

UVAJANJE METODE DALJINSKEGA ZAZNAVANJA PRI NADZORU ZLATE TRSNE RUMENICE (Flavescence dorée)

Matej KNAPI¹, Rok RUTAR², Uroš ŽIBRAT³

^{1,3}Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana
²Kaliopa d.o.o., Ljubljana

IZVLE EK

Zlato trsno rumenico (Grapevine Flavescence dorée) povzroča karantenska fitoplazma '*Ca. Phytoplasma vitis*', ki se v slovenskem prostoru vztrajno širi in se v različnem obsegu pojavlja že v vseh treh vinorodnih deželah. Zaradi obsežnega terenskega dela in s ciljem, da terensko delo postane bolj usmerjeno, smo avgusta in septembra 2011 naredili satelitsko snemanje celotnega razmejenega območja na Primorskem ter del razmejenega območja na Dolenjskem. Snemanje je bilo opravljeno s satelitom WorldView 2, za katerega je značilna visoka prostorska in spektralna ločljivost, ki omogoča podrobnejšo ločevanje objektov na zemeljski površini. V prispevku so predstavljeni prvi rezultati analize satelitskih podob na omejenem nizu podatkov iz vinogradov žarišča Viližan pri Izoli, kjer smo v času snemanja v nekaterih vinogradih žarišča popisali izraženost bolezenskih znamenj na posameznih rastlinah vinograda. Z analizo satelitskih podob smo na temelju različnega odboja elektromagnetnega valovanja določili vinogradniško rabo, vrstni prostor vinograda, kot tudi potencialno okuženost rastlin. Ustrezen algoritem za ločevanje zdravih trt od trt z bolezenskimi znamenji gradimo z uporabo indeksov, ki predstavljajo različna razmerja med odbojem posameznih valovnih dolžin. Primernost indeksov za vključitev v algoritem smo v prvi fazi statistično ovrednotili z analizo variance (ANOVO). Pri določenih indeksih smo ugotovili statistično značilne razlike med skupinami rastlin z bolezenskimi znamenji. Uporabnost indeksov smo ilustrirali s podrobnejšim prikazom dveh indeksov, kjer med povprečnimi indeksi posameznih skupin rastlin obstajajo statistično značilne razlike ($p < 0,001$). Samostojno indeksa ne uspeva zadovoljivo ločiti posameznih skupin rastlin. Kot del algoritma, skupaj v kombinaciji z nekaterimi ostalimi indeksi, prispevata k razmejitvi rastlin s približno 70% natančnostjo. V nadaljnje analize vključimo nove metode, kot je strojno učenje oziroma rudarjenje s podatki.

Ključne besede: daljinsko zaznavanje, detekcija boleznih rastlin, vinograd, trsna rumenica, Flavescence dorée

ABSTRACT

APPLICATION OF REMOTE SENSING IN GRAPEVINE YELLOWS (Grapevine Flavescence dorée) CONTROL

Grapevine Flavescence dorée yellows is caused by quarantine phytoplasma '*Ca. Phytoplasma vitis*', is steadily spreading in Slovenian vineyards, and is occurring in all three wine regions in varying degrees. In order to carry out more focused field work, and due to its extensiveness, satellite images of the entire demarcated area in Primorska region and part

¹ univ. dipl. inž. agr., Hacquetova 17, SI-1001 Ljubljana

² univ. dipl. inž. geod, Letališka cesta 32J, SI-1000 Ljubljana

³ dr., Hacquetova 17, SI-1001 Ljubljana

of the demarcated area in Dolenjska region, were acquired in August and September 2012. Recordings were made by the satellite WorldView 2, which's high spatial and spectral resolution enables object distinction on earth's surface. First results of analyses performed on a limited dataset are presented. At the time of satellite recording, vine plants in the vineyards under study were attributed depending on visible signs of disease. Based on unique electromagnetic reflections from the objects we separated ground, vineyard row space and potentially infected plants. To identify potentially diseased plants we used several indices, calculated from reflections at different wavelengths. The suitability of each index was tested with a one-way analysis of variance (ANOVA). Statistically significant differences between healthy and plants with different disease signs were found in certain indices. The applicability of these indices was illustrated in more detail for two of them, both with statistically significant differences between healthy and diseased plants ($p < 0,001$). Individually indexes were not capable to differentiate plants with different disease signs in a useful manner. However, using an algorithm that combines several indices, overall accuracy reached approximately 70%. In future analyses we plan to employ new methods, such as machine learning.

Key words: remote sensing, detection of plant disease, vineyard, Grapevine yellows, Flavescence dorée

1 UVOD

Fitoplazma '*Ca. Phytoplasma vitis*' povzroča karantensko bolezen vinske trte, imenovano zlata trdna rumenica. Od leta 2005 se pojavlja tudi v slovenskih vinogradih, kjer se pridružuje že dalj časa zastopani in razširjeni navadni trsni rumenici - Bois noir, ki jo povzročata '*Ca. Phytoplasma solani*'. Znamenja obeh bolezní so na vinski trti zelo podobna, zato jih vizualno ni mogoče ločiti, pa tudi prihod karantenske bolezní nakazujeta nenaden pojav rumenice in hitro širjenje v žarišču ob veliki populaciji vektorja (ameriški škrdžatek *Scaphoideus titanus* Ball), ki lahko ob opustitvi ukrepov zajame celotno vinograde v dveh do štirih letih (Mehle in sod., 2011).

Obvladovanje in omejevanje širjenja bolezní temelji na zgodnjem odkrivanju in odstranjevanju obolelih rastlin, zatiranju vektorja in uporabi zdravega razmnoževalnega materiala za nove nasade (Narodne ukrepe, 2011). Ti ukrepi vključujejo tudi obsežno terensko delo. Pregledovanje vinogradov je v sklopu posebnega nadzora trsnih rumenic osredinjeno na območje že odkritih žarišč in v nekoliko manjšem obsegu na varnostna območja v okolici žarišč. Tovrsten nadzor je s povečanjem števila žarišč zelo težko obvladovati, saj je število vključenih ljudi omejeno in terenski pregledi potekajo v poletnem času, ko se razpoložljivost zaposlenih še zmanjša.

Veliko pomoč pri odkrivanju novih žarišč zlate trsne rumenice bi lahko predstavljale analize ve spektralnih posnetkov vinorodnih območij. Obolela vinska trta kaže značilno spremembo obarvanja zelenih listov: rumenenje pri belih sortah in rdečenje pri rdečih sortah grozdja. Z daljinskimi zaznavanjem odkrite spremembe barve v vinogradih, ki so bili na posnetkih preteklih let še videti zdravi, bi tako pripomogle k bolj usmerjenemu terenskem pregledovanju vinogradov in s tem k večji učinkovitosti obvladovanja.

Ve spektralne posnetke v eni območja lahko pridobimo s satelitskim snemanjem, redkeje tudi s snemanjem z letalom. Obstajajo različni visokoločljivostni ve spektralni satelitski sistemi, ki snemajo zemeljsko površje. Večina teh sistemov, kot so Quickbird, Ikonos in Geoeye-1, beleži odboj svetlobe, to je elektromagnetnega valovanja, v štirih območjih njihove valovne dolžine: rdečem, zelenem in modrem delu vidnega (oz. pankromatskega) dela spektra ter v bližnjem infra rdečem delu. Le senzorji satelita Worldview 2 beležijo odboj elektromagnetnega valovanja v 8 delih spektra (imenovanih kanali) ob ustrezni visoki

prostorski ločljivosti. Omenjenim osnovnim štirim kanalom so v sistemu Worldview 2 dodali še kanale obalno modre, rumene, robno rdečo in dodatnega bližnje infra rdečega.

Prostorska ločljivost posnetkov v nadiru je 0,5 m v pankromatskem delu – kjer je v rdečem belem posnetku vrednost odboja za celotno območje je podana z eno povprečno vrednostjo odboja – ter 1,85 oziroma 2 m v večspektralnem delu. Prostorska ločljivost pomeni najmanjšo velikost rastrske celice posnetka. Za območje je 2 m x 2 m zemeljske površine torej dobimo v večspektralnem delu posnetka 8 vrednosti odboja v posameznih območjih spektra. Z večjim številom kanalov je sistem zelo veliko pridobil na uporabnosti posnetkov tudi za namene odkrivanja rastlinskih bolezní ter drugih stresnih dejavnikov rastlin. Za ugotavljanje bolezenskih stanj in stresnih pogojev rastlin sta še posebno uporabna robni rdeči (705 – 745 nm) ter rumeni kanal (585-625 nm) (Vogelmann in sod., 1993; Jones in Vaughan, 2010).

Analiza satelitskih posnetkov temelji na dejstvu, da vsak objekt na zemeljski površini na svojstven način odraža, prepušča oziroma odbija svetlobo in to različno po posameznih območjih valovne dolžine (Oštir, 2006). To ne omogoča le ločevanja med izrazito različnimi skupinami objektov, kot so travniki, njive, ceste, stavbe, itd., ampak tudi znotraj iste skupine objektov, v našem primeru denimo rastline z bolezenskimi znamenji (značilno rumeno ali rdečo obarvani listi) od zdravih rastlin (zeleni listi). Zato je ugotavljanje navzočnosti fitoplazme zlate trsne rumenice z analizo satelitskih posnetkov primerna izbira.

2 METODE DELA

Snemanje območja na Primorskem, kjer smo posneli celotno uradno razmejeno območje, je bilo opravljeno 11. avgusta 2011. Posnetek oziroma sliko območja smo najprej položajno in reliefno korigirali (georeferencirali ter ortorektificirali). Nato smo s posebnim orodjem v okviru programske opreme Erdas Imagine 2011 večspektralni del posnetka ustrezno izostrili s podatki pankromatskega dela posnetka. Na ta način smo povečali prostorsko resolucijo večspektralnega dela posnetka na 0,5 m. Pri nadaljnji analizi posnetka smo za obravnavane vinograde želeli vključiti le vrstni prostor vinogradov. Razmejitev vrstnega prostora od medvrstnega prostora vinogradov smo uspešno naredili z uporabo obalno modrega kanala (400-450 nm), vrednosti odboja višje od 0,285 smo upoštevali kot medvrstni prostor.

V osnovnem terminu snemanja smo opravili podrobno mapiranje oziroma popis trt in bolezenskih znamenj v nekaterih vinogradih žarišča Viližan, kjer je bila bolezen zastopana že nekaj let pred odkritjem. V izbranih vinogradih smo ocenili izraženost bolezenskih znamenj. Okrajšave izraženosti bolezenskih znamenj so N - znamenji, M – znamenja so malo vidna; kar pomeni, da sta bila na trti prisotna le poganjek ali dva z znamenji bolezní ter manj kot 5 polno razvitih listov s spremenjeno barvo, S – bolezenska znamenja so srednje močno izražena; znamenja bolezní so vidna na več poganjkih in spremenjena barva na več kot 5-ih polno razvitih listih ter V- znamenja so vidna v pretežnem delu trte in močno izražena. Na ta način smo pridobili referenčne točke, pri katerih smo lahko ugotavljali, kako se odražajo bolezenska znamenja na vrednostih odboja v posameznem spektralnem kanalu.

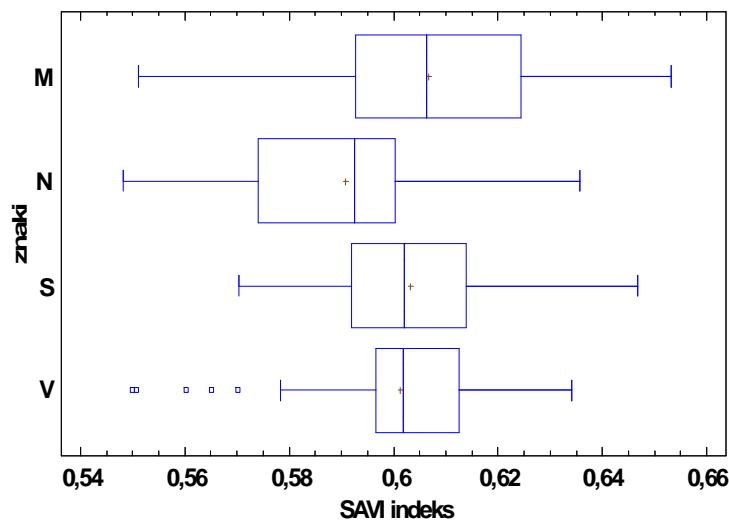
Pri analizah satelitskih posnetkov praviloma uporabljamo indekse, ki so razmerja med posameznimi kanali. Eden bolj znanih indeksov, ki se uporabljajo v raziskavah vegetacije, je indeks NDVI (vegetacijski indeks normaliziranih razlik), ki predstavlja količnik med razliko kanalov bližnje infra rdečega (NIR) in rdečega kanala ter njuno vsoto. Nižje vrednosti NIR kanala pomenijo manjšo vsebnost vode v rastlinah, medtem ko so večje vrednosti rdečega kanala odraz manjše fotosintetske aktivnosti. NDVI indeks zato v določeni meri odraža vitalnost vegetacije (Jones in Vaughan, 2010). V naši analizi smo poleg NDVI indeksa uporabili še 30 ostalih, ki naj bi ponazarjali različna stanja v vegetaciji in so odraz razmerij med posameznimi kanali. Nekateri od teh indeksov so nastali na podlagi analiz hiperspektralnih posnetkov, t.j. posnetkov, ki imajo zvezne vrednosti odboja v celotnem območju in ne le eno povprečno vrednost za posamezen del spektra, in smo jih za naše potrebe priredili na strukturo naših spektralnih podatkov. Kot predpogoj za izračun indeksov

smo za posamezno vrsto v vinogradu izvozili vse podatke, vključno s prostorskima koordinatama x in y in jih v nadaljevanju za posamezno trto uvrstili v razrede izraženosti bolezenskih znakov ter izračunali omenjene indekse. Statistično analizo podatkov (indeksov) smo opravili s programsko opremo Statgraphics Centurion XVI. Razlike med razredi smo preverjali z analizo variance (ANOVA). Statistično značilne razlike med obravnavami smo v drugem koraku preverjali z analizo mnogoterih primerjav z Duncan-ovim testom.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Absolutne vrednosti odboja se zaradi različnih pogojev snemanja kot tudi lege objektov, lahko močno razlikujejo, zato v analizah posnetkov v večji meri uporabljamo indekse. Izmed 30 izračunanih indeksov smo s statistično analizo potrdili, da določajo potencial za ločevanje okuženih rastlin od zdravih. Od standardnega nabora indeksov kažeta potencial indeksa NDVI in SAVI (prilagojen NDVI indeks glede na vpliv tal pri odboju svetlobe - ang. Soil-Adjusted Vegetation Index) (Huete, 1988). SAVI indeks z uporabo faktorja $L=0,25$ je razlike med povprečji rastlin brez vidnih znakov in rastlin z izrazitejšimi znaki okužbe, bolj jasno razmeji kot indeks NDVI. Iz slike 1 je razvidno, da so sicer povprečja in mediane med skupinami rastlin dobro razmejena, vendar se podatki še vedno zelo prekrivajo. Seveda je nerealno pričakovati, da bi nam lahko uspelo uspešno razmejiti posamezne skupine rastlin z znaki okužbe zgolj na podlagi enega indeksa.

219



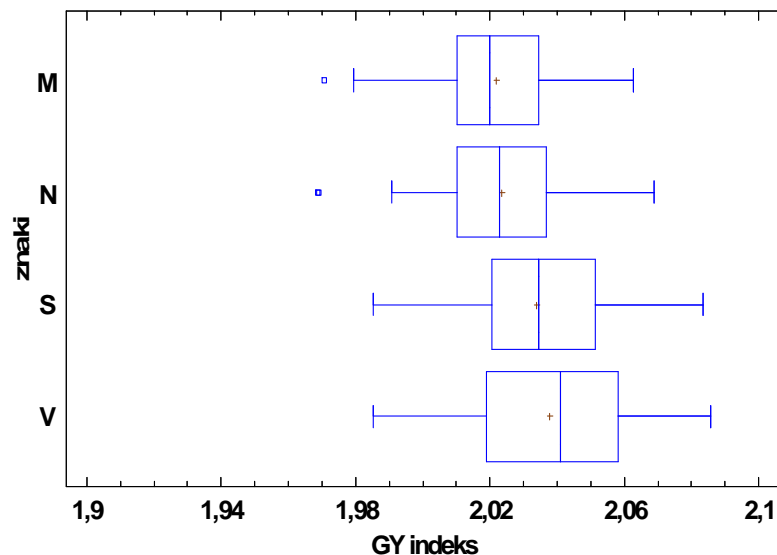
Slika 1: Okvir z ročaji za indeks SAVI za skupine rastlin z različno izraženimi bolezenskimi znamenji zlate trsne rumenice – kjer okvir ponazarja vrednosti med prvim in tretjim kvartilom vseh vrednosti, črta v okvirju mediano ter križec povprečje, medtem ko ročaji predstavljata vrednosti med minimalno vrednostjo in prvim kvartilom oziroma med tretjim kvartilom in maksimalno vrednostjo; točke zunaj okvirja z ročaji predstavljajo osamelce.

Nekateri indeksi, ki temeljijo na uporabi zelenega, rumenega in robno rdečega kanala, razmejujejo razrede podobno dobro. Med njimi se kot perspektivna kažeta predvsem RR indeks (koli nik med vsoto odboja med robnim rdečim kanalom in rdečim kanalom in rdečim kanalom ter njuno razliko) ter GY indeks (koli nik med vsoto odboja v zelenem in rumenem delu spektra ter odbojem v zelenem delu). Tako denimo GY indeks statistično značilno razmeji rastline z zelo

in srednje izraženimi znamenji boleznimi, od povprečij rastlin, ki so brez vidnih znamenj ali z malo izraženimi znamenji boleznimi. Kot je razvidno iz obeh slik obstajajo razlike med povprečji skupin rastlin. Te razlike so praviloma močno statistično značilne ($p < 0,001$), vendar je še vedno precejšnje prekrivanje vrednosti indeksov med skupinami rastlin.

Obstajajo več vzrokov za nejasno razmejitev med skupinami rastlin. Eden poglavitnih je prekrivanje rastlin v vrstnem prostoru. Zato so rastrske celice s homogeno informacijo, kot je npr. mogoče doseči pri drevesnih krošnjah, posamezne rastline redke. Tudi sicer, če se rastline z različno izraženimi bolezenskimi znamenji ne prekrivajo, imajo le redke rastrske celice homogeno informacijo. Pri rastlinah z vidnimi znamenji boleznimi je vrednost odboja praviloma sestavljena iz dela rastline, ki je brez očitnih znamenj okužbe ter dela, ki ima vidna znamenja okužbe. Poleg tega imajo robne rastrske celice v vrsti v sebi še delno informacijo medvrstnega prostora. Ne smemo pa spregledati tudi dejstva, da je osnovna prostorska resolucija ve spektralnega posnetka 2×2 m, ki smo mu z ostrenjem s pankromatskim posnetkom izboljšali ločljivost. Vendar tovrstna izostritev nikoli ni tako dobra, kot bi bila osnovna $0,5$ m ločljivost ve spektralnega dela posnetka.

220



Slika 2: Okvir z roaji za indeks GY za skupine rastlin z različno izraženimi bolezenskimi znamenji zlate trsne rumenice.

Omenjeni vzroki manj jasnih razmejitev med skupinami rastlin z različno izraženimi znamenji zlate trsne rumenice, narekujejo iskanje kompleksnejšega algoritma, ki bo sestavljen iz več različnih indeksov. Dosedanje kombinacije indeksov algoritma identifikacije okuženih rastlin v vinogradu so na omejenem setu podatkov dosegle približno 70% natančnost identifikacije okuženih rastlin s srednje in močno izraženimi vidnimi znamenji boleznimi. Za učinkovito pomoč pri usmerjenem terenskem delu si želimo ta odstotek povečati do 80% natančnosti, kar je glede na podobne raziskave tudi realno gledano najbolj optimalen rezultat. Za doseg tega cilja smo v zadnjem obdobju uvedli tudi nove metode analize ve spektralnih posnetkov vinorodnih območij, kot je strojno učenje oziroma rudarjenje s podatki. Prve analize podatkov

vinogradov posajenih z belimi sortami kažejo, da bo potrebno nadaljevati v ločenem iskanju algoritma za bele in rdeče sorte.

4 LITERATURA

- Huete, A. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25(3): 295–309.
- Jones, H.G., R.A. Vaughan. 2010. *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*. 1st^{ed}. Oxford University Press, USA.
- Mehle, N., M. Ravnikar, G. Seljak, V. Knapi, M. Dermastia 2011. The most widespread phytoplasmas, vectors and measures for disease control in Slovenia. *Phytopathogenic mollicutes*, 2011, vol. 1, issue 2, str. 65-76.
<http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:mollicutes&volume=1&issue=2&article=003>
- Narodne ukrepe obvladovanja trsnih rumenic v Republiki Sloveniji (2011). Fitosanitarna uprava Republike Slovenije, 37 s.
http://www.uvhvvr.gov.si/fileadmin/uvhvvr.gov.si/pageuploads/DELOVNA_PODROCJA/Zdravje_rastlin/2013/Posebno_nadzorovani_organizmi/trsne_rumenice_in_ameriski_skrzatek/Nacrt_ukrepov_sprejet_za_splet.pdf
- Oštir, K. 2006. *Daljinsko zaznavanje*. Založba ZRC.
- Vogelmann, J.E., B.N. Rock, D.M. Moss. 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*. 14(8): 1563–1575