsega spektra kao što su SR, NDVI, itd.

III. PREDLOŽENO REŠENJE

Pojavom učestalog korišćenja ručnih uređaja za određivanje indeksa refleksije, došlo se na ideju da se predloži rešenje za uređaj koji je u mogućnosti da meri više od jednog indeksa spektralne refleksije, da rezultati merenja budu zadovoljavajući i da cena uređaja bude prihvatljiva. Predloženo rešenje se sastoji od izvora svetlosti, detektora reflektovane svetlosti, upravljačke jedinice i napajanja, kao što je prikazano na Sl. 5.

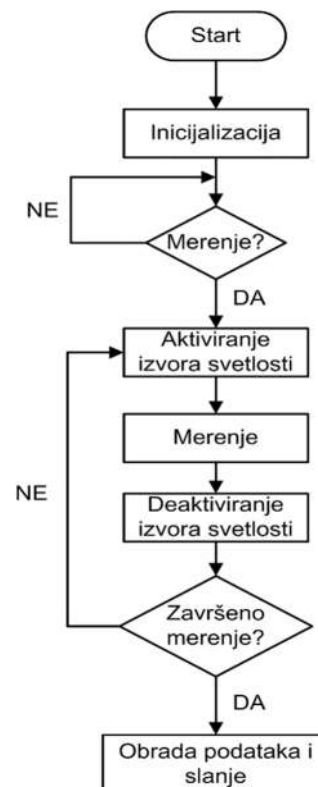
Pošto se vrši merenje refleksije u više različitih delova spektra svetloa, izvor svetlosti treba da može da generiše svetlost u 4 spektra, plavom, zelenom, crvenom i infracrvenom spektru, od 450 do 1200 nm. Na ovaj način omogućavamo računanje više indeksa refleksije. Kao izvor svetlosti, korišćena je jedna svetlosna dioda koja u svom čipu ima implemetirana sva četiri izvora svetslosti koji su neophodni za rad [21]. Izvor svetslosti je snage 3W .



Slika 5. Blok šema predloženog rešenja

Prilikom odabira detektora reflektovane svetlosti, odabrana je PIN foto dioda koja ima sposobnost da detektuje svetlost u spektru od 400 do 1100 nm. PIN foto dioda je poluprovodnička komponenta koja optički signal pretvara u odgovarajući električni signal, napon. Ova poluprovodnička komponenta ima bolje dinamičke karakteristike i osetljivost od drugih tipova foto detektora, kao sto su foto tranzistor i foto otpornik.

U okviru upravljačke jedinice nalazi se kolo za upravljanje radom izvora svetslosti, kolo za pobudu PIN diode [22], pojačavač signala sa diode [23], mikrokontroler [24] i kolo za komunikaciju sa računom [25]. Na Sl. 6 je prikazan algoritam rada predloženog rešenja.



Slika 6. Algoritam rada predloženog rešenja

Pri dovođenju napajanja na predloženo rešenje, izvršava se inicijalizacija celog sklopa. Pod inicijalizacijom se podrazumeva deaktivacija svih izvora svetlosti, polarizacija detektora refleksije i priprema mikrokontrolera i ostalih periferija za dalji rad. Ukoliko se ispune uslovi za merenje, započinje se postupak merenja.

Sekvencijalno se aktiviraju izvori svetlosti, vrši se merenje refleksije za aktivirani kanal, deaktivira se izvor svetlosti, a izmerena vrednost se čuva u memoriji mikrokontrolera do završetka postupka merenja. Ovaj postupak se ponavlja onoliko puta koliko imamo spektara na izvoru svetlosti, što je u ovom slučaju 4. Redosled aktivacije izvora svetlosti i merenja refleksije je da se prvo vrši aktivacija i merenje za plavi spektar svetlosti, zatim za zeleni spektar svetlosti, pa za crveni spektar svetlosti i na kraju infracrveni spektar svetlosti.

Da bi se smanjio uticaj kontinualnih izvora svetlosti koji obasjavaju objekat merenja, vrši se frekventna PWM modulacija pri aktivaciji izvora svetlosti koji se kontroliše. Frekvencija modulacije je 1 kHz, a vreme trajanja obasjavanja objekta merenja je 1 s za svaki spektar koji poseduje izvor svetlosti.

Merenje refleksije se vrši pomoću AD konvertora mikrokontrolera. Signal koji generiše detektor refleksije se dodatno pojačava i dovodi na AD konvertor mikrokontrolera. Signal koji se dobije na ulazu AD konvertora je skaliran u opsegu od 0V do napona napajanja mikrokontrolera i time je postignuta velika preciznost konverzije.

Nakon završetka merenja poslednjeg spektra, izmerene vrednosti refleksije se obrađuju, verifikuju i računaju se indeksi refleksije. Izračunati indeksi refleksije se prosleđuju na serijski RS232 interfejs predloženog rešenja.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisane su metode merenja spektralnih refleksija biljaka, određivanje indeksa spektralnih refleksija i njihova primena za procenu stanja biljaka. Predloženo je jedno rešenje za određivanje indeksa spektralnih refleksija u više delova spektra svetlosti. Predloženo rešenje predstavlja polaznu osnovu za realizaciju uređaja za procenu stanja biljaka koja je planirana u daljem radu. Pravci budućeg rada obuhvatiće: projektovanje elektronskih sklopova kako bi realizovani uređaj bio što manjih dimenzija i lako prenosiv; odabir načina napajanja koja ne bi previše uticala na dimenzije i masu realizovanog uređaja, a omogućila bi odgovarajuću autonomiju rada; odabir odgovarajućih komunikacionih modula male potrošnje kako bi se jednostavno i efikasno prenosile izmerene vrednosti spektralnih refleksija biljaka do sistema za obradu podataka.

LITERATURA

- [1] J. Peñuelas and I. Filella, "Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status," *Trends Plant Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 151–156, Feb. 1998.
- [2] D. A. Sims and J. A. Gamon, "Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages," *Remote Sens. Environ.*, vol. 81, no. 2–3, pp. 337–354, 2002.
- [3] A. a Gitelson, Y. Gritz, and M. N. Merzlyak, "Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves," *J. Plant Physiol.*, vol. 160, no. 3, pp. 271–82, 2003.
- [4] "What is NDVI," <https://hummingbirdaerialsurveys.com/about/what-is-ndvi/> [pristup: Januar 2017].
- [5] N. D. M Othman, Z H Ash'aari, F M Muharam, W N A Sulaiman, H Hamisan and M. and N. H. Othman1, "Assessment of drought impacts on vegetation health: a case study in Kedah," *Earth Environ. Sci.*, vol. 37, pp. 1–13 2016.
- [6] K. Diker and W. C. Bausch, "Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize," *Biosyst. Eng.*, vol. 85, no. 4, pp. 437–447, 2003.
- [7] J. Peñuelas, I. Filella, C. Biel, L. Serrano, and R. Savé, "The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 14, no. 10, pp. 1887–1905, Jul. 1993.
- [8] P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemoud, and J. M. Grégoire, "Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain," *Remote Sens. Environ.*, vol. 77, no. 1, pp. 22–33, 2001.
- [9] R. A. Naidu, E. M. Pery, F. J. Pierce, and T. Mekuria, "The potential of spectral reflectance technique for the detection of Grapevine leafroll-associated virus-3 in two red-berried wine grape cultivars," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 66, no. 1, pp. 38–45, 2009.
- [10] T. Rumpf, A. K. Mahlein, U. Steiner, E. C. Oerke, H. W. Dehne, and L. Plümer, "Early detection and classification of plant diseases with Support Vector Machines based on hyperspectral reflectance," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 74, no. 1, pp. 91–99, 2010.
- [11] C. Bravo, D. Moshou, J. West, A. McCartney, and H. Ramon, "Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance," *Biosyst. Eng.*, vol. 84, no. 2, pp. 137–145, 2003.
- [12] H. Genc, L. Genc, H. Turhan, S. Smith, and J. Nation, "Vegetation indices as indicators of damage by the sunn pest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat," *African J. Biotechnol.*, vol. 7, no. 2, pp. 173–180, 2008.
- [13] A. Viña, A. A. Gitelson, A. L. Nguy-Robertson, and Y. Peng, "Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops," *Remote Sens. Environ.*, vol. 115, no. 12, pp. 3468–3478, 2011.
- [14] "NDVI from AVHRR," https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_avhrr.php [pristup: Januar 2017].
- [15] "AVHRR compatible NDVI derived from MERIS data (MERIS_AVHRR_NDVI)," https://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/ndvi_meris.php [pristup: Januar 2017].
- [16] L. Zhou, C. J. Tucker, R. K. Kaufmann, D. Slayback, N. V Shabanov, and R. B. Myneni, "Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 106, no. D17, pp. 20069–20083, 2001.
- [17] N. Pettorelli, J. O. Vik, A. Mysterud, J.-M. Gaillard, C. J. Tucker, and N. C. Stenseth, "Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change," *Trends Ecol. Evol.*, vol. 20, no. 9, pp. 503–510, Feb. 2017.
- [18] J. Primicerio *et al.*, "A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture," *Precis. Agric.*, vol. 13, no. 4, pp. 517–523, 2012.
- [19] "AgPixel Products & Services," <http://www.agpixel.com/products-services/> [pristup: Januar 2017].
- [20] "Photon Systems Instruments," <http://www.psi.cz/products/pocket-sized-instruments/plantpen-pri-200-ndvi-300> [pristup: Januar 2017].
- [21] "CREE XLamp MC-E", <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Arrays-Directional/XLamp-MCE>, [pristup: Januar 2017].
- [22] "BPW34", <https://www.sparkfun.com/datasheets/Prototyping/Solar/bpw34.pdf>, [pristup: Januar 2017].
- [23] "TLC2262", <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc2262.pdf>, [pristup: Januar 2017].
- [24] "ATmega8", http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf, [pristup: Januar 2017].

[25] "MAX232", <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>, [pristup: Januar 2017].

ABSTRACT

Yield and quality of agricultural products highly depends on the state of the plants (enough moisture and nutrients in the soil, the absence of diseases and pests, etc.). When the plant shows symptoms of unhealthy states (water or nutrient deficiency, occurrence of diseases and pests), the yield and quality of the agricultural products are already reduced. Methods for evaluation of plants state before symptoms becomes noticeable

are most often based on the determination of the spectral reflectance indices of plants. This paper describes the existing methods of determination of spectral reflectance indices of plants. Also the proposal for a easy and reliable determination of the spectral reflectance indices of plants is described in this paper.

THE MEASUREMENT OF PLANTS SPECTRAL REFLECTANCES

Srđan Tegeltija, Branislav Tejić, Nikola Đukić, Gordana Ostojić, Milovan Lazarević