Biblid: **0350-2953 (2019) 45(3): 119-126**
UDK: 631.3; 631.5;

Originalni naučni rad
Original scientific paper

VARIJABILNOST NORMALIZOVANIH VEGETATIVNIH INDEKSA U ŠEĆERNOJ REPI VARIABILITY OF NORMALIZED VEGETATIVE INDICES IN SUGAR BEET

**Turan Jan¹, Višacki Vladimir¹, Oparnica Stanko²,
Sedlar Aleksandar¹, Pavol Findura³, Patrik Burg⁴**

¹ Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

² Kite DOO, Bulevar Slobodana Jovanovića 4, 21000 Novi Sad, Srbija

³ Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. Andreja Hlinku 609/2, 949 76 Nitra, Slovačka

⁴ Fakultet za hortikulturu, Mendel Univerzitet Brno, Valtická 337, 691 44 Lednice, Češka

e-mail: vladimir.visacki@polj.edu.rs

ABSTRAKT

Kulture se razlikuju, čak i na istom polju. Tehnologija Precizna poljoprivredna omogućava bolju identifikaciju, analizu i upravljanje vremenskom i prostornom varijabilnošću u polju. Preciznost je u svrhu smanjenja ove varijabilnosti kroz više usmerene i ciljne napore - napore koji bi trebali povećati proizvodnju održavajući kvalitet i kvantitet useva. Kada se govori o daljinskom senzoru u preciznoj poljoprivredi, odmah se misli na senzore o indeksima vegetacije. Vegetacija ili vegetativni indeks izračunava se pomoću različitih spektralnih opsega dobijenih od strane multi spektralnih kamera na satelitima ili letelicama.

U radu su date prosečne vrednosti vegetativnih indeksa sa oglednog polja useva šećerne repe. Normalizovani diferencijalni vegetativni indeks predstavlja opšte stanje biljke i ne daje nikakve konkretne informacije o usevu. Drugi korišćeni Zeleni normalizovani vegetativni indeksi informišu korisnika o intenzitetu boje biljke budući da se u proračunu koristi zeleni spektar svetlosti. Poslednji izračunati indeks NDVI_{re} koristi u proračunu krajnje crveni deo spektra svetlosti koja je bitna u toku rasta i razvoja svetlosti. NDVI indeks se kreće u opsegu od 0,75 do 0,9, gNDVI ima vrednosti u opsegu od 0,7 do 0,78 dok NDVI_{re} se kreće od 0,6 do 0,68.

Ključne reči: precizna poljoprivreda, vegetativni indeksi, multispektralne kamere, satelit, šećerna repa.

1. UVOD

Kulture se razlikuju, čak i na istom polju. Tehnologija Precizna poljoprivredna omogućava bolju identifikaciju, analizu i upravljanje vremenskom i prostornom varijabilnošću u polju. Preciznost je u svrhu smanjenja ove varijabilnosti kroz više usmerene i ciljne napore - napore koji bi trebali povećati proizvodnju održavajući kvalitet i kvantitet useva. Kada se govori o daljinskom senzoru u preciznoj poljoprivredi, odmah se misli na senzore o indeksima vegetacije. Vegetacija ili vegetativni indeks izračunava se pomoću različitih spektralnih opsega, obično u zavisnosti od vrste stresa biljaka što je cilj da se vizualizuje. Zdravstveno

stanje biljke moguće je ispitati i proveriti, snimiti a zatim i procesuirati uz pomoć različitih indeksa kao što su: NDVI, NDRE, VARI, TGI, SIPI2, LCI, BNDVI, GNDVI. Svaki indeks ima drugačiju upotrebu i drugačiji vizuelni izlaz. Njihova svrha jeste ta da se preko tih indeksa vrši provera trenutnog stanja biljke, proverava potreba za vodom i različitim hranljivim materijala ili čak utvrđuje prisustvo bolesti ili insekata na biljki (stepen zaraženosti). Ovi indeksi se dobijaju snimanjem spektralnim kamerama čija cena u zavisnosti od namene i rezolucije može biti od 3870 € pa do 175620 €. Zbog visoke cene opreme ali i zahtevnog rada tokom snimanja, najčešće se koriste usluge trećih lica koji će izvršiti snimanje ili usluge koje su na raspolaganju vezane za korišćenje satelitskih snimaka sa manjom preciznošću. U oba slučaja zahteva dobro obučenog inženjera precizne poljoprivrede.

Upotrebom multi spektralnih satelitskih snimaka, dobijenih od satelita ili drona, u mogućnosti smo da pratimo stanje useva na daljinu. To ne isključuje prisustvo čoveka na parceli, nego otkriva problematične zone navodi nas na njih. Obilazak parcele nije nasumičan nego ciljana operacija.

NDVI je jedan od desetina vegetacionih indeksa koji se mogu izračunati. On nam omogućava da vidimo stres na biljkama 2 nedelje pre nego što bude vidljiv golim okom što nam daje mogućnost intervencije, bilo da je stres izazvan nedostatkom hraniva ili vode. Puni potencijal mape dobijaju preklapanjem 2 i više parametara. Poređenjem NDVI i mape prinosa vidi se proporcionalno poklapanje zona. Crvene NDVI zone pokazuju biljke koje su ili pod velikim stresom ili su već završile vegetaciju i one se poklapaju sa zonama niskog prinosa, crvene zone na mapi prinosa. Nasuprot tome zelene NDVI zone se poklapaju sa zonama višeg prinosa. NDVI mape se mogu koristiti i u kasnijoj fazi razvoja biljaka. Na mapi se jasno vidi neujednačenost sazrevanja useva na različitim parcelama i u različitim zonama iste parcele. Indeks normirane razlike vegetacije - U preciznoj poljoprivredi, NDVI se koristi za merenje biomase. Dok se u šumarstvu koristi za kvantifikaciju indeksa šumske raznovrsnosti i lista.

NDRE - Normalizovana razlika crvenog spektra - Indeks osetljiv na sadržaj hlorofila u lišću suprotno od efekata pozadine, tla. Ovaj indeks se može formulisati samo ako je dostupan crveni spektar.

SIPI2 - Indeks intenzivne pigmentne strukture 2 - Indeks koji se koristi u područjima sa visokom varijabilnošću u strukturi krošnje (npr. Šumarstvo).

LCI - Leaf Chlorophyll Index - Indeks za procenu sadržaja hlorofila u područjima potpune pokrivenosti listova.

TGI - Indeks trouglastog zelenila - RGB indeks za osetljivost hlorofila. TGI indeks se oslanja na vrednosti refleksije na vidljivim talasnim dužinama. To je prilično dobar pokazatelj za sadržaj hlorofila u područjima sa velikom gustinom lišća.

VARI - Vidljivi atmosferski otporni indeks - RGB indeks za pokrivanje listova. Ovaj indeks se koristi za procenu dela vegetacije u slici sa niskom osetljivošću na atmosferske efekte.

BNDVI - Indeks blue indeksiranog razlikovanja - BNDVI je indeks bez dostupnosti crvenih kanala koji koristi vidljive plave, za područja osetljiva na sadržaj hlorofila.

GNDVI - Indeks zelene normalizovane razlike vegetacije - GNDVI indeks koristi vidljive zelene umesto vidljive crvene i blizu infracrvene. Korisno za merenje brzine fotosinteze i praćenja stresa biljaka.

Da bi se ovi potencijali iskoristili potrebno je započeti proces uvođenja precizne poljoprivrede u svakodnevnu praksu. Ne postoji „srebrni metak“, idealno rešenje koje se može univerzalno primeniti za sve korisnike. Ova činjenica može da izgleda obeshrabrujuće na prvi pogled, međutim ova činjenica ostavlja vrlo veliki manevarski prostor svakom korisniku, jer svako od njih može imati svoj jedinstveni put. Sagledati svoje postojeće mogućnosti i od toga krenuti i polako uvoditi nove tehnologije.

Poznavanje obrade snimaka je ključni segment u preciznoj poljoprivredi. Prikupljeni snimci sa satelita ili dronova mogu veoma lako odvesti korisnike na pogrešan put. To je čest slučaj. Kako bi se rizik umanjio, uvode se pomoćni ili precizniji indeksi. Suštinski, pomoćni indeksi daju iste informacije kao i glavni indeksi vegetativnog stanja ali su precizniji. Preciznost se ogleda u smanjenju uticaja spoljnih faktora sredine i eventualnih grešaka.

Cilj rada je sagledavanje varijabilnosti tri slična vegetaciona indeksa kako bi se dobile tačnije informacije vezane za dati usev. Zadatak rada predstavlja da se dati indeksi NDVI, gNDVI i NDVI_{re} izračunaju uz pomoć mapa sa satelita. Statistička obrada podataka će dati osnovne pokazatelje pomenutih indeksa u pogledu varijabilnosti i različitosti.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Sprovedena istraživanja su realizovana u ataru sela Lovćenac na parceli površine 25 ha. Usev je šećerna repa sorte Koala. Osnovno đubrenje je bilo KCl u količini od 200 kg/ha dok je ista količina AN đubriva primenjena kao prihrana tokom vegetacije. Parcela je ravna, mikro reljef je ujednačen. Ne postoje značajnija odstupanja. Iz baze podataka satelitskog Sistema Sentinel 2 preuzeti su snimci parcele. Snimci su se odnosili na 19. jul 2019. godine. Obuhvaćeni su više različitih spektara svetlosti. Prvi je spektar svetlosti blizak infra crvenom i to u suženom opsegu. Kod Sentinel 2 satelita, on je obeležen kao spektar 8A sa opsegom od 865 ± 10 nm talasne dužine. Svaki piksel je rezolucije 20×20 m. Skraćeno ime je NIR narrow. Preuzet je snimak crvenog dela spektra koji je označen sa B4. Obuhvaćena talasna dužina kod pomenutog spektra je 665 ± 15 nm. Rezolucija je 10×10 m. Refleksija zelenog dela spektra označena je sa B3 čiji je opseg 560 ± 17.5 nm. Osim ovog snimka, preuzet je snimak B5 kome pripada refleksija krajnje crvenog dela spektra svetlosti. Obuhvata spektar od 705 ± 7.5 nm talasne dužine a površina piksela je 400 m^2 (20×20 m).

Normalizovan diferencijalni vegetacioni indeks jednak je količniku razlike i zbira NIRnarrow i B4 spektra svetlosti. Zeleni normalizovani diferencijalni vegetacioni indeks jednak je količniku razlike i zbira NIRnarrow i B3 spektra svetlosti. Poslednji izračunat indeks je NDVI_{re} (krajnje crveni spektralni normalizovani diferencijalni vegetacioni indeks) koji je jednak količniku razlike i zbira NIRnarrow i B5 spektra svetlosti. Snimci izračunatih vegetacionih indeksa su prikazani na sledećoj slici 1. Spektar je obojen u zelenu boju koja je razvrstana po intenzitetu u 5 kategorija. Svi proračuni su odrađeni u program QGIS verziji 3.4. U raster kalkulator su zadate komande navedene za proračun

indeksa. Nisu uključene nikakve ispravke, korekcionni faktori. Na snimcima nisu zabeležene smetnje u obliku oblaka ili drugog tipa.

Sl. 1a. NDVI

Sl. 1b. gNDVI

Sl. 1c. NDVIre

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

Korišćenjem alata za raster snimke, eksportovani su podaci vezani za pomenute indekse. Podaci su obrađeni u program Statsoft Statistica 12. Urađena je deskriptivna statistika. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Tab. 1. Deskriptivna statistika vegetativnih indeksa.

Tab. 1. Descriptive statistics of vegetative indices

Index	Mean	Min.	Max.	Lwr Qrtl	Upr Qrtl	Variance	Std. Dev.	CV	Standard Error
NDVI	0.869	0.698	0.895	0.863	0.881	0.00036	0.019	2.186	0.001
gNDVI	0.748	0.635	0.769	0.744	0.757	0.00021	0.014	1.914	0.001
NDVIre	0.653	0.538	0.680	0.646	0.664	0.00033	0.018	2.786	0.001

Ukoliko je usev u izuzetno dobroj kondiciji, vitalan ,bez stresa i nedostataka u hrani, bez napada bolesti, Normalizovani diferencijalni vegetacioni indeks može imati maksimalnu vrednost 1. U ovom slučaju prosečan NDVI indeks za dato polje iznosi 0,869. Minimalna vrednost je 0,698 dok je maksimalna vrednost 0,895. Standardna devijacija iznosi 0,019 dok je koeficijent varijacije izuzetno nizak, samo 2,186 %. NDVI indeks je indeks koji ukazuje na opšte stanje biljaka na parceli. Svetlije tačke na parceli ukazuju na lošije opšte stanje ali uzrok tog stanja je nepoznat. Indeks ne ukazuje da li je reč o korovu ili usevu što može da pruži netačne informacije o usevu. Za razliku od NDVI, gNDVI indeks govori dve bitne karakteristike useva. Prva je o intenzitetu rasta i razvoja a drugi je o stresu. Umesto crvenog dela spektra, koristi zeleni deo spektra. Na datoj parceli ovaj indeks ukazuje na to da su biljke veoma ujednačene budući da je koeficijent varijacije samo 1,914% dok je standardna devijacija 0,014. Prosečna vrednost ovog indeksa je za oko 14% manja od prosečne vrednosti indeksa NDVI. Minimalne i maksimalne vrednosti, 0,635 i 0,769 potvrđuju izuzetno visoku ujednačenost. Na osnovu ovog indeksa se može zaključiti da biljka ima veoma dobar rast i razvoj i da nije preživela nikakav stres do sredine jula. Poslednji izračunati indeks NDVIre je za oko 13% niži od gNDVI odnosno za oko 25% niži od NDVI indeksa. Prosečna vrednost od 0.653 ukazuje na to da je hlorofil apsorbovao veći deo NIR dela spektra. To ukazuje na dobru kondiciju biljke. Prema navodima James R. Et al. (2012) dati indeks ukazuje da je ipak stanje biljke moglo biti bolje. Verovatno je uticala neka vrsta stresa. To je samo pretpostavka budući da je to nemoguće tvrditi o kakvom je stres reč koristeći pomenuti indeks.

Cat.	Frequency table:NDVI
	Percent of Valid
.65<x≤. 70	0.17
.70<x≤. 750	0
.75<x≤. 80	1.042
.80<x≤. 85	9.72
.85<x≤. 90	89.06

Tab. 2a. Tabela frekvencija
NDVITab. 2a. Frequency table of
NDVI

Cat.	Frequency table:gNDVI
	Percent of Valid
.62<x≤. 64	0.17
.64<x≤. 66	0
.66<x≤. 680	0.35
.68<x≤. 70	0.521
.70<x≤. 72	4.167
.72<x≤. 74	12.35
.74<x≤. .76	66.49
.76<x≤. .78	15.97

Tab. 2b. Tabela frekvencija
gNDVITab. 2b. Frequency table
gNDVI

Cat.	Frequency table:NDVIre
	Percent of Valid
.52<x≤. 54	0.17
.54<x≤. 56	0.347
.56<x≤. 58	0.17
.58<x≤. 60	1.215
.60<x≤. 62	4.514
.62<x≤. 64	9.55
.64<x≤. 66	45.66
.66<x≤. .68	38.36

Tab. 2c. Tabela frekvencija
NDVIreTab. 2c. Frequency table
NDVIre

Tabela frekvencija je data u tabeli 2 za svaki indeks. Informacija o distribuciji frekvencija za ogledno polje je bitna jer daje konačnu informaciju o varijabilnosti. Distribucija frekvencija za NDVI je takva da 89,04% podataka se nalazi u opsegu vrednosti od 0,85 do 0,9. Kod indeksa gNDVI, taj opseg se kreće od 0,7 do 0,78 dok je kod indeksa NDVIre opseg od 0,62 do 0,68. Na osnovu ovih tabela se može formirati kriva Normalne distribucije i odrediti parametri distribucije.

Statistička obrada podataka je izvršena u programu StatSoft Statistica 12.5. Međusobna razlika je testirana T testom. Može se sa 95% sigurnosti da postoji statistički značajna razlika između indeksa NDVI sa jedne strane i gNDVI i NDVIre sa druge strane.

Dobijene informacije o stanju biljke na osnovu izračunatih indeksa ukazuje na to da je polje dosta ujednačeno po pitanju rasta i razvoja. Prema poslednjem indeksu NDVIre ukazano je na to da je došlo ipak do nekog manjeg stresa budući da je ovaj indeks trebao biti za oko 10% veći. Značajnija odstupanja nisu zabeležena. Trodimenzionalni prikaz indeksa dat je na slici 2. Povećanje vrednosti indeksa je najizraženije kod NDVI dok je najmanje kod NDVIre. Distribucija frekvencija kod sva tri indeksa je takva da gradi usku Normalnu distribuciju. Vrlo mali broj uzorka se nalazi ispod donjeg kvartila što se takođe i vidi na slici 2.

Tab. 3. T test za sva tri izračunata indeksa.
Tab. 3. T test for all three calculated indices.

T-test for Independent Samples
Note: Variables were treated as independent samples

<i>Group 1</i> vs. <i>Group 2</i>		t-value	p	Std.D ev. Group 1	Std.D ev. Group 2	F-ratio Variances	p Variances	Levene F(1,df)	p Levene
NDVI	vs.	122.3	0.00	0.019	0.014	1.762	0.000	17.057	0.000
gNDVI		43	0						
NDVI	vs.	197.9	0.00	0.019	0.018	1.094	0.284	0.004	0.947
NDVIre		25	0

Sl. 2. Distribucija frekvencija izračunatih indeksa
Fig. 2. Distribution of frequencies of calculated indexes

4. ZAKLJUČAK

Precizna poljoprivreda sa primenom u ratarstvu omogućava korisniku da dobije informacije o opštem stanju useva. Normalizovani diferencijalni vegetativni indeks predstavlja opšte stanje biljke i ne daje nikakve konkretne informacije o usevu. Drugi korišćeni Zeleni normalizovani vegetativni indeksi informiše korisnika o intenzitetu boje biljke budući da se u proračunu koristi zeleni spektar svetlosti. Poslednji izračunati indeks NDVIre koristi u proračunu krajnje crveni deo spektra svetlosti koja je bitna u toku rasta i razvoja svetlosti. Velika refleksija ukazuje na loše stanje biljke što je i slučaj sa crvenim spektrom svetlosti. Ovaj deo svetlosti biljka usvaja i koristi ga za fotosintezu. Stoga je ovaj indeks od izuzetne važnosti. Osim što ukazuje na rast i razvoj biljke, moguće je da ukaže na stres. TO je zabeleženo i na ovom primeru šećerne repe gde je indeks trebao biti veći za oko 10%. NDVI indeks se kreće u opsegu od 0,75 do 0,9, gNDVI ima vrednosti u opsegu od 0,7 do 0,78 dok NDVIre se kreće od 0,6 do 0,68.

5. LITERATURA

1. James, R.I.; John, L.D.; Julia, A.B. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sens. Environ.* 2012, 122, 11–21.
2. Heege H. (Editor), (2013), *Precision in crop farming*, Springer, Dordrecht, 356 pg.
3. Huang Y B, Thomson S J, Hoffmann W C, Lan Y B, Fritz B K. Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *Int J Agric & Biol Eng.* 2013; 6(3): 1–10.
4. Lan Y B, Chen S D, Fritz B K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *Int J Agric & Biol Eng.* 2017; 10(3): 1–17.
5. Lawes, R. A., Robertson, M. J., (2011), Whole farm implications on the application of variable rate technology to every cropped field, *Field Crops Research*, 124, pp. 142–148.
6. Schieffer, T., Dillon, T., (2013), Precision agriculture and agro-environmental policy, in: *Precision agriculture '13*, Ed Stafford J., Wageningen Academic Publishers, ISBN: 978-90-8686-224-5.
7. Shockley, J., Dillon, C. R., Stombaugh, T., et al., (2012), Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery, *Precision Agric.* 13, pp. 411–420.
8. D. J. Mulla, “Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps,” *Biosystems Engineering*, vol. 114, no. 4, pp. 358–371, 2013.
9. L. Chang, S. Peng-Sen, and Liu Shi-Rong, “A review of plant spectral reflectance response to water physiological changes,” *Chinese Journal of Plant Ecology*, vol. 40, no. 1, pp. 80–91, 2016.
10. A.-K. Mahlein, E.-C. Oerke, U. Steiner, and H.-W. Dehne, “Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection,” *European Journal of Plant Pathology*, vol. 133, no. 1, pp. 197–209, 2012.
11. E.-C. Oerke, A.-K. Mahlein, and U. Steiner, “Proximal sensing of plant diseases,” in *Detection And Diagnostics of Plant Pathogens*, pp. 55–68, Springer, 2014.

12. L. Wang, J. Liu, L. Yang, Z. Chen, X. Wang, and B. Ouyang, "Applications of unmanned aerial vehicle images on agricultural remote sensing monitoring," *Nongye Gongcheng Xuebao/ Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 29, no. 18, pp. 136–145, 2013.
13. J. Torres-Sanchez, J. M. Pe ´ na, A. I. de Castro, and F. L ´ opez- ´ Granados, "Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 103, pp. 104–113, 2014.

VARIABILITY OF NORMALIZED VEGETATIVE INDICES IN SUGAR BEET

**Turan Jan¹, Višacki Vladimir¹, Oparnica Stanko²,
Sedlar Aleksandar¹, Pavol Findura³, Patrik Burg⁴**

¹ Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

² Kite DOO, Bulevar Slobodana Jovanovica 4, 21000 Novi Sad, Serbia

³ Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. Andreja Hlinku 609/2, 949 76 Nitra, Slovakia

⁴ Faculty of Horticulture, Mendel University Brno, Valtická 337, 691 44 Lednice, Czech Republic

e-mail: vladimir.visacki@polj.edu.rs

SUMMARY

Crops vary, even in the same field. Precision agricultural technology enables better identification, analysis and management of temporal and spatial variability in the field. Precision is for the purpose of reducing this variability through more focused and targeted efforts - efforts that should increase production by maintaining the quality and quantity of the crop. When it comes to remote sensors in precision agriculture, sensors about vegetation indices are immediately referred to. Vegetation or vegetative index is calculated using different spectral ranges obtained by multispectral cameras on satellites or aircraft.

The average values of vegetative indices from the test field of sugar beet crop are given in the paper. The normalized differential vegetative index represents the general condition of the plant and does not provide any specific information on the crop. Other used Green normalized vegetative indices inform the user of the intensity of the plant color since the green spectrum of light is used in the calculation. The last calculated NDVI_{re} index uses in the calculation the red edge part of the light spectrum which is important during the growth and development of light. The NDVI_{re} ranges from 0.75 to 0.9, the gNDVI ranges from 0.7 to 0.78 while the NDVI_{re} ranges from 0.6 to 0.68.

Keywords: precision agriculture, vegetative indices, multispectral cameras, satellite, sugar beet

Napomena: rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu TR31046, „Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.