

Primjena bespilotnih sustava u hortikultурnoj proizvodnji

Stjepan SITO¹, Filip KOVAČIĆ², Kristijan KRZNARIĆ², Nikola BILANDŽIJA¹,
Vladimir DŽAJA³, Branko ŠKET⁴, Mateja GRUBOR⁵

¹Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, (e-mail: ssito@agr.hr)

²Geo Omega d.o.o., Vrbik 8b, 10000 Zagreb, Hrvatska

³PIK-Vinkovci, Matije Gubca 130, 32100 Vinkovci, Hrvatska

⁴Šolski center Šentjur, Cesta na kmetijsko šolo 9, 3230 Šentjur, Slovenija

⁵Studentica, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

Sažetak

Primjenom bespilotnih sustava s integriranim GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav) senzorom, u hortikultурnoj proizvodnji može se precizno definirati položaj stroja, biljke, zakorovljenost, prisutnost podzemnih voda, sklop, oblik parcele, depresije, izbočine, intenzitet vegetacije i dr. Uz digitalni model terena temeljna podloga za određivanje navedenih karakteristika na nekom poljoprivrednom području je vegetacijski indeks, koji je bezdimenzionalna veličina zračenja izračunata na temelju različitih spektralnih kanala snimaka prikupljenih bespilotnim sustavom. Primjena bespilotnih sustava nema negativnih utjecaja na okoliš, a za cilj ima reducirati primjenu kemijskih sredstava i mineralnih gnojiva, što u konačnici rezultira ekonomičnjom proizvodnjom uz značajne uštede na repromaterijalu, radu ljudi i strojeva te uštedi u potrošnji energije. U radu su prikazani rezultati snimanja vinograda (Zlati Grič - SLO) i nasada jabuka (Mirosan - SLO). U sklopu istraživanja detektirani su dijelovi nasada kod kojih su uočene promjene u bujnosti vegetacije, na temelju koje se izrađuju podloge za selektivno tretiranje pesticida i distribuciju mineralnog gnojiva.

Ključne riječi: trajni nasadi, bespilotni sustav, GNSS, vegetacijski indeks

UAS application in horticultural production

Abstract

The application of UAS (Unmanned Aerial System) with integrated GNSS (Global Navigation Satellite System) sensor, in horticultural production it is possible to precisely define the position of the machine, plant, weediness, the presence of groundwater, set, the parcel shape, depressions, bumps, vegetation intensity, etc. Along with digital terrain model, fundamental layer for determination of above listed characteristics on agricultural area is vegetation index, which is dimensionless radiation based measurement computed from different spectral bands from images acquired with UAS. UAS application doesn't have negative environmental effects, and its goal is to reduce the use of fertilizers and chemicals, resulting in more economical production with significant savings on production materials, the work of people and machines and energy savings. This paper shows the results of imaging vineyard (Zlati Grič – SLO) and apple plantation (Mirosan – SLO). As part of the research, the areas with bad quality were detected on both plantations, which can be selectively treated basing on the computed layers and thus enlarge economic efficiency.

Key words: permanent crops, drones, GNSS, vegetation index

Uvod

Za preciznu, produktivnu i ekonomičnu poljoprivrednu proizvodnju u današnje vrijeme neizostavna je upotreba GNSS-a (*engl. Global Navigation Satellite System*) za navođenje strojeva i opreme na polju. Tako su Sito i sur., (2013; 2014) temeljem terenskih istraživanja istaknuli velike prednosti primjene GNSS-a za vođenje sadilice u odnosu na primjenu lasera kod sadnje maslina i vinove loze. Veliki iskorak u hortikulturnoj proizvodnji je primjena bespilotnih sustava. Ova metoda praćenja eventualnih promjena na biljkama tijekom vegetacije je puno fleksibilnija i prikladnija u odnosu na sustav koji je postavljen na traktoru. Na temelju podataka prikupljenih kamerom (senzorom), koja je integrirana u bespilotni sustav, omogućena je izrada vegetacijskog indeksa. Vegetacijski indeks se definira kao izračun digitalnih vrijednosti dobivenih u bliskom infracrvenom (*near-infrared, NIR*) dijelu elektromagnetskog spektra (Friendl i sur., 2002; Huete and Justice, 1999). Tako pored prikupljanja podataka u vidljivom dijelu spektra i izrade klasičnog ortofoto snimka, moguće je prikupljanje podataka u bliskom infracrvenom dijelu spektra koji je pogodan za praćenje promjena tijekom vegetacije (Campbell, 2006). NDVI (*engl. Normalized Difference Vegetation Index*) je najčešće korišteni vegetacijski indeks, zbog svoje općenitosti, zbog čega u specifičnim praćenjima promjena vegetacije postoje mnogi indeksi koji su mu superiorni (Redowan i Kanan 2012). Vrijednosti NDVI-a kreću se od -1 do +1, gdje +1 predstavlja najveću mjeru vegetacije (Glenn i sur., 2008). Navedeni vegetacijski faktori izravno ukazuju na kvalitetu usjeva ili nasada, njegovu raznolikost te eventualnu prisutnost bolesti i štetnika. Temeljem izrađene karte vegetacijskog indeksa (NDVI) stvara se uvid u realno stanje vegetacije čitavog usjeva ili nasada (Gibson i Power, 2000). S druge strane, bitno je istaknuti i atmosferske prilike koje utječu na vrijednosti vegetacijskog indeksa, a to su: iradijacija, kut pod kojim sunce osvjetjava područje s kojega se senzorom prikupljaju podaci te o količina vodene pare u zraku (Redowan i Kanan, 2012; Lawley i sur., 2015).

Materijal i metode

U ovom radu korišten je bespilotni sustav tvrtke senseFly model eBee Ag. Vrlo važna komponenta *eBee Ag* bespilotnog sustava je kamera koja bilježi fotografije u infracrvenom dijelu spektra i omogućuje računanje vegetacijskih indeksa. Kamere korištene u ovom radu su Canon S110 NIR (12 MP) i Sony WX (18,2 MP) koja snima fotografije u vidljivom dijelu spektra (*Red-Green-Blue, RGB*). Navedene komponente bespilotnog sustava omogućuju izradu DOF-a rezolucije koja se spušta do 2 cm po pikselu, točnosti do 4 cm. Bespilotni sustav *eBee Ag* jednostavan je za rukovanje, pouzdan i predviđen za primjenu u poljoprivredi. Masa letjelice *eBee Ag* sustava iznosi 710 grama, pogoni se litij-polimer baterijom zbog čega nema štetnih utjecaja na okoliš, a autonomija leta doseže 45 minuta. Nominalna brzina letenja kreće se od 40-90 km/h, a u jednom letu može maksimalno snimiti površinu od cca. 1000 hektara. Rukovanje sustavom je jednostavno, daje univerzalnu primjenu (koristi više vrsta kamera za snimanje), a korištenje je vrlo je pouzdano. Istraživanja su provedena u voćnjaku „Mirosan“ kraj Celja u Sloveniji i vinograda „Zlati Grič“ kraj Slovenskih Konjica, također u Sloveniji, 10. lipnja i 10. srpnja 2015. godine.

Tablica 1. Karakteristike provedenih letova na područjima istraživanja

Kamera	Karakteristike leta	Područje snimanja	
		Mirosan	Zlati Grič
NIR	Površina [ha]	12,7	136,6
	Vrijeme [mm:ss]	17:26	29:31
	Rezolucija [cm/pix]	3,4	6,5
	Broj fotografija	174	267
RGB	Površina [ha]	12,7	136,6
	Vrijeme [mm:ss]	13:28	25:47
	Rezolucija [cm/pix]	3,4	6,5
	Broj fotografija	148	192

Za navedena područja podaci su prikupljeni bespilotnim sustavom *eBee Ag* u dva leta. U prvom letu podaci su prikupljeni NIR kamerom, a u drugom letu RGB kamerom zbog lakšeg uvida i usporedbi podataka.

Naime zbog bolje razlučivosti RGB kamere rezolucija RGB DOF-a bolja je od NDVI DOF-a, što nam praktično olakšava uočavanje detalja na snimljenoj sceni, tj. u ovom slučaju trajnom nasadu. Također zbog bolje razlučivosti RGB kamere u jednom letu moguće je obuhvatiti nešto veće područje, nego što je to slučaj s NIR kamerom. Tablica 1 prikazuje karakteristike letova na navedenim područjima, te je iz nje uočljiva razlika letova s NIR i RGB kamerom. Iz tablice 1 vidljivo je kako za iste karakteristike leta na području „Zlati Grič“ let s NIR kamerom traje dulje od leta s RGB kamerom gotovo 4 minute, te također kako je tijekom leta s NIR kamerom prikupljeno više fotografija. Planiranje letova provedeno je softverom *eMotion2*.

Računanje vegetacijskog indeksa

Nakon prikupljanja fotografija provedena je njihova obrada u softveru *Postflight Terra 3D*, gdje je iz identičnih piksela na minimalno tri fotografije izrađen oblak točaka, na temelju kojega su izrađeni DTM, te NIR i RGB DOF. Iako, kako je već u uvodnom dijelu spomenuto, i DTM ima primjenu u poljoprivredi, NIR DOF, među rezultatima izrađenima na temelju prostornih podataka prikupljenim *eBee Ag*-om, otvara najveću mogućnost primjene u zaštiti trajnih nasada.

Temeljem NIR DOF-a izračunat je NDVI prema sljedećem izrazu:

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

gdje je:

R_{NIR} – kanal koji bilježi NIR dio spektra, tj. u ovom slučaju valne duljine u kojima je zabilježen NIR dio spektra,

R_R – kanal koji bilježi crveni dio spektra, tj. u ovom slučaju valne duljine u kojima je zabilježen crveni dio spektra.

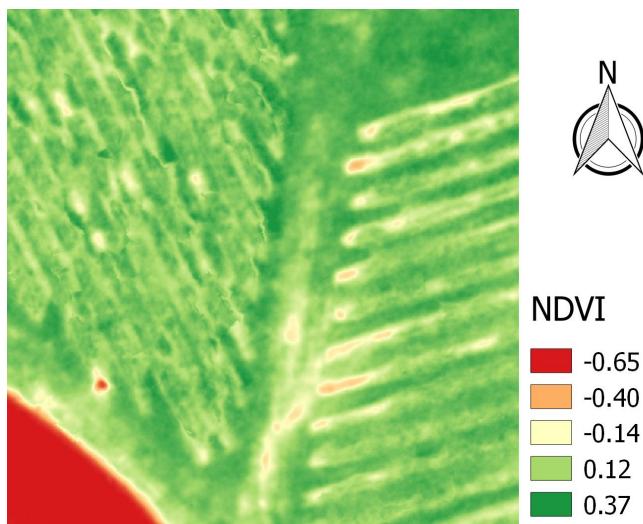
NDVI je korišten u ovom radu, osim zbog jednostavnosti, i zbog mogućnosti njegova izračuna na temelju spektralnih karakteristika fotoaparata Canon S110 NIR.

Rezultati i rasprava

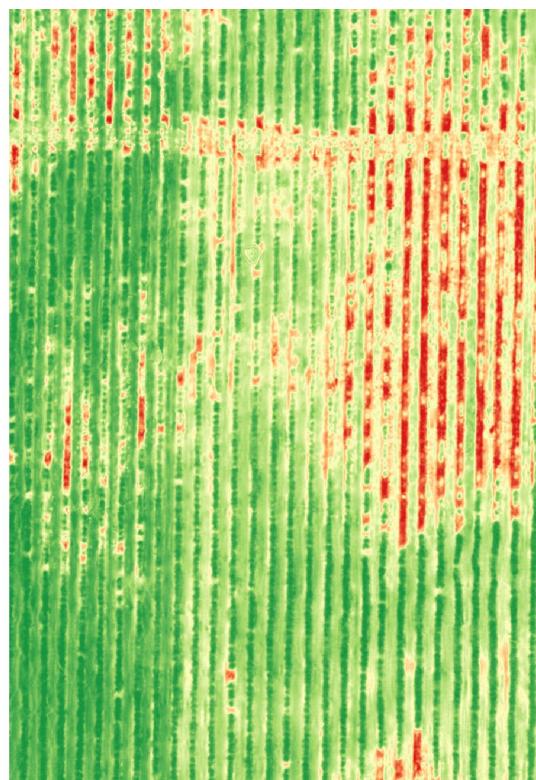
Računanjem NDVI-a iz NIR DOF-a izrađena je karta prostorne raspodjele NDVI-a, koja služi kao prikaz bujnosti vegetacije na odabranim područjima istraživanja. U svrhu lakšeg uvida u podatke uz NDVI prikaz izrađen je i RGB DOF prikaz.

NDVI za dio područja „Zlati Grič“ na dan 10. lipnja prikazan je na slici 1, a na slici 2 je prikazan NDVI istog područja 10. srpnja, dok slika 3 prikazuje isto područje u vidljivom dijelu spektra. Usporedbom NDVI prikaza za oba navedena dana uočena su područja između redova trajnog nasada gdje je nizak vegetacijski indeks. To mogu biti potencijalna područja nešto manje bujnosti u nasadu, a najčešće se radi o depresijama (kolotrazi) nastalim uslijed učestalog prolaska strojeva kroz nasad, unutar kojih se može na površini tla može zadržavati oborinska voda. Na slici 4 prikazan je NDVI prikaz najlošijeg dijela nasada jabuka „Mirosan“ 10. lipnja 2015. godine. Ako usporedimo sliku 4 i DOF istoga područja na slici 5 uočljivo je kako su najniže NDVI vrijednosti (crvena područja) vezana uz dio nasada na kojemu gotovo i nema vegetacije. Na tom području se skuplja velika količina vode, što smanjuje kvalitetu tla što u konačnici rezultira najmanjim urodom jabuka na području čitavog trajnog nasada.

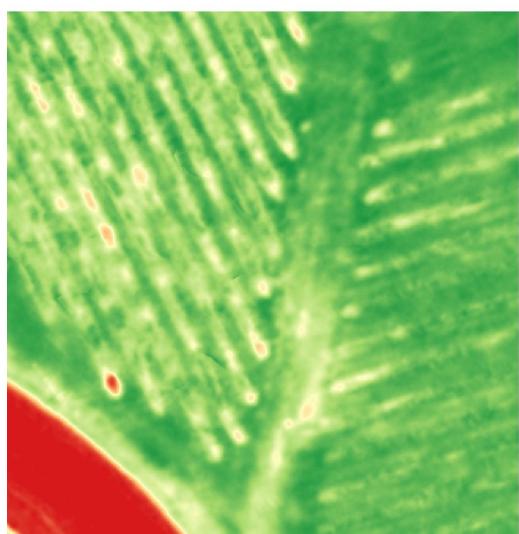
Bespilotnim sustavom moguće je na temelju prostornih podataka prikupljenih u obliku fotografija, između ostalog, izraditi digitalni model terena (DTM) i digitalni ortofoto (DOF) prikaz nasada (Jensen, 2000) koji je u poljoprivredi koristan za detektiranje udubina u topografiji usjeva ili nasada potencijalnih za nakupljanje većih količina vode. Također, kartu vegetacijskog indeksa je moguće uvesti u navigacijski sustav u traktoru te na temelju nje posebno tretirati samo dijelove usjeva ili nasada, što implicira uštede u potrošnji pesticida i mineralnog gnojiva. Dosadašnji načini i sustavi zaštite bilja temeljili su se na tretiranju cijele površine, dok se potporom bespilotnog sustava može selektivno tretirati samo dijelovi nasada. Tretirajući cijelu površinu stvaraju veliki gubici zaštitnog sredstva, te povećavaju negativni utjecaji istih na okoliš.



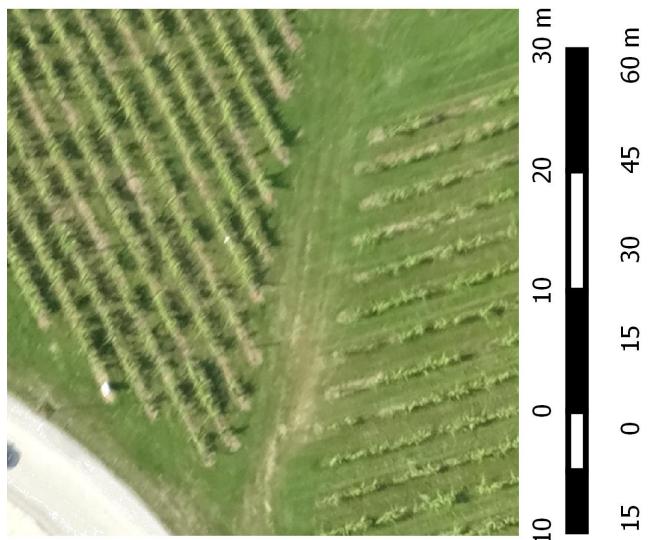
Slika 1. NDVI "Zlati Grič" 10. srpnja 2015. godine



Slika 4. NDVI "Mirosan" 10. lipnja 2015. godine



Slika 2. NDVI "Zlati Grič" 10. lipnja 2015. godine



Slika 3. DOF "Zlati Grič" 10. lipnja 2015. godine



Slika 5. DOF "Mirosan" 10. lipnja 2015. godine

Zaključci

U ovom radu primjena bespilotnih sustava u poljoprivredi prvenstveno je usredotočena na zaštitu usjeva i nasada kroz izradu vegetacijskih indeksa, temeljem kojeg proizlaze podloge o kvaliteti vegetacije. Takove podloge služe za detektiranje lošijih dijelova nasada ili usjeva koju su potencijalna žarišta bolesti. U ovom radu detektirana su takova područja, čime je omogućeno racionalno postupanje u primjeni sredstava za zaštitu u poljoprivredi. Osim navedenog, bespilotni sustavi omogućuju redovito i učinkovito nadziranje trajnih nasada, olakšavaju planiranje sjetve, sadnje i gnojidbe. Primjenom bespilotnih sustava stvoren je novi pogled na moderno i ekološki prihvatljivo nadziranje poljoprivrednih površina koji ima za cilj ostvarivanje velikih ekonomskih ušteda, a time i veće konkurentnosti poljoprivrednih proizvoda na domaćem i inozemnom tržištu.

Literatura

- Campbell, J. B. (2006.): *Introduction to Remote Sensing* (4th ed), Taylor & Francis, London and Newyork.
- Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C. (2002.): Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sens. Environ.* 83, 287–302.
- Gibson, P. J. and Power, C. H. (2000.): *Introductory Remote Sensing Digital Image Processing and Applications*, Routledge, London USA Canada.
- Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P.L. and Nelson, S. G. (2008.): Relationship Between Remotely-sensed Vegetation Indices, Canopy Attributes and Plant Physiological Processes: What Vegetation Indices Can and Cannot Tell Us about the Landscape. *Sensors*, 8, 2136-2160.
- Huete, A. and Justice, C. (1999): *MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithom Theoretical Basis Document*, Greenbelt: NASA Goddard Space Center.
- Jensen, J. R. (2000): *Remote Sensing of the Environment*, Prentice Hall, New Jersey, USA. upravljanje resursima, Geodetski list, Vol. 67 (90) No. 1.
- Lawley, V., Lewis, M., Clarke, K. (2015.): Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition. Ostendorf University of Adelaide, School of Earth and Environmental Sciences, Australia, An Australian review. *Ecol. Indicat.*
- 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 Res. Pub. J.* 7(3), 291-299.
- Sito, S., Bilandžija, N., Šket, B., Kurnik Marjana, Prekalj, B., Hrvovčec, H. (2014.): Sadnja vinove loze navodenjem laserom i GPS-om. 42. International Symposium „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, Croatia, 125-136.
- Sito, S., Čmelik, Z., Strikić, F., Bilandžija, N., Prekalj, B., Kraljević, A. (2013.): Strojna sadnja masline pomoću GPS-a i lasera, *Pomologija Croatica*, Vol. 19 No. 1-4, 37-50.

s2016_p1014