

UPORABA SATELITSKIH POSNETKOV ZA SPREMLJANJE VODNEGA POTENCIALA V VINOGRADIH

Alen Mangafić

Geodetski inštitut Slovenije

alen.mangafic@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7718-5969>

dr. Paolo Sivilotti

University of Udine, Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences

paolo.sivilotti@uniud.it, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1405-6358>

dr. Klemen Lisjak

Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

klemen.lisjak@kis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_08

UDK: 528.8:634.8:581.11(450.36)

IZVLEČEK

Uporaba satelitskih posnetkov za spremljanje vodnega potenciala v vinogradih

V prispevku predstavljamo povezanost spektralnih vrednosti satelitskega posnetka Sentinel-2 in terenskih meritev vodnega potenciala (Ψ) na trtah. Metoda temelji na korelacijskih analizah med opazovanji, sestavljenimi iz odbojnosti kanalov Sentinel-2 in agregiranih meritev vodnega potenciala pred zoro, vodnega potenciala lista opoldan in vodnega potenciala stebela opoldan. Povezanosti smo ocenili s Pearsonovim in Kendallovim koeficientom ter linearno regresijo. Študija je ugotovila močno povezanost meritev vodnega potenciala in infrardečih spektrov ter stopnjevanje močne povezanosti od spektra rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe. Študija je izvedena na območju občine Precenicco (Furlanija - Julijska krajina).

KLJUČNE BESEDE

Sentinel-2, vodni potencial, vinogradi, vodni stres, suša

ABSTRACT

Use of satellite imagery for monitoring the water potential in vineyards

In this paper, we present the correlation between spectral values of Sentinel-2 image and field measurements of water potential (Ψ) in vines. The method is based on correlation analyses between observations consisting of Sentinel-2 reflectance and aggregated measurements of pre-dawn, midday leaf and midday stem water potential. Correlations were assessed using Pearson's and Kendall's coefficients and linear regression. The study found a strong correlation between the water potential measurements and the infrared spectra, and an intensification of the strong correlation from the red-edge spectrum to the short-wave infrared. The study was carried out in the area of Precenicco municipality (Friuli Venezia Giulia).

KEY WORDS

Sentinel-2, water potential, vineyards, water stress, drought

1 Uvod

Sentinel-2 je konstelacija dveh satelitov programa Copernicus, Evropske vesoljske agencije. Satelita Sentinel-2A in Sentinel-2B zajemata multispektralne posnetke z optičnim senzorjem, ki zajema 13 pasov. Posnetki so zajeti na spektralnem območju vidne, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče svetlobe. Pasovi vidne in bližnje infrardeče svetlobe so zajeti z 10-metrsko ločljivostjo, medtem ko so ostali zajeti z 20-metrsko, z izjemo pasov, ki ne zajemajo površja, ampak aerosole in ciruse s 60-metrsko ločljivostjo (ESA 2022a). To pomeni, da en piksel zajema površino $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ za prve pasove (100 m^2) in $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ (400 m^2) za preostale. Časovna ločljivost konstelacije je od 2 do 5 dni, odvisno od geografske širine, kar pomeni, da imamo za isto območje na voljo nove podatke vsakih 5 dni (ESA 2022b). Na delu bližnje infrardeče svetlobe imamo več pasov, ki se razlikujejo glede na njihovo spektralno ločljivost, kjer nam vsak od teh lahko poda zanimive informacije pri spremljanju rastlin (Frampton s sodelavci 2013). Prav tako nam kratkovalovni infrardeči pasovi lahko povejo več o vodni in mineralni sestavi različnih materialov (van der Meer s sodelavci 2014). Uporaba daljinskega zaznavanja za monitoring rastlin omogoča hitre ocene njihovega fotosintetičnega delovanja (tj. posredno oceno absorpcije ogljikovega dioksida), ravni dušika in ravni vlage v listih (Ramoelo s sodelavci 2015). Ramoelo s sodelavci (2015) je izvedel študijo povezanosti vodnega potenciala s spektralnimi podpisi, zajetimi s prenosnim spektrometrom ter nato prenesel hipoteze na spektralne pasove, zajete s satelitom RapidEye. Ločljivost originalnih pasov RapidEye modrega, zelenega, rdečega, rdečega roba in bližnje infrardečega spektra je 5 m. Sentinel-2 ponuja posnetke slabše ločljivosti, vendar je njegova spektralna natančnost zanesljivejša (Darvishzadeh s sodelavci 2019) in prav tako zajema še dva dodatna pasova na področju kratkovalovnega infrardečega območja, ki sta zelo uporabna za ocenjevanje ravni vode (Kandykakis s sodelavci 2020).

Vodni potencial (Ψ) listov, merjenih pred zoro (Ψ pred zoro), minimalni vodni potencial (Ψ lista opoldan), kot tudi vodni potencial stebela (Ψ stebela opoldan), predstavljajo zanesljivo in hitro pridobljeno oceno vodnega statusa trt v povezavi z vodo, dostopno rastlinam ter meteorološkimi pogoji. Vodni potencial predstavlja energijo vode v listnem mesofilu. Ob jutranji sončni svetlobi se listne reže odprejo, zaradi česar se vrednost vodnega potenciala v listih zaradi izhlapevanja vode v atmosfero zniža. V nočnem času, od sončnega zahoda do zore, se listne reže skoraj v celoti zaprejo, zato se vrednost vodnega potenciala v rastlini zaradi absorpcije vode iz korenin v poganjke trte poveča. Na splošno vodni potencial in stres vplivata na zmanjšanje teže grozdnih jagod ter posledično na razmerje med jagodnimi kožicami in mesom. Številni avtorji poročajo tudi o večjih koncentracijah sladkorjev (Bucchetti s sodelavci 2011; Calderan s sodelavci 2021). Savoy s sodelavci (2017) so poročali o pozitivnem učinku vodnega stresa na koncentracijo aromatičnih spojin v grozdju sorte Tocai friulano. Z vidika upravljanja pridelka ter optimizacije kakovosti grozdja in vina lahko prilagajanje namakanja vinogradov v smislu vodnega stresa predstavlja učinkovito tehniko. Za merjenje vodnega potenciala trt v namakanih in nenamakanih pogojih številni avtorji predlagajo uporabo tlačne komore (Calderan s sodelavci 2021; Choné s sodelavci 2001; Levin 2019). Namen prispevka je preveriti uporabnost posnetkov Sentinel-2 za hitro oceno vodnega potenciala v vinogradih. Analizirali smo korelacije med izmerjenimi Ψ in različnimi kanali ter indeksi, izpeljanimi iz satelitskih posnetkov.

2 Metode dela

Analizo povezanosti optičnih podatkov posnetkov Sentinel-2 in meritev vodnega potenciala smo izvedli za podatke vinograda na območju Precenicco (Furlanija – Julijska krajina; slika 1).

Za povezovanje satelitskih in terenskih meritev je optimalno izvajanje meritev na dan preleta satelita. Meritve Ψ lista in stebela opoldan ter Ψ pred zoro so potekale 8. avgusta 2020, 29. julija 2021 in 26. avgusta 2021. Za datume iz leta 2021 smo pridobili posnetke, ki so zajeti istega dne. Za datum 8. avgust

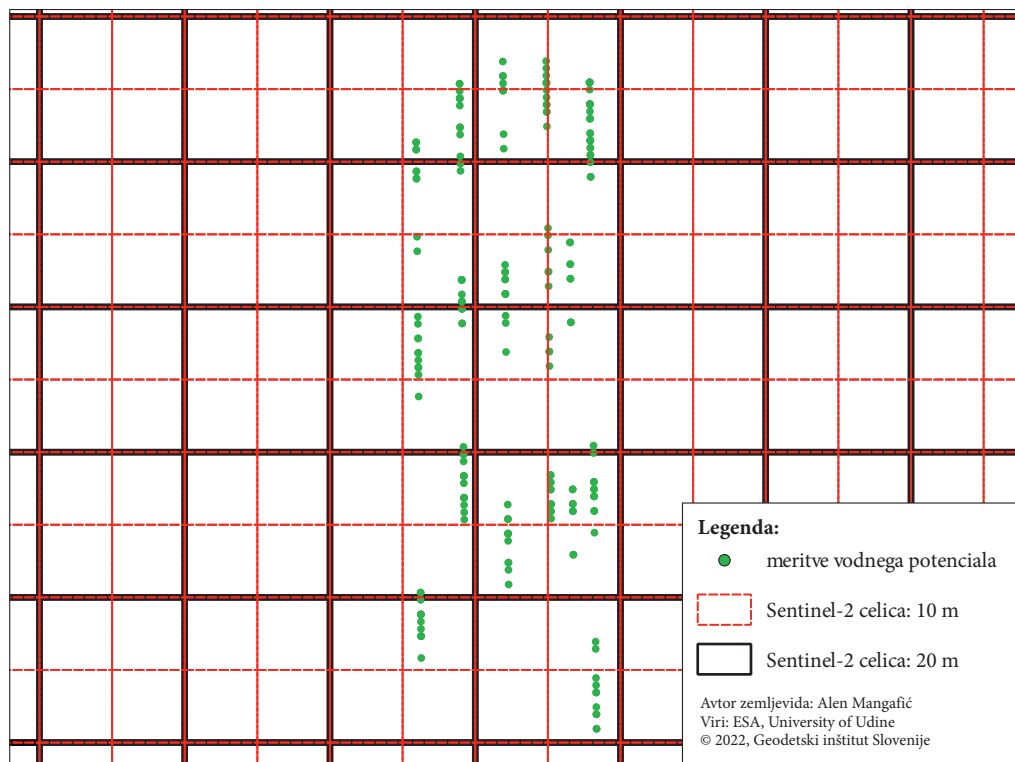
2020 smo pridobili posnetek, ki je najbližji temu datumu; to je posnetek z datumom 10. avgust 2020. V tem obdobju so meteorološke postaje prikazovale podobne meritve, tako da nas je zanimalo, ali lahko kombiniramo podatke in posnetke, ki niso merjeni oz. zajeti na isti datum. Ψ lista merimo med 12.00 in 14.00.



Slika 1: Študijsko območje.



Slika 2: Rastno stanje trt (levo) in Scholanderjeva tlačna komora (desno).



Slika 3: Načrt meritev in agregacije.

Zaradi hkratnega vpliva izhlapevanja vode iz listov v atmosfero in vode dosegljive rastlinam, Ψ lista dosega najbolj negativne vrednosti vodnega potenciala. Meritve Ψ stebela predstavljajo bolj zanesljivo informacijo o vsebnosti vode v trti. Ψ stebela merimo tako, da popolnoma razvite in osončene liste zavijemo v aluminijasto folijo eno uro pred vzorčenjem. Na ta način simuliramo nočne razmere, kar povzroči zapiranje listnih rež in prekinitev izhlapevanja vode. Na ta način vodni potencial lista uravnesimo z vodnim potencialom stebela. Meritve Ψ pred zoro potekajo med 3.30 in 5.30, rezultati meritev pa predstavljajo približek vodnega potenciala v tleh. Manjša vsebnost vode v tleh zmanjša Ψ pred zoro, posledično pa tudi Ψ lista in Ψ stebela. V primeru merjenja vseh treh potencialov list odtrgamo od poganjka in z britvico naredimo raven rez na koncu peclja. List vstavimo v Scholanderjevo tlačno komoro (slika 2) s pecljem, usmerjenim iz komore. V komoro dovedemo dušik, ustvarjeni tlak pa povzroči iztok listnega soka iz peclja. V trenutku pojava listnega soka na površini odrezanega peclja odčitamo vrednost relativnega vodnega potenciala. Vrednosti nad $-0,6$ MPa za trto ne predstavljajo pomanjkanja vode, medtem ko nižje vrednosti predstavljajo blag ($-0,9 < \Psi$ stebela $< -0,6$ MPa), zmeren ($-1,1 < \Psi$ stebela $< -0,9$ MPa) ali močan (Ψ stebela $< -1,4$ MPa) vodni stres (Leeuwen s sodelavci 2009).

Prenesli smo posnetke Sentinel-2 L1C in jih pred-obdelali z algoritmom sen2cor v obliko L2A. Na ta način smo pridobili posnetke, katerih pikselske vrednosti predstavljajo odbojnost. Ker so terenske meritve izvajane tudi na trtah, ki se nahajajo na enakih celicah Sentinel-2, smo meritve agregirali na celično raven. Izvedli smo agregacijo za 10- in 20-metrске celice z upoštevanjem mediane meritev na enoti. Načrt meritev in agregacije je prikazan na sliki 3. Od začetnih 182 meritev Ψ smo pridobili 23 opazovanj za 10-metrске celice in 9 opazovanj za 20-metrске celice.

Vrednosti odbojnosti smo točkovno pripisali iz satelitskih posnetkov in tako pridobili svoja opazovanja. Za vzorec, sestavljen iz Ψ in odbojnosti (indeksa) smo preverili povezanosti z izračunom Pearsonovega in Kendallovega koeficienta korelacije ter stopnje značilnosti (p-vrednost) in nato prikazali premice linearne regresije za odnose, ki so imeli največjo povezanost.

3 Rezultati

Na sliki 4 lahko vidimo korelogram (Pearsonovi koeficienti) vseh agregiranih meritev vodnega potenciala in pasove Sentinel-2. Povezanosti smo najprej preverili za meritve iz leta 2021 (isti dan preleta), potem pa še skupaj z meritvami iz leta 2020. Povezanosti pasov vidne svetlobe, bližnje infrardeče in izpeljanih indeksov so različne za meritve iz let 2021 in 2020. Koeficienti korelacije iz leta 2020 kažejo na zmerno do močno negativno povezanost, medtem ko tisti iz leta 2021, nepovezanost. Domnevamo, da je to zaradi mulčenja površin med trtami in posledičnega padca vegetacijske aktivnosti. Vsi korelogrami (2020, 2021 in vse skupaj) kažejo na močno povezanost Ψ lista opoldan in Ψ pred zoro s kratkovalovnimi infrardečimi pasovi. Opazimo tudi stopnjevanje povezanosti od rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe. Korelacija se obrača iz močne pozitivne do močne negativne.

Da bi dodatno ovrednotili povezanost, smo izvedli še linearne regresijske analize močno koreliranih parov in prikazali 95 % intervale zaupanja (pas modre barve v okolici regresijskih premic) ter stopnje značilnosti (p-vrednost). Grafom smo še pripisali izračunane Pearsonove (r) in Kendalllove (τ) korelacijske koeficiente. Na sliki 5 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ stebela opoldan in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja precej širok. Stopnje značilnosti kažejo na to, da je vzorec še vedno premajhen, da bi lahko prenesli hipoteze z veliko zanesljivostjo na populacijo pikslov vinograda.

Na sliki 6 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ pred zoro in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja ožji od predhodnega. Stopnja značilnosti, izračunana na osnovi Pearsonove korelacije je statistično značilna, medtem ko je stopnja Kendalllove korelacije je nekoliko slabša (gotovost posploševanja iz vzorca na populacijo je 92 %).

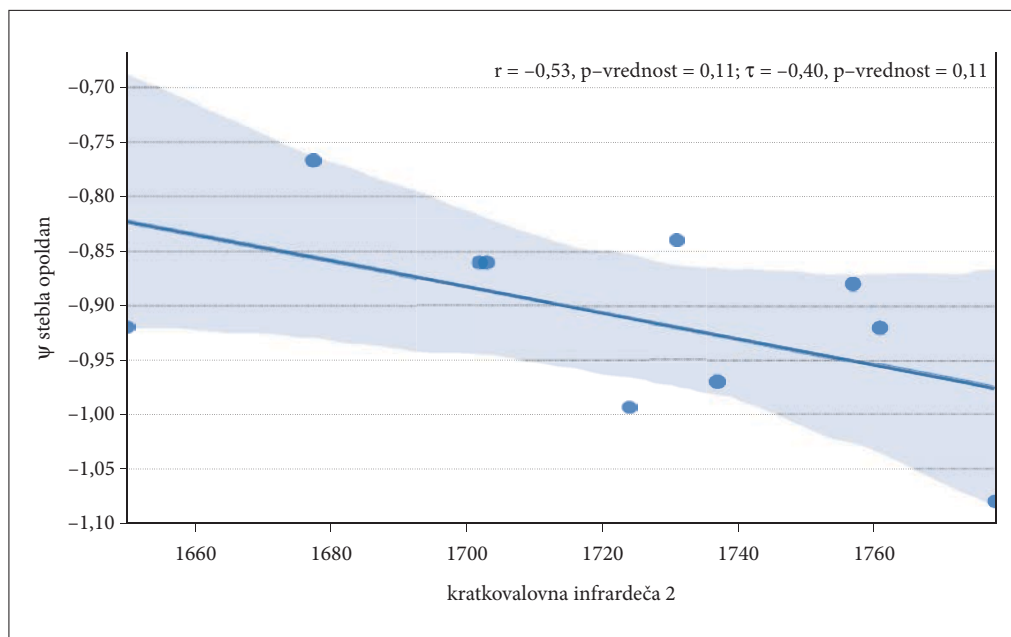
Na sliki 7 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ lista opoldan in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja širši, saj je prisoten velik vpliv osamelca, ki predstavlja najnižjo vrednost izmerjenega Ψ . Stopnja značilnosti, izračunana na osnovi Kendalllove korelacije je zelo dobra, medtem ko Pearsonova ni zadovoljiva.

4 Sklep

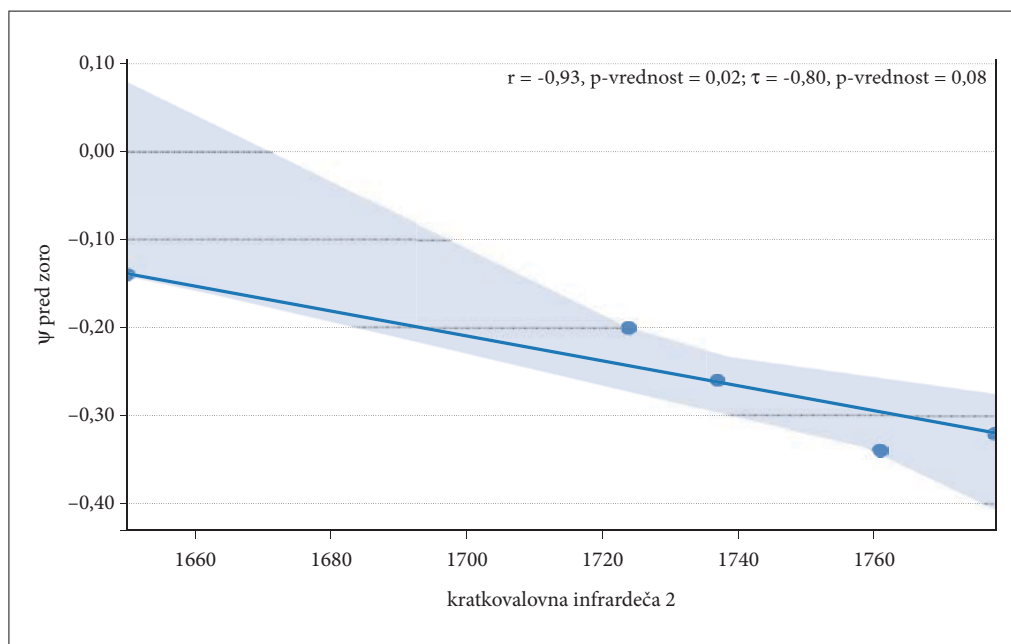
Na osnovi analiziranega in predstavljenega gradiva lahko zaključimo, da sta Ψ lista in Ψ pred zoro močno korelirana z nekaterimi valovnimi dolžinami oziroma spektralnimi vrednostmi satelitskega posnetka Sentinel-2. Opazili smo izrazito povezanost na infrardečih spektrih in stopnjevanje močne povezanosti od rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe, kjer se korelacija obrača iz močno pozitivne do močno negativne. Večina izračunanih stopenj značilnosti je zadovoljiva, vendar pa bi za zanesljivo modeliranje oz. napovedovanje vodnega potenciala le na podlagi posnetkov Sentinel-2 potrebovali več meritev. Zadostna osnova terenskih meritev, kombiniranih s posnetki Sentinel-2 bi nam omogočila, da z boljšo stopnjo zaupanja pridobimo oceno vodnega potenciala lista in vodnega potenciala pred zoro. Na podlagi analiziranega gradiva domnevamo, da bi bilo modeliranje potencialnega vodnega stresa z logistično regresijo (npr. prisotnost-odsotnost stresa) zanesljivo, in da ima veliko uporabno vrednost.



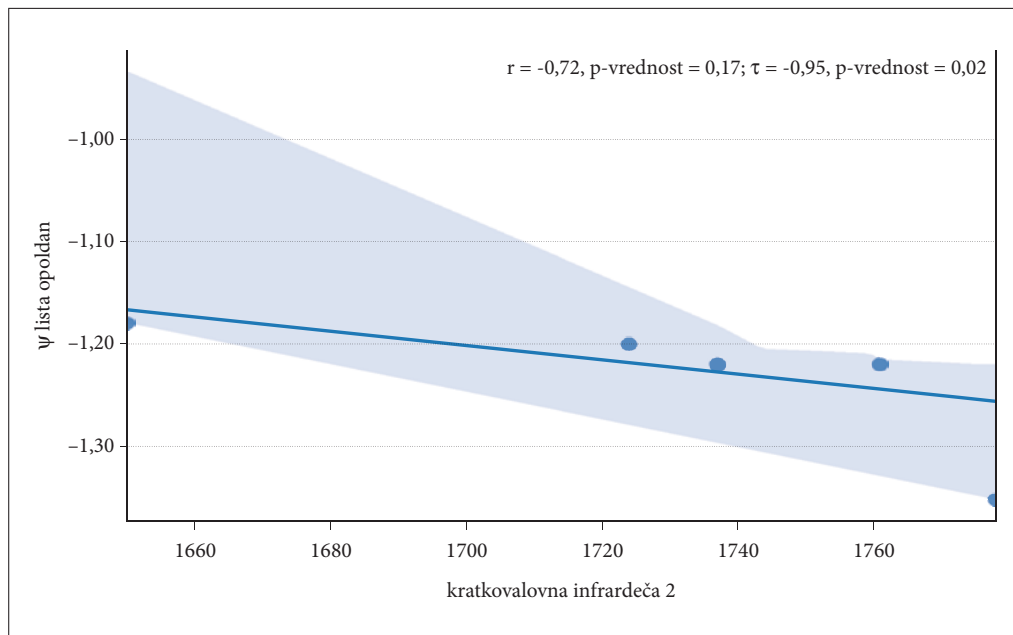
Slika 4: Korelogram: agregirane meritve vodnega potenciala in odboji Sentinel-2.



Slika 5: Linearna regresija: meritve vodnega potenciala stebila opoldan in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.



Slika 6: Linearna regresija: meritve vodnega potenciala pred zoro in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.



Slika 7: Linearna regresija: meritve vodnega lista opoldan in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.

ZAHVALA: Raziskovalno delo je bilo opravljeno v okviru projekta ACQUAVITIS, ki je sofinanciran iz sredstev programa Interreg V-A Italija-Slovenija 2014–2020.

5 Viri in literatura

- Bucchetti, B., Matthews, M.A., Falginella, L., Peterlunger, E., Castellarin, S.D. 2011: Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Scientia Horticulturae* 128, 297–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.003>
- Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelcic, A., Lisjak, K., Vanzo, A. 2021: Managing moderate water deficit increased anthocyanin concentration and proanthocyanidin galloylation in »Refosk« grapes in Northeast Italy. *Agricultural Water Management* 246, 106684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106684>
- Darvishzadeh, R., Wang, T., Skidmore, A., Vrieling, A., O'Connor, B., Gara, T.W., Ens, B.J., Paganini, M. 2019: Analysis of Sentinel-2 and RapidEye for Retrieval of Leaf Area Index in a Saltmarsh Using a Radiative Transfer Model. *Remote Sensing* 11(6), 671. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11060671>
- ESA 2022a: MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online - Sentinel Online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (15. 2. 2022).
- ESA. 2022b: User guides, Sentinel-2 MSI, Revisit and coverage, Sentinel online. Medmrežje: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/revisit-coverage> (15. 2. 2022).
- Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., Milton, E. J. 2013: Evaluating the Capabilities of Sentinel-2 for Quantitative Estimation of Biophysical Variables in Vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82, 83–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007>

- Kandylakis, Z., Falagas, A., Karakizi, C., Karantzas, K. 2020: Water Stress Estimation in Vineyards from Aerial SWIR and Multispectral UAV Data. *Remote Sensing* 12 (15), 2499. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12152499>
- Leeuwen, C.V., Tregouat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère, J.P. 2009: VineWater Status Is a Key Factor in Grape Ripening and Vintage Quality for Red Bordeaux Wine. How Can It Be Assessed for Vineyard Management Purposes? *Oeno One* 43,121–134. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>
- Ramoelo, A., Dzikiti, S., van Deventer, H., Maherry, A., Cho, M. A., Gush, M. 2015. Potential to Monitor Plant Stress Using Remote Sensing Tools. *Journal of Arid Environments* 113, 134–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.003>
- van der Meer, F. D., van der Werff, H. M. A., van Ruitenbeek, F. J. A. 2014: Potential of ESA's Sentinel-2 for Geological Applications. *Remote Sensing of Environment*, 148, 124–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.022>