

UPOTREBA BESPILOTNOG ZRAKOPLOVNOG SUSTAVA ZA ODREĐIVANJE BROJA ZDRAVIH BILJAKA U KULTURI RIJETKOGA SKLOPA

Filip Kovačić¹, Kristijan Krznarić¹

¹ GEO OMEGA d.o.o., Vrbik 8/B, Zagreb, Hrvatska

e-pošta: [filip.kovacic@geo-omega.hr](mailto:filiip.kovacic@geo-omega.hr), kristijan@geo-omega.hr

SAŽETAK

Bespilotnim zrakoplovnim sustavom senseFly eBee Ag obavljeno je snimanje iz zraka nasada jabuka, kao kulture rijetkoga sklopa. Nasad je smješten u okolini Lekenika u Sisačko-moslavačkoj županiji i snimljen je u bliskom infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra kamerom Canon S110 NIR, čime je ostvaren uvid u vegetacijske karakteristike ciljanog područja. Na temelju snimaka iz zraka izrađen je digitalni ortofoto, digitalni model površine i digitalni model terena. Temeljem digitalnog ortofota izrađeni su vegetacijski indeksi koji su korišteni kao podloga za prebrojavanje kvalitetnih biljaka, biljaka koje zahtijevaju dodatno tretiranje te osušenih biljaka. U radu su analizirana tri pristupa prebrojavanja biljaka: nadzirana klasifikacija biljaka, nadzirana klasifikacija i diferenciranje digitalnih modela terena i reljefa. Rezultati dobiveni TVI nadziranom klasifikacijom i filter digitalnog modela terena stvorili su najbolji odraz stvarnog stanja nasada pružajući podatke o zdravim biljkama, biljkama koje zahtijevaju dodatno tretiranje i osušenim biljkama.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotni zrakoplovni sustav, senseFly eBee, vegetacijski indeksi, prebrojavanje biljaka

1. UVOD

Zadnjih pola desetljeća intenzivno se razvijaju bespilotni zrakoplovni sustavi koji svoju primjenu pronalaze u brojnim djelatnostima, pa tako i u geodeziji. Jedna od usluga koje geodezija na temelju proizvoda izrađenih s pomoću bespilotnih zrakoplovnih sustava može pružiti agronomskoj struci jest precizna poljoprivreda. Precizna poljoprivreda zasniva se na konceptu upravljanja poljoprivrednom industrijom temeljem snimaka i informacijske tehnologije (Rokhmana, 2015), poglavito GIS-a.

Geodetska struka u sklopu precizne poljoprivrede može prikupljati podatke bespilotnim zrakoplovnim sustavima, koristeći se pritom adekvatnim kamerama ili senzorima, te nakon prikupljanja podataka provesti njihovu analizu i interpretaciju temeljem kojih se izrađuju podloge i planovi kompatibilni sa sustavima na poljoprivrednim strojevima (Sito i dr., 2015, Sito i dr., 2016). Kao takva, precizna poljoprivreda nudi mogućnost optimizacije efikasnosti proizvodnje, poboljšanja kvalitete, minimalizacije utjecaja na okoliš te smanjenje rizika u poljoprivrednoj proizvodnji (Whelan i James, 2010).

Za razliku od satelitskih snimaka visoke razlučivosti, koji danas dosežu razlučivost i do 30 cm/piksela (URL 1), bespilotni zrakoplovni sustavi već u izvedbama niže i srednje

kvalitete pružaju mogućnost izrade snimaka razlučivosti 2 cm/piksela (URL 2). Većom razlučivošću snimaka stvaraju se bolji preduvjeti za njihovu podrobniju analizu i primjenu u preciznoj poljoprivredi (Yaozhong i dr., 2011), zbog čega satelitske snimci, u usporedbi sa snimkama prikupljenim bespilotnim zrakoplovnim sustavom, nisu dorasli zadatku poput nadzora individualne strukture drveta i njihova prebrojavanja (Rokhmana, 2015).

2. METODOLOGIJA

Podaci prikupljeni bespilotnim zrakoplovnim sustavom senseFly eBee Ag omogućuju izradu vegetacijskih indeksa, temeljem kojih se stvara uvid u strukturu te klorofilni i voden stres biljke. Na temelju izračunatih digitalnih modela površine (DSM, engl. *Digital Surface Model*) omogućuje se praćenje erozije te projektiranje drenažnih sustava i sustava za navodnjavanje. Vegetacijski indeksi kao najznačajniji produkt u preciznoj poljoprivredi izrađen snimanjem iz zraka omogućuje praćenje stanja pojedine biljke, detektiranje bolesti i uginulih biljaka te njihovo prebrojavanje (URL 3). U narednim poglavljima opisani su korišteni podaci, područja koja obuhvaćaju te metodologija obrade podataka.

Prikazana su tri pristupa prebrojavanja biljaka. Prvi i drugi pristup temelje se na klasifikaciji vegetacijskih indeksa, gdje se u prvom pristupu koristi nenadzirana, a u drugom pristupu nadzirana klasifikacija. U trećem pristupu biljke su prebrojane iz razlike digitalnog modela površine i digitalnog modela terena, gdje je digitalni model terena izrađen DTM (engl. *Digital Terrain Model*) filterom. Prvi i drugi pristup omogućili su prebrojavanje zdravih biljaka, odnosno biljaka koje zahtijevaju dodatno tretiranje. Drugi pristup precizniji je od prvoga jer su zdrave biljke u klasifikaciji uzorkovane prema uvidu na terenu. Treći pristup omogućio je prebrojavanje biljaka koje su uklonjene iz nasada ili su potpuno usahle, bez stvaranja uvida u broj zdravih i biljaka koje zahtijevaju dodatno tretiranje.

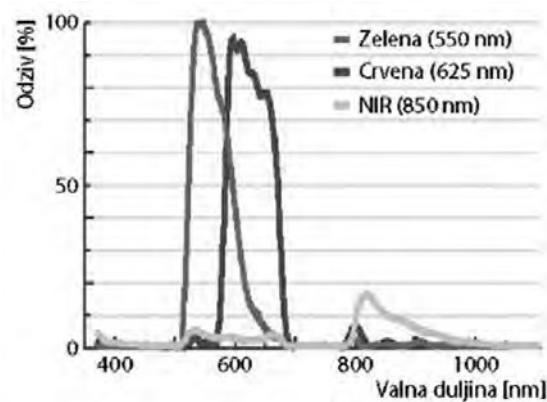
2.1 Područje istraživanja

Snimanjem iz zraka obuhvaćen je nasad jabuka u okolini Lekenika u Sisačko-moslavačkoj županiji koji se prostire na 11 ha (slika 1). Sam nasad podijeljen je u pet sekcija: dvije na južnom dijelu nasada te tri na sjevernom, od čega dvije istočno od akumulacijskog jezera i jedna na zapadnom. Od navedenih pet sekcija nasada samo je sekacija smještena na jugozapadnom dijelu nasada nenatkrivena zaštitnom mrežom, što omogućuje bolji uvid u stanje biljaka i njihovo prebrojavanje.

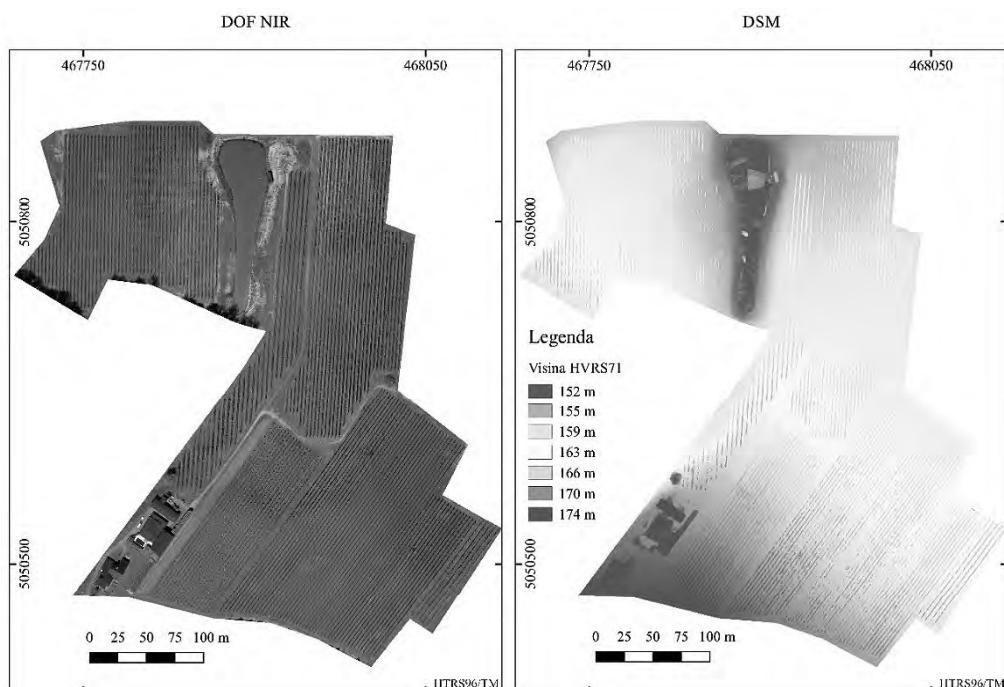
Konfiguracija terena u nasadu jabuka vidljiva je na digitalnom modelu površine na slici 1 (desno). Najniža točka terena je akumulacijsko jezero u koje se slijeva gotovo sva voda iz nasada. Međutim, na dijelovima nasada koji su bliže akumulacijskom jezeru, kvaliteta nasada vrlo je loša zbog veće količine vode koja prođe tim dijelovima nasada.

2.2 Podaci

Snimanje iz zraka obavljeno je 22. travnja 2015. godine u razdoblju od 13:33 h do 14:02 h. Prikupljanje snimaka iz zraka obavljeno je bespilotnim zrakoplovnim sustavom senseFly eBee Ag, kamerom Canon S110 NIR (slika 2). Tijekom leta prikupljeno je 279 snimaka na visini od 129 m iznad terena sa 75 % poprečnim i uzdužnim preklopom, dok je inklinacija od nadira tijekom prikupljanja snimaka iznosila 7 °. Razlučivost prikupljenih snimaka je 4,53 cm/piksela. Snimci su prikupljeni u .cr2 formatu iz kojega su transformirani u .jpg format, a uz njih je vezana datoteka s geolokacijom. Na području nasada postavljeno je 13 referentnih kontrolnih točaka koje su snimljene u HTRS96/TM koordinatnom sustavu, a koje su poslužile za transformaciju prikupljenih snimaka iz WGS84 koordinatnog sustava.



Slika 2. Spektralni odziv kamere Canon S110 NIR po kanalima (URL 4)



Slika 1. Digitalni ortofoto nasada jabuka izrađen iz snimaka u bliskom infracrvenom području elektromagnetskog spektra (lijevo) i digitalni model površine (desno)

2.3 Obrada podataka

Prikupljeni snimci obrađeni su u Pix4Dmapper Pro 2.1.51. programu, a kao osnovni produkti obrade izrađeni su oblak točaka, digitalni ortofoto (slika 1, lijevo) i digitalni model površina (slika 1, desno). Temeljem digitalnog ortofota izrađeni su vegetacijski indeksi NDVI (engl. *Normalized Differential Vegetation Index*), GNDVI (engl. *Green Normalized Differential Vegetation Index*) i TVI (engl. *Transformed Vegetation Index*) prema sljedećim izrazima:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

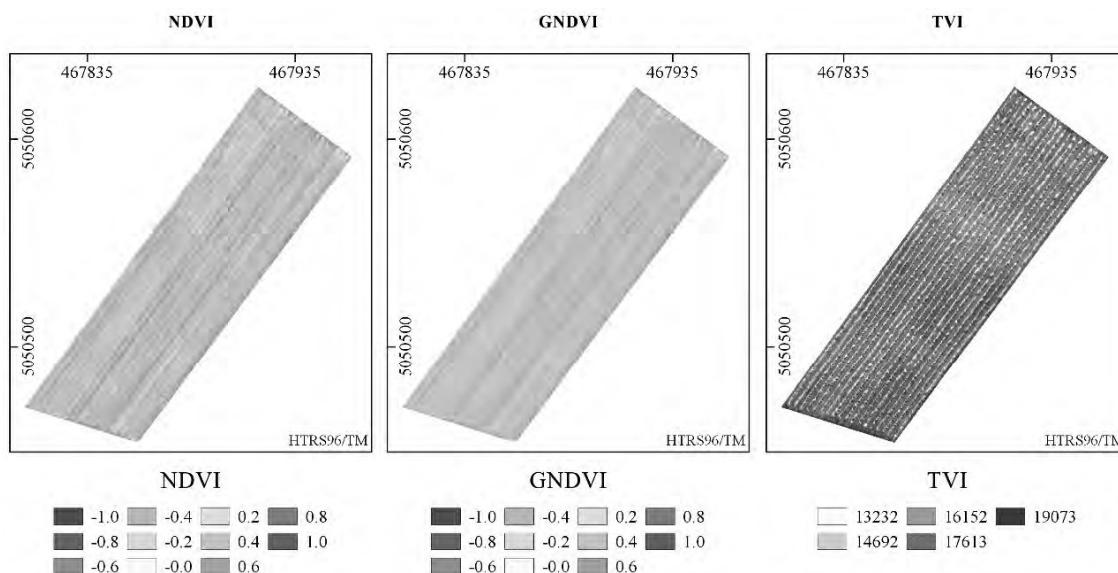
$$GNDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

$$TVI = \left[\frac{NIR - RED}{NIR + RED} + 0.5 \right]^{1/2} \times 100 \quad (3)$$

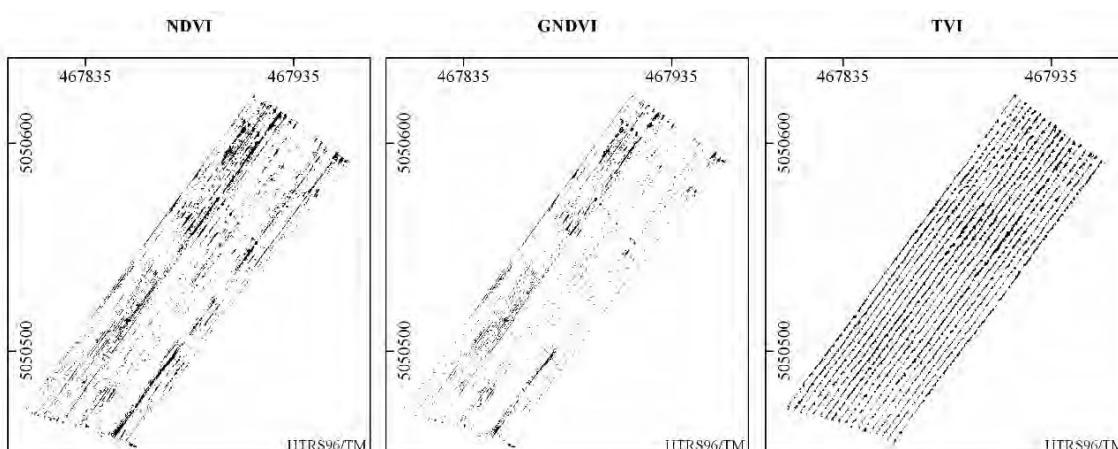
NDVI (Rouse i dr., 1974) najpopularniji je i najrašireniji vegetacijski indeks, ali zbog svoje općenitosti ima dosta ograničenja u konkretnijim zadaćama, poput detektiranja lisne mase, od vegetacijskih indeksa koji su razvijeni nakon njega (Redowan i Kanan, 2012). GNDVI analogan je NDVI-ju, samo što se umjesto crvenog koristi zeleni kanal. Prednost u odnosu na NDVI mu je ta što učinkovito kvantificira stanje nasada (Redowan i Kanan, 2012). TVI se pak primjenjuje u interpretaciji svakog piksela u odnosu na vrijednost biomase, što ga čini vrlo korisnim podatkom u preciznoj poljoprivredi (Lillesand i dr., 2004).

Na slici 3 prikazana su sva tri izračunata vegetacijska indeksa za jugozapadnu sekciju nasada koja nije pod mrežom, jer karakteristika prikupljenih podataka (visina leta, inklinacija) ne omogućuje dobar uvid u dio nasada pod mrežom.

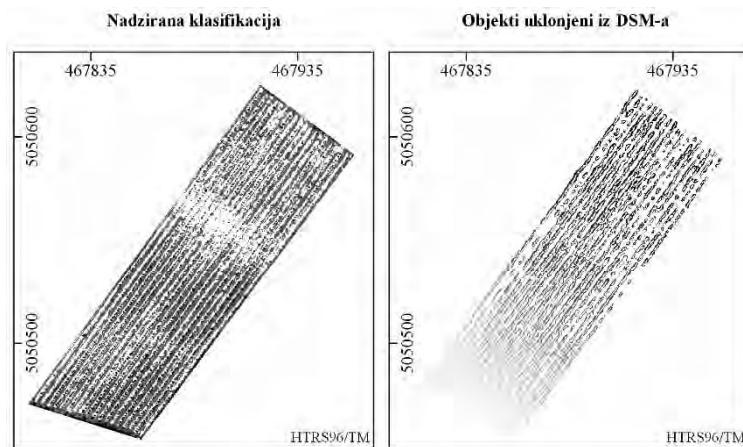
U prvom pristupu sva tri vegetacijska indeksa klasificirana su nenadziranom Kmeans klasifikacijom u 35 klase koje su izračunate iz 30 trening-područja, na temelju kojih je uzorkovana klasifikacija. Uvidom u klase napravljena je reklasifikacija. Za izdvajanje kvalitetnijih jabuka, reklasifikacijom



Slika 3. Vegetacijski indeksi redom: NDVI, GNDVI i TVI



Slika 4. Stabla jabuka detektirana nenadziranom Kmeans klasifikacijom za sva tri vegetacijska indeksa



Slika 5. Stabla jabuka detektirana nadziranom klasifikacijom (lijevo) i DTM filterom (desno)

je izdvojena klasa 2 u NDVI i GNDVI indeksima te klase 28 i 34 u TVI indeksu. Također su za NDVI i GNDVI uklonjena sva područja označena kao kvalitetne jabuke, a koja su manja od $0,04 \text{ m}^2$, a za TVI su uklonjena ista, ali manja od $0,1 \text{ m}^2$ (slika 4).

U drugom pristupu sva tri vegetacijska indeksa klasificirana su nadziranom klasifikacijom na temelju ručno izrađenih trening-područja. Izrađena su ukupno 33 trening-područja za sljedeće tri vrste pokrova: kvalitetne jabuke (crno), jabuke koje zahtijevaju dodatno tretiranje (sivo) i tlo (bijelo) (slika 5, lijevo).

U trećem pristupu korišten je DTM filter (Vosselman, 2000) temeljem kojega je odvojeno drveće od zemlje (slika 5, desno). Prilikom provedbe filtera korišten je radijus pretraživanja rastera od 1 m i približna kosina terena od 3 %.

Prije same kvantifikacije klasificiranih vrijednosti vegetacijskih indeksa i filtriranog DSM-a rasteri su vektorizirani. Vektorizacija je provedena zbog stvaranja preduvjeta pri-druživanja klasificiranih i filtriranih podataka svakom od 5242 stabla jabuke koji se nalaze u ovoj sekciji nasada, a izrađeni su u vektorskom formatu.

3. REZULTATI

Pridruživanjem klasificiranih i filtriranih podataka svakom stablu jabuke u sekciji, dobiven je broj od 1608 kvalitetnih jabuka nadziranom klasifikacijom NDVI indeksa, 1489 kvalitetnih jabuka nadziranom klasifikacijom GNDVI indeksa, 3997 kvalitetnih jabuka nadziranom klasifikacijom TVI indeksa i 2823 kvalitetne jabuke nadziranom klasifikacijom (slika 6). Broj kvalitetnih jabuka dobiven

nadenziranom klasifikacijom NDVI indeksa i GNDVI indeksa razlikuje se za 119 jabuka, dok je isti dobiven nadziranom klasifikacijom TVI indeksa veći od navedena dva za više od 2000, kao i od onog dobivenog nadziranom klasifikacijom za više od 1000.

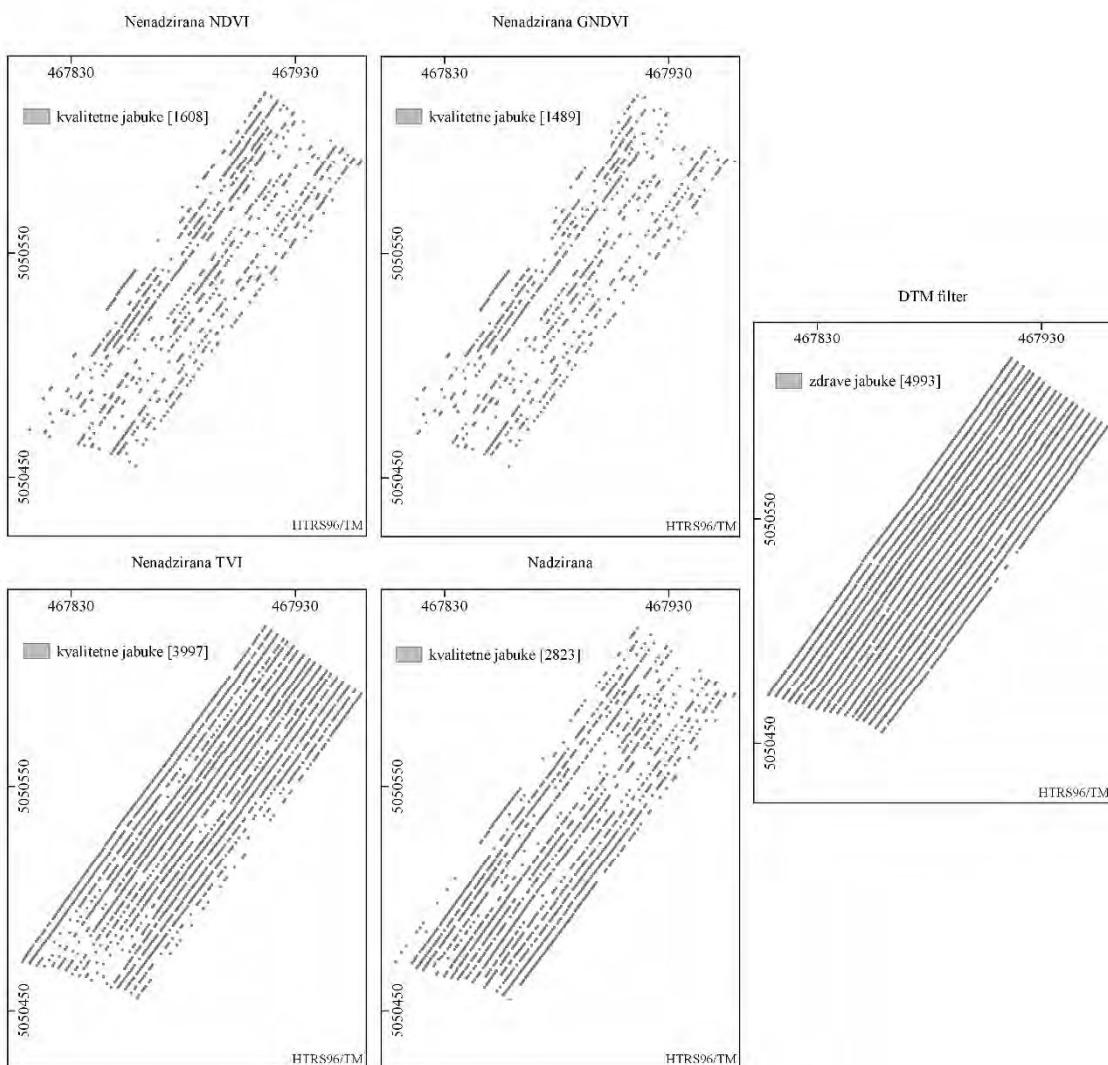
Rezultati dobiveni temeljem nadzirane klasifikacije NDVI indeksa i GNDVI indeksa najsličniji su zbog njihove međusobne analognosti u njihovu izračunu, ali i zbog jednakе reklassifikacije te jednakе površine objekata ($0,04 \text{ m}^2$) koji su uklonjeni kao objekti s premalom površinom. Rezultat dobiven temeljem nadzirane klasifikacije TVI indeksa znatno se razlikuje od ostalih rezultata, jer je detaljniji od prethodna dva vegetacijska indeksa, ali i prilikom njegova izračuna u reklassifikaciji odabrane su dvije klase, a ne samo jedna kao u prethodna dva slučaja. Ipak, kod TVI indeksa uklonjeni su svi objekti površine manje od $0,1 \text{ m}^2$, što je dodatno umanjilo broj detektiranih jabuka. Nadziranom klasifikacijom određen je broj kvalitetnih stabala jabuka, ali su ostala stabla pridružena i područjima na kojima i nema stabala, odnosno osušila su se.

Temeljem DTM filtera detektirano je 4993 zdravih stabala jabuka, tj. 249 osušenih stabala koja su niža od ostalih stabala i nemaju formirano krošnju. Iako je broj zdravih stabala izračunatih iz DSM-a vrlo pouzdan, nije moguće generirati detaljnije indikatore o samoj kvaliteti zdravih stabala.

Kombinacijom dobivenih rezultata dobiven je konačni rezultat, tj. od 5242 stabla jabuke 249 stabala je osušeno (5,61 %), a ovisno o korištenoj klasifikaciji broj kvalitetnih stabala jabuka bitno se razlikuje (tablica 1). Uvidom u kvalitetu stabala na izrađenom DOF-u detektirano je kako

Tablica 1. Udio kvalitetnih stabala jabuka prema klasifikacijama

Metoda	NDVI nedenzirana	GNDVI nedenzirana	TVI nedenzirana	Nadzirana
Kvalitetne jabuke	1608	1489	3997	2823
Udio	30,67 %	28,41 %	76,25 %	53,85 %



Slika 6. Stabla jabuka detektirana prema kvaliteti iz vegetacijskih indeksa nenađiranom i nadziranom klasifikacijom te prema kvantiteti iz DSM-a

klasificirani NDVI-ji i GNDVI-ji sadrže najkvalitetnija stabla jabuka koja su već završila cvat, dok TVI klasifikacija sadrži i stabla u cvatu s iznimkom stabala manje bujnosti krošnje. Nadzirana klasifikacija uglavnom sadrži stabla koja su već završila cvat i to ona manje i veće bujnosti krošnje.

U konačnici, stabla s manje bujnom krošnjom mogući su odraz bolesti biljke, zbog čega bi rezultati dobiveni TVI nenađiranom klasifikacijom i DTM filterom bili najbolji odraz stvarnog stanja nasada: 3997 zdravih stabala (76,25 %), 951 stablo koje treba dodatno tretiranje (18,14 %) i 294 osušena stabla (5,61 %).

4. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući jednostavnosti prikupljanja podataka bespilotnim zrakoplovnim sustavom danas je moguće prikupljanje saznanja o interesnom području u poljoprivredi u bilo kojem potrebitom trenutku, što je golema prednost u odnosu na satelitske podatke. Ovisno o zadaći, podaci se mogu prikupiti u odgovarajućoj razlučivosti, što

omogućuje brz uvid u stanje nasada koji obuhvaća veliku površinu, ali i osnovu za uspostavu precizne poljoprivrede na nasadu.

Nenađirana klasifikacija TVI indeksa i DTM filter rezultirali su najboljom kvantitetom zdravih stabala, stabala koja trebaju dodatno tretiranje i osušenih stabala. Dodatne analize DSM modela mogu obrazložiti i uzroke lošijeg napretka pojedinih biljaka, poput udubljenja u terenu u kojima se nakuplja voda, područja nasada zahvaćenih erozijom i sl.

Zbog velike razlike rezultata dobivenih klasifikacijom različitih vegetacijskih indeksa preporučuje se korištenje ciljanih vegetacijskih indeksa. Za prebrojavanje stabala, kao u ovom radu, uputno je koristiti se vegetacijskim indeksima poput GLI-ja (engl. *Green Chlorophyll Index*) (Gitelson, 2004) ili GreenLAI-ja (engl. *Green Leaf Area Index*) (Viña i dr., 2011). Nadziranom klasifikacijom vegetacijskog indeksa visoke razlučivosti namijenjenog za konkretnu zadaću moguća je izrada preciznih podloga za primjenu u preciznoj poljoprivredi. U ovom radu nadziranom klasifikacijom

izlučena su uglavnom stabala koja su već završila cvat jer stabla u cvatu nisu odabrana u trening-područjima.

Iz svega navedenog vidljivo je da bespilotni zrakoplovni sustavi pružaju velike mogućnosti u prebrojavanju biljaka (stabala) i primjeni u preciznoj poljoprivredi temeljem brojnih vegetacijskih indeksa, čime se bitno može povećati učinkovitost poljoprivrednih procesa.

LITERATURA:

- Gitelson, A., A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation, *Journal of Plant Physiology*, 161, 165–173.
- Lillesand, T., A., Keifer, R., W., Chipman, J., W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation* (5. izdanje), John Wiley and Sons., USA.
- Redowan, M., Kanan, A., H. (2012). Potentials and Limitations of NDVI and other Vegetation Indices (VIS) for Monitoring Vegetation Parameters from Remotely Sensed Data, *Bangladesh Research Publications Journal* 2012, 7(3), 291-299.
- Rokhmana, C. A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia, *Procedia Environmental Sciences* 2015, 24, 245-253.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Jr., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS-1 Symposium, 309-317, Washington, DC: NASA,
- Sito, S., Kovačić, F., Krznarić, K., Bilandžija, N., Džaja, V., Šket, B., Grubor, M. (2016). Primjena bespilotnih zrakoplovnih sustava u hortikulturnoj proizvodnji, 51. hrvatski i 11. međunarodni simpozij agronoma 2016, Opatija.
- Sito, S., Kovačić, F., Krznarić, K., Šket, B., Šimunović, V., Grubor, M., Koren, M., Šket, M. (2015). Primjena bespilotnih zrakoplovnih sustava u zaštiti trajnih nasada, *Glasnik zaštite bilja* 2015, 59, 38-50.
- Viña, A., Gitelson, A., A., Nguy-Robertson A., L., Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops, *Remote Sensing of Environment* 115 (2011), 3468-3478.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands, 935-942.
- Whelan, B., James T. (2010). An introduction to Precision Agriculture for Australian grains, Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney for the Grains Research and Development Corporation 2010.
- Yaozhong P., Jinshui, Z., Kejian, S. (2011). Crop Area Estimation from UAV Transect and MSR Image Data Using Spatial Sampling Method: a Simulation Experiment, *Procedia Environmental Sciences* 7, 2011, 110-115.
- URL 1: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/world-view-3/> (10. 7. 2016.)
- URL 2: <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html> (10. 7. 2016.)
- URL 3: <https://www.sensefly.com/applications/agriculture.html> (10. 7. 2016.)
- URL 4: <https://www.sensefly.com/drones/accessories.html> (10. 7. 2016.)

USING UAS FOR DETERMINING THE NUMBER OF HEALTHY PLANTS IN SPARSE SETTING CULTURE

ABSTRACT:

Unmanned aircraft system senseFly eBee Ag was used for an aerial imaging of apple orchard, as a sparse setting culture. The plantation is located near Lekenik in the Sisak-Moslavina County and was mapped in the near-infrared segment of the electromagnetic spectrum with the Canon S110 NIR camera. An insight into vegetation characteristics of the target area was thus obtained. Digital orthomosaic, digital surface model and digital terrain model were made from aerial images. Vegetation indices were made from digital orthomosaic, and were used as a basis for counting quality plants, or plants that require additional treatment and withered plants. In this paper three approaches of counting plants have been described; unsupervised plants classification, supervised classification, and differencing digital surface and terrain model. The results obtained by TVI unsupervised classification and DTM filter created the best actual state reflection of the plantation providing information on healthy plants, plants that require additional treatment and withered plants.

KEYWORDS: unmanned aerial system (UAS), senseFly eBee, vegetation indices (Vis), counting trees