

Mogućnost uporabe multispektralnih kamera u poljoprivredi

Vojvodić, Milorad; Skendžić, Sandra; Lemić, Darija

Source / Izvornik: **Glasilo biljne zaštite, 2023, 23, 391 - 404**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:804618>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 3.0 Unported](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



.....
Milorad VOJVODIĆ, Sandra SKENDŽIĆ, Darija LEMIĆ

*Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju
sskendzic@agr.hr*

MOGUĆNOST UPORABE MULTISPEKTRALNIH KAMERA U POLJOPRIVREDI

SAŽETAK

U preciznoj se poljoprivredi, uz korištenje modernih tehnologija, nastoji poljoprivrednim proizvođačima pružiti što više potrebnih informacija u realnu vremenu, na temelju kojih bi mogli pravodobno donijeti odluke u vezi s njegovom i zaštitom poljoprivrednih kultura. Za tu su namjenu razvijene metode daljinskog istraživanja uz korištenje GPS-a, GIS-a, multispektralnih i RGB kamera, kao i ostale slične visokotehnološke opreme. Daljinska istraživanja provode se upotrebom satelita, zrakoplova, helikoptera ili dronova, kao i korištenjem platformi baziranih na tlu. U daljinskim se istraživanjima sve više prihvaća upotreba dronova opremljenih multispektralnim kamerama koje snimaju ljudskom oku vidljiv dio spektra (VIS; 400-700 nm) i nevidljivi, odnosno bliskoinfracrveni dio spektra (NIR; 700-1300 nm). Zelene biljke snažno apsorbiraju energiju zračenju u vidljivu dijelu elektromagnetskog spektra te ga koriste za fotosintetsku aktivnost, a, s druge strane, snažno reflektiraju zračenje u bliskom infracrvenom dijelu spektra. Takve varijacije u reflektiranom i apsorbiranom zračenju dovele su do formiranja vegetacijskih indeksa od kojih je najpoznatiji Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI). Fotografije dobivene korištenjem multispektralnih kamera, imaju velik potencijal za procjenu zdravstvenog stanja usjeva, za detekciju štetnika, bolesti i korova, kao i ostalih svojstava značajnih za poljoprivrednu proizvodnju. Na tržištu postoji više proizvođača i više vrsta multispektralnih kamera čije su cijene, ovisno o karakteristikama, u širokom cjenovnom rasponu. Osnovni je cilj ovog preglednog rada istražiti primjenu precizne poljoprivrede putem naprednih tehnologija, s posebnim naglaskom na daljinsko istraživanje i upotrebu multispektralnih kamera. Svrha je rada pružiti sveobuhvatne informacije o različitim metodama daljinskog istraživanja, s fokusom na upotrebu dronova opremljenih multispektralnim kamerama, posebno u kontekstu zaštite bilja.

Ključne riječi: daljinska istraživanja, dronovi, multispektralne kamere, precizna poljoprivreda

UVOD

Kako bi se zadovoljile potrebe za hranom, kao i ostalim poljoprivrednim proizvodima, tradicionalna poljoprivredna proizvodnja u ostvarivanju tih ciljeva

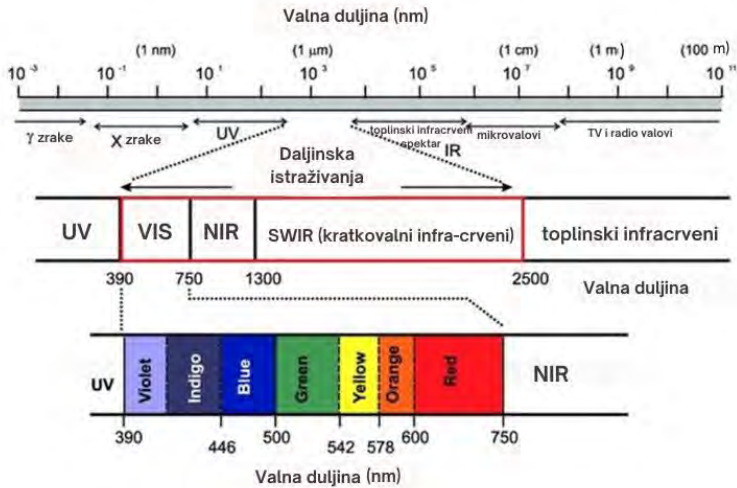
(zbog neselektivne potrošnje resursa), postaje sve veće opterećenje za okoliš. Upravo zbog toga, koncept precizne poljoprivrede postaje sve poželjniji i zastupljeniji u suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji. Tayari i sur. (2015.) navode: „Precizna je poljoprivreda sposobnost upravljanja zemljištem po kvadratnom metru umjesto po kvadratnoj milji¹“. Jurišić i sur. (2015.) preciznu poljoprivredu opisuju kao visokoproduktivnu aktivnost korištenjem malog broja tehnološki naprednih i visoko pouzdanih strojeva, a Rapčan i sur. (2018.) kao zadatak precizne poljoprivrede ističu olakšavanje donošenja odluke poljoprivrednim proizvođačima, tako da im se omogući što više preciznih informacija u stvarnom vremenu.

U preciznoj poljoprivredi, kao pomoć proizvođačima u provedbi zaštite bilja i njege usjeva, razvijene su metode daljinskog istraživanja uz korištenje sustava GPS-a (Global Positioning Systems), GIS-a (Geographic Information Systems) i VRT-a (Variable Rate Technology) (Lan i sur., 2009.). Sustav GPS značajan je alat koji omogućuje preciznu navigaciju na polju, a upotrebom tog sustava mogu se točno mapirati područja izložena napadima bolesti, štetnika, kao i područja u kojima su se pojavili korovi (GPS.gov, 2021.). Geografski informacijski sustav (GIS) pruža alate za pohranu, dohvaćanje, obradu, analizu i prikaz prostornih podataka i slika, a primjenom u poljoprivrednoj proizvodnji omogućava proizvođačima lakše sagledavanje i bolje razumijevanje čimbenika koji utječu na prinose kultura (npr. plodnost tla, pojavu štetnih organizama) (Deleon i sur., 2019.; Mani i sur., 2021.). Variable Rate Technology (VRT) još je jedna značajna tehnologija u preciznoj poljoprivredi, koja poljoprivrednim proizvođačima omogućava varijabilnu upotrebu gnojiva, sredstava za zaštitu bilja i vode za navodnjavanje, ovisno o stvarnim potrebama biljaka na preciznim lokacijama u polju (Growers, 2022.).

U preciznoj se poljoprivredi sve više prihvaća upotreba dronova (UAV – Unmanned Aerial Vehicles), koji se, među ostalim, koriste za praćenje zdravstvenog stanja usjeva i utvrđivanje napada štetnika (Iost Filho i sur., 2019.), a primjenom bespilotnih sustava proizvođačima se omogućava nadziranje trajnih nasada, kao i planiranje sjetve, sadnje i gnojidbe (Sito i sur., 2016.).

Dronovi korišteni u poljoprivredi opremljeni su multispektralnim kamerama koje snimaju ljudskom oku vidljiv dio elektromagnetskog spektra (VIS; 400-700 nm) i nevidljivi, odnosno bliski infracrveni dio spektra (NIR; 700-1.300 nm) (Bernašek i sur., 2014.; Lugonja i Krušelj, 2021.; Skendžić, 2022.). Na slici 1 prikazan je elektromagnetski spektar s rasponom boja unutar vidljiva dijela spektra.

¹ Jedna milja iznosi 1609 metara (Klaić, 1988.)



Slika 1. Elektromagnetski spektar, Izvor: uređeno prema Kerr i sur., 2011.

Hatfield i sur. (2008.) ističu velik značaj multispektralnih senzora u daljinskim istraživanjima u poljoprivredi, a Huang i sur. (2016.) utvrdili su da daljinska istraživanja pri niskim visinama leta, korištenjem zrakoplova ili dronova, imaju velik potencijal za stvaranje slika visoke rezolucije. Bepilotne letjelice opremljene multispektralnim sensorima odličan su alat za monitoring vegetacije (Sa i sur., 2018.), a Shendryk i sur., (2020.) ističu da multispektralni i LiDAR senzori, korišteni u daljinskim istraživanjima na dronovima, pokazuju veliku učinkovitost u utvrđivanju biomase i sadržaja dušika u listovima šećerne trske.

Uz multispektralne sustave, koji su jeftiniji, u uporabi su i hiperspektralni sustavi (Lan i sur., 2009.). Hiperspektralne slike iz zraka, kao i senzori bazirani na tlu, koriste se među ostalim i kao alat za procjenu gnojidbe kukuruza dušikom, s tim da su indeksi dobiveni iz zračnih snimaka jednako pouzdani kao indeksi dobiveni upotrebom opreme postavljene na tlu (Quemada i sur., 2014.). U daljinskim istraživanjima koriste se i LiDAR senzori (Light Detection and Ranging). Radi se o metodi prikupljanja prostornih podataka tehnologijom prostornog laserskog skeniranja, uglavnom korištenjem zrakoplova, a primjena u poljoprivredi može biti u određivanju visine vegetacije i količine biomase (Gajski, 2007.).

Moses-Gonzales i Brewer (2021.) ističu da se zbog napretka u karakteristikama dronova (autonomno navođenje leta, pohranjivanje i obrada podataka tijekom i nakon leta te napretka u upravljanju i analizama prostornih podataka) povećao broj entomoloških istraživanja primjenom tih letjelica. Uz razvoj i korištenje dronova za daljinska istraživanja, u poljoprivredi se sve veći značaj stavlja na dronove za aplikaciju sredstava za zaštitu bilja (Lan i Chen,

2018.). Takvi dronovi mogu se upotrebljavati i za sjetvu poljoprivrednih kultura, gdje im uspješnost već sada dostiže 70 %, uz smanjenje troškova sjetve od čak 80 % (Ilić i sur., 2019.). Ilić i sur. (2019.) također navode i procjene stručnjaka kako se aplikacijom sredstava za zaštitu bilja dronovima smanjuje količine utrošene vode za 90 %, kao i utrošak pesticida za 30 do 40 %, a cijeli se proces provodi brže, i to za čak 40 puta u odnosu na tradicionalne metode primjene sredstava za zaštitu bilja.

Primjenom bespilotnih sustava postižu se ekonomske uštede, koje omogućuju povećanje konkurentnosti domaćih poljoprivrednih proizvođača (Sito i sur., 2016.), a zbog njihove funkcionalnosti, korištenje dronova u poljoprivredi postaje sve značajnije te će oni i u budućnosti biti značajan alat u unaprjeđivanju poljoprivredne proizvodnje i u zaštiti okoliša (Lemić i sur., 2021.).

DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U POLJOPRIVREDI

Daljinskim istraživanjima dobivaju se informacije o promatranu objektu bez neposredna kontakta s njim (Mani i sur., 2021.). Ova istraživanja mogu biti provedena iz svemira (upotrebom satelita), iz zraka (upotrebom zrakoplova, helikoptera i dronova) te korištenjem platformi baziranih na zemlji, a mogu biti i kombinirani, primjenom navedenih metoda (Huag i sur., 2008., Lan i sur., 2009.). Tijekom daljinskih istraživanja, satelitskih ili zračnih, u obzir se uzimaju prostorna (veličina piksela) i spektralna rezolucija (sposobnost senzora da definira fine intervale valnih duljina i opisuje količinu spektralnih detalja) (Wójtowicz i sur., 2016.). Satelitska snimanja primjenjivija su na većim površinama za mapiranje kultura, za procjenu stanja usjeva, te za procjenu stresa od suše, poplave ili tuče, a karakterizira ih limitirajuća prostorna rezolucija (Wójtowicz i sur., 2016.). Primjena dronova raznolika je, a namijenjeni su korištenju na manjim površinama (od 50 – 500 ha), a njima se, među ostalim, mogu pratiti: fenologija usjeva, gustoća usjeva i sklop, zdravstveno stanje usjeva, potreba za prihranom i navodnjavanjem, pojava bolesti, štetnika i korova (Vukadinović, 2016.). Isti autor još navodi da se primjenom dronova može procijeniti biomasa i prinos, te da se može utvrditi i vrijeme žetve. Generalno, dronovi imaju značajne prednosti, a oprema ugrađena na njih može pružiti snimke visoke rezolucije (Wójtowicz i sur., 2016.). Istraživanja provedena u vinogradima u Italiji, korištenjem satelitskih multispektralnih snimaka i multispektralnih snimaka nastalih korištenjem dronova, pokazala su bolje rezultate dobivene uporabom dronova od rezultata dobivenih uporabom satelita (Khaliq i sur., 2019.). Za daljinska istraživanja dronovi mogu biti opremljeni RGB sensorima (valne duljine unutar crvenog, zelenog i plavog spektra), multispektralnim sensorima (između 3 i 12 širokih spektralnih pojaseva) i hiperspektralnim sensorima (stotine uskih spektralnih pojaseva) (Iost Filho i sur., 2019.).

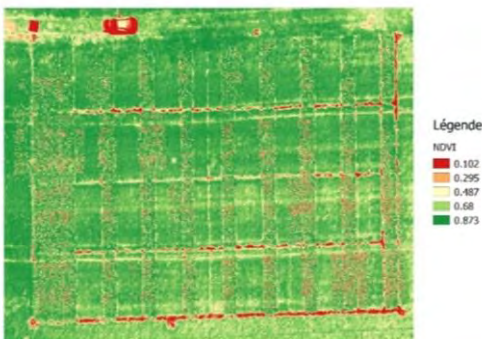
Senzori se prema načinu snimanja dijele na aktivne i pasivne. Aktivni senzori šalju energiju objektu te bilježe dio energije koja se od objekta reflektira, dok se u pasivnim sensorima koristi sunčevo zračenje koje objekti apsorbiraju, a dio reflektiraju. Taj dio reflektirajućeg zračenja senzori imaju sposobnost registrirati (Vela i sur., 2017.).

Rezultati dobiveni multispektralnim snimanjima prikazuju se u obliku vegetacijskih indeksa (Planet IX, 2022.), a računaju se s pomoću računalnih programa (Lugonja i Krušelj, 2021.). Klorofil, pigment sadržan u listovima, snažno apsorbira vidljivu svjetlost (400-700nm) koju koristi za fotosintetsku aktivnost. Stanična struktura lista, s druge strane, snažno reflektira zračenje u bliskom infracrvenom dijelu spektra (700 – 1300 nm) (Skendžić, 2022). Razlike u refleksiji i apsorpciji energije zračenja u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra dovele su do nastanka vegetacijskih indeksa (Skendžić, 2022.). Više je parametara koji utječu na formiranje vegetacijskih indeksa. Prema Vela i sur. (2017.) to su količine fotosintetski aktivne površine, udio klorofila i biomase i geografski faktori. Vegetacijski se indeksi koriste kao podloga za odlučivanje o potrebi primjene hraniva, sredstava za zaštitu bilja i vode za navodnjavanje, kao i o izvođenju određenih agrotehničkih mjera u poljoprivrednoj proizvodnji (Lugonja i Krušelj, 2021.).

Vegetacijski indeks normalizirane razlike (eng. Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) najčešće je korišten indeks za obradu multispektralnih podataka. (Acharya i Thapa, 2015.). Primjena ovog indeksa već je niz godina standard u razmatranju zdravstvenog stanja usjeva, koji poljoprivrednim proizvođačima ukazuje na područja na koja bi trebali obratiti više pozornosti (Herrick, 2017.). Njegova je primjena u detekciji nedostatka dušika, predikciji prinosa i biomase, detekciji bolesti i štetnika te u optimizaciji navodnjavanja (Stone i sur., 2016; Cabrera-Bosquet i sur., Skendžić i sur., 2023).

Formula za izračun NDVI indeksa glasi:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$



Vrijednosti NDVI-a u rasponu su od minus jedan (-1) do plus jedan (+1). Prikaz rezultata dobivenih primjenom normaliziranog indeksa vegetacije vidljiv je na slici 5.

Slika 5. Prikaz raspodjele Vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (NDVI)

Izvor: <https://www.hiphen-plant.com/vegetation-index/3582/>

Vrijednosti indeksa od 0,8 do 0,9 mikrometara ukazuju na bujnu vegetaciju, dok negativne vrijednosti ukazuju na vodu, snijeg i oblake, a vrijednosti oko 0 na golo tlo i kamen (Vela i sur., 2017.).

Budući da na ovaj indeks mogu utjecati boja tla, sadržaj vode u tlu i biljkama, količina biomase, boja lišća i dr., Vukadinović (2016.) smatra da ga treba korigirati. Uz NDVI, koriste se i drugi vegetacijski indeksi, kao što su Vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI), Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (GNDVI), Vegetacijski indeks prilagođen tlu (SAVI) i Poboljšani vegetacijski indeks (EVI) (Vela i sur., 2017.).

Što se tiče izvedbe, dronovi mogu biti s nepokretnim krilima 'Fixed Wing' ili s pokretnim krilima 'Rotary Wing'. Dronovi s nepokretnim krilima mogu letjeti duže vremena većom brzinom, a neki od njih ne trebaju pistu za polijetanje ili slijetanje. Dronovi s pokretnim krilima polijeću i slijeću vertikalno, ali zbog kapaciteta baterija imaju kratak dolet (kratko se mogu zadržati u zraku) (Wójtowicz i sur., 2016.). Kod postavljanja opreme za snimanje na dronove, treba uzeti u obzir da masa instaliranog sustava smije iznositi od 20 do 30 % ukupne mase mikro ili mini drona (UAV) (Nebiker i sur., 2008.).

Daljinska istraživanja značajan su segment precizne poljoprivrede, a multispektralne i hiperspektralne snimke visoke rezolucije mogu biti značajan izvor informacija za procjenu prinosa kultura, za nadzor nad razvojem usjeva, kao i u identifikaciji potencijalnih problema koji se mogu pojaviti tijekom vegetacijske sezone (Yang i sur., 2013., Lugonja i Krušelj, 2021.).

MULTISPEKTRALNE KAMERE I NJIHOVA PRIMJENA U ZAŠTITI BILJA

Daljnijim razvojem tehnologije ostvaren je značajan napredak u razvoju naprednih i laganih multispektralnih senzora za korištenje na dronovima (Latif, 2018.). Odličan potencijal u procjeni biljnog zdravlja u poljoprivrednoj proizvodnji pokazuju lagani multispektralni senzori montirani na mikrodronove (Nebiker i sur., 2008.). Fotografije dobivene korištenjem multispektralnih kamera mogu biti vrlo korisne i upotrebljive (Planet IX, 2022.), a autori ističu značaj multispektralnih sustava snimanja u nadzoru usjeva u preciznoj poljoprivredi (Montes de Oca i sur., 2018.). Tako Honrado i sur. (2017.), na temelju istraživanja provedena na Filipinima, ističu da se korištenjem ovih sustava može unaprijediti nadzor i upravljanje regionalnom poljoprivrednom.

Sustav daljinskih istraživanja korištenjem dviju multispektralnih kamera, od kojih je jedna podešena na snimanje boja u vidljivu dijelu spektra (RGB), a druga na blisko infracrveno područje (NIR), ima velik potencijal za procjenu stanja usjeva, za detekciju štetnika, bolesti i ostalih svojstava značajnih za poljoprivrednu proizvodnju (Yang i sur., 2014.). Prednost kamera podešenih na snimanje u blisko infracrvenom području (NIR) je ta što imaju sposobnost rane detekcije biljnog stresa pa poljoprivredni proizvođači mogu na vrijeme reagirati i spriječiti nastanak većih šteta (Herrick, 2017.).

Osim korištenja pri daljinskim istraživanjima, ElMasry i sur. (2019.) ističu da multispektralni senzori mogu pružiti i podatke o fizikalno-kemijskim svojstvima sjemena, o fiziološkim parametrima, identifikaciju i klasifikaciju sorata te da se mogu koristiti u otkrivanju oštećenja, napada štetnika i u utvrđivanju zdravlja sjemena, kao i da mogu biti korišteni u kontroli i sortiranju sjemena.

Prema Ampatzidis i Partel (2019.) postignuti su odlični rezultati i velika točnost podataka dobivenih korištenjem multispektralnog snimanja i umjetne inteligencije kod detekcije, brojanja, kategorizacije stabala citrusa (agruma) na osnovu veličine krošnje, kao i kod utvrđivanja zdravlja biljaka te ocjene sorata i podloga.

Istraživanje provedeno u Sjedinjenim Američkim Državama pokazuje dobre rezultate u detekciji lisnih uši (*Aphis glycines*, Matsumura 1917) na soji (*Glycine max*, (L.) Merrill) korištenjem multispektralnih kamera postavljenih na bespilotnim letjelicama (Marston i sur., 2019.).

Dobar potencijal pokazuju i jeftiniji multispektralni sustavi korišteni u daljinskom istraživanju, korištenjem dronova, u praćenju pojave ramularijske pjegavosti (*Ramularia collo-cygn*, B. Sutton i J.M. Waller) na pamuku (Xavier i sur., 2019.), a multispektralne i digitalne kamere također su koristan alat i u detekciji bolesti riže uzrokovanom gljivičnom vrstom (*Rhizoctonia solani*, Kuhn) (Zhang i sur., 2018.). Studija provedena u Hong Kongu pokazuje da se daljinskim istraživanjem, korištenjem dronova opremljenih multispektralnim sensorima, mogu dobiti odlični rezultati u determinaciji bolesti salate (Ren i sur., 2017.). Također se dobri rezultati mogu dobiti i u procjeni šteta nastalih tijekom zime na uljanoj repici (Jełowicki i sur., 2020.). U svom radu, Kos i sur. (2021.) iznose karakteristike analize RGB-a i hiperspektralnih slika (HSY) u kontekstu zaštite bilja. Naglašavaju da se ove metode primarno koriste za detekciju biljnih bolesti i korova, a manje se koriste u predviđanju pojave štetnika. Metode analize vizualnih podataka variraju ovisno o vrsti istraživanja, no u posljednje vrijeme ističe se sve veća primjena umjetnih neuronskih mreža (ANN) i konvolucijskih neuronskih mreža (CNN) u ovom području (Kos i sur., 2021.).

Istraživanje koje su u Sjedinjenim Američkim Državama proveli Elliot i sur. (2007.) pokazalo je učinkovitost relativno jeftinih multispektralnih sustava u otkrivanju stresa kod ozime pšenice uzrokovana napadom ruske pšenične lisne uši (*Diuraphis noxia*, Mordviko 1913) te razlikovanja tih simptoma od simptoma nastalih djelovanjem ostalim stresora, kojima su biljke bile izložene. Na tržištu postoji više proizvođača i više vrsta multispektralnih kamera. Dobre rezultate pri daljinskim istraživanjima u kontroli korova, kao i u detekciji šteta od kukaca ima sustav MS 4100 (Huang i sur., 2008.). Dobar uspjeh u preciznoj poljoprivredi pokazuju i multispektralne kamere Micasense Red-Edge (slika 2), Parrot Sekoia (slika 3) (Oljača i sur., 2018.) te multispektralna kamera integrirana na dron DJI Phantom 4 Multispectral (slika 4) (Dronovi shop, 2022.).



Slika 2. Multispektralna kamera MicaSense RedEdge

Izvor: <https://coptrz.com/a-guide-to-multispectral-cameras-for-uavs/>

Ovo je jedna od naprednijih multispektralnih kamera, a može se integrirati na većinu dronova. Snima u pet pojaseva (plavi, zeleni, crveni, crveni rubni i bliski infracrveni), a dobiveni se podatci mogu koristiti za analizu usjeva, kao i za donošenje odluka o vremenu žetve (COPTRZ, 2022.).



Slika 3. Multispektralna kamera Parrot Sequoia

Izvor: <https://coptrz.com/a-guide-to-multispectral-cameras-for-uavs/>

Parrot Sequoia kamera je opremljena multispektralnim i sunčanim senzorom, posebno dizajnirana za korištenje na svim vrstama dronova. Pruža točne podatke o zdravstvenom stanju biljaka i omogućuje optimalnu primjenu gnojiva i sredstava za zaštitu bilja (COPTRZ, 2022.).



Slika 4. Dron s integriranom multispektralnom kamerom DJI P4 Multispectral

Izvor: <https://frontierprecision.com/product/dji-p4-multispectral/>

Ova multispektralna kamera postavljena je na dron, pa s njim čini cjelinu. Sastoji se od šest kamera koje snimaju u RGB-u, crvenom rubnom i bliskom infracrvenom području (DJI, 2022.).

Cijene kamera značajno variraju. Tako su ADC multispektralne kamere, koje snimaju u crvenom i bliskom infracrvenom području, pogodne za nadzor zdravstvenog stanja usjeva (koriste se postavljene na dronovima) jeftinije, s cijenom od oko 5.000,00 dolara (Huang i sur., 2010.). Isti autori iznose podatak da je cijena geoprostorne multispektralne kamere MS 4100 oko 20.000,00 dolara, dok sustav kamera baziran na tri kamere visoke kvalitete (TTAMRASS - Texas Tech Airborne Multispectral Remote Sensing System), koje pokrivaju vidljivi i NIR spektar te toplinske infracrvene valove koštaju oko 80.000,00 dolara. Ovi sustavi multispektralnih kamera, zbog veće mase, nisu pogodni za montažu na dronove, već se postavljaju na zrakoplove.

ZAKLJUČAK

Daljinska istraživanja u preciznoj poljoprivredi, korištenjem multispektralnih kamera, kao i ostalih visokosofisticiranih sustava (GPS-a, GIS-a, hiperspektralnih i LiDAR senzora i sl. opreme) koristan su alat u praćenju vegetacije i procjeni zdravstvenog stanja usjeva, na temelju kojih poljoprivredni proizvođači mogu donositi odluke o provedbi zahvata zaštite, prihrane, njege i žetve uzgajanih kultura. Najbolji se rezultati snimanja, zbog kvalitete snimaka, kao i brzine dostupnosti rezultata snimanja, postižu korištenjem multispektralnih kamera postavljenih na dronove. Dronovi se sve više koriste jer su funkcionalniji i dostupniji od ostalih oblika daljinskih istraživanja. Na tržištu ima veći broj proizvođača i dostupno je više vrsta multispektralnih kamera. Zbog svoje izvedbe, koja dopušta postavljanje na dron, kao i zbog prikupljanja snimaka visoke rezolucije, dobrima su se pokazale kamere Micasense Red-Edge i Parrot Sekuoia te multispektralna kamera integrirana na dron DJI Phantom 4 Multispectral. Rezultati multispektralnih snimanja prikazuju se u obliku vegetacijskih indeksa, a udjeli fotosintetski aktivne zelene površine, klorofila i biomase neki su od parametara koji utječu na njihovo formiranje. Najznačajniji i najčešće korišteni vegetacijski indeks je NDVI – Vegetacijski indeks normalizirane razlike, ali se zbog veće preciznosti i pouzdanosti uz korištenje ovog indeksa, koriste i neki drugi, kao što su NDWI, GNDVI, EVI i SAVI. Mogućnosti uporabe multispektralnih kamera u zaštiti bilja doista su velike. Provedena istraživanja pokazuju velik potencijal i učinkovitost ovih kamera u procjeni zdravstvenog stanja usjeva, u ranoj detekciji štetnika, biljnih bolesti i korova. Uporabom tih sustava smanjuje se vrijeme otkrivanja biljaka izloženih stresu, pa poljoprivredni proizvođači mogu na vrijeme reagirati i spriječiti eventualan nastanak većih šteta.

POSSIBILITY OF USING MULTISPECTRAL CAMERAS IN AGRICULTURE

SUMMARY

Precision agriculture is about using modern technologies to provide farmers with as much real-time information as possible, based on which they can make timely decisions about the care and protection of agricultural crops. To this end, remote sensing methods have been developed using GPS, GIS, multispectral and RGB cameras and other similar high-tech equipment. Remote sensing is conducted using satellites, airplanes, helicopters or drones, and ground-based platforms. The use of drones equipped with multispectral cameras that capture both the part of the spectrum visible to the human eye (VIS, 400-700 nm) and the invisible, i.e., infrared part of the spectrum (NIR, 700-1,300 nm), is becoming increasingly common in remote sensing research. Vegetation reflects most of the radiation it receives in the green (visible) part of the electromagnetic spectrum and absorbs much of the infrared energy, while dry land absorbs large amounts of visible light but reflects much of the near-infrared (NIR) spectrum. Images captured by two multispectral cameras (RGB and NIR) offer great potential for assessing crop condition, detecting pests, diseases and weeds, and other features important to agricultural production. There are several manufacturers and different types of multispectral cameras on the market, with a wide price range depending on their features, so high-tech cameras can cost over \$80,000.00.

Keywords: drones (UAV), multispectral cameras, precision agriculture, remote sensing

LITERATURA

Acharya, M.C., Thapa, R.B. (2015.). Remote sensing and its application in agricultural pest management. *The Journal of Agriculture and Environment*, 16, 43-61.

Ampatzidis, Y., & Partel, V. (2019.). UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence. *Remote Sensing*, 11(4), 410.

Bernašek, A., Žiljak Vujić, J., & Uglješić, V. (2014.). Vizualni i infracrveni spektar za bojila digitalnog tiska. *Polytechnic and design*, 2(2), 163-168.

Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A., Bort, J., Nogués, S., & Araus, J. (2011.). NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*, 39(1), 147-159.

COPTRZ (2022). A Guide to Multispectral Cameras for UAVs. Dostupno na: <https://coptrz.com/a-guide-to-multispectral-cameras-for-uavs/> (pristupljeno: 12. 6. 2022.)

Deleon, L., Brewer, M. J., Esquivel, I. L., & Halcomb, J. (2017.). Use of a geographic information system to produce pest monitoring maps for south Texas cotton and sorghum land managers. *Crop Protection*, 101, 50-57.

DJI, (2022.). P4 Multispectra. Plant Intelligence for Targeted Action, Dostupno na: <https://www.dji.com/hr/p4-multispectral> (pristupljeno: 12.06.2022.)

Dronovi shop (2022.). DJI Phantom 4 Multispectral, Dostupno na: <https://www.dronovishop.hr/dji-phantom-4-multispectral/> (pristupljeno: 6. 6. 2022.)

Dyck, V. A., Hendrichs, J., & Robinson, A. S. (2021.). Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management (p. 1216.). Taylor & Francis.

Elliott, N., Mirik, M., Yang, Z., Dvorak, T., Rao, M., Michels, J., ... & Royer, T. (2007.). Airborne multi-spectral remote sensing of russian wheat aphid injury to wheat. *Southwestern Entomologist*, 32(4), 213-219.

ElMasry, G., Mandour, N., Al-Rejaie, S., Belin, E., & Rousseau, D. (2019.). Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring—An overview. *Sensors*, 19(5), 1090.

Gajski, D. (2007). Osnove laserskog skeniranja iz zraka. *Ekscentar*, (10), 16-22.

GPS. Gov (2021.). Agriculture. Dostupno na: <https://www.gps.gov/applications/agriculture/#:~:text=GPS%20allows%20farmers%20to%20accurately,weed%20infestations%20in%20the%20field.> (pristupljeno: 9. 6. 2022.)

Growers (2022.). Variable Rate Technology: What is it and What Are the Benefits? Dostupno na: <https://growers.ag/blog/variable-rate-technology-what-is-it-and-what-are-the-benefits/> (pristupljeno: 9. 6. 2022.)

Hatfield, J. L., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., & Walthall, C. L. (2008.). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 100, S-117.

Herrick, S. (2017.). NDVI vs. False NDVI: What's better for analyzing crop health? Dostupno na: <https://botlink.com/blog/ndvi-vs-false-ndvi-whats-better-for-analyzing-crop-health> (pristupljeno: 6. 6. 2022.)

Honrado, J. L. E., Solpico, D. B., Favila, C. M., Tongson, E., Tangonan, G. L., & Libatique, N. J. (2017, October). UAV imaging with low-cost multispectral imaging system for precision agriculture applications. In 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 1-7). IEEE.

Huang, Y., Thomson, S.J., Brand, H.J., Reddy, K.N. (2016.). Development and evaluation of low-altitude remote sensing systems for crop production management. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 9(4): 1 – 11.

Huang, Y., Lan, Y., Hoffmann, W.C. (2008.). Use of Airborne Multi-Spectral Imagery in Pest Management Systems. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript IT 07 010. Vol. X.

Huang, Y., Thomson, S. J., Lan, Y., & Maas, S. J. (2010.). Multispectral imaging systems for airborne remote sensing to support agricultural production management. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 50-62.

Ilić, M. (2019.). Dronovi u poljoprivredi—IT podrška, zakonske regulative i prednosti upotrebe. In *Sinteza 2019-International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research* (pp. 394-400). Singidunum University.

Iost Filho, F. H., Heldens, W. B., Kong, Z., & de Lange, E. S. (2020.). Drones: innovative technology for use in precision pest management. *Journal of economic entomology*, 113(1), 1-25.

Jełowicki, Ł., Sosnowicz, K., Ostrowski, W., Osińska-Skotak, K., & Bakula, K. (2020.). Evaluation of rapeseed winter crop damage using UAV-based multispectral imagery. *Remote Sensing*, 12(16), 2618.

Jurišić, M., Šumanovac, L., Zimmer, D., & Barač, Ž. (2015.). Tehnički i tehnološki aspekti pri zaštiti bilja u sustavu precizne poljoprivrede. *Poljoprivreda*, 21(1), 75-81.

Kos, T., Šikić, Z., Zdrilić, A., Marcelić, Š., Gašparović Pinto, A., Zorica, M., Franin, K. & Kolega, Š. (2021.) Tehnike analize vizualnih podataka za rano otkrivanje i klasifikaciju štetnih organizama i biljnog stresa. *Fragmenta phytomedica*, 35 (7), 34-58.

Kerr, A., Rafuse, H., Sparkes, G., Hinchey, J., & Sandeman, H. (2011.). Visible/infrared spectroscopy (VIRS) as a research tool in economic geology: background and pilot studies from Newfoundland and Labrador. *Geological Survey, Report*, 11, 145-166.

Khaliq, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., & Gay, P. (2019.). Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. *Remote Sensing*, 11(4), 436.

Klaić, B. (1988.). *Rječnik stranih riječi*. Zagreb, Nakladni zavod Matice hrvatske

Mani, P. K., Mandal, A., Biswas, S., Sarkar, B., Mitran, T., & Meena, R. S. (2021.). Remote sensing and geographic information system: a tool for precision farming. *Geospatial Technologies for Crops and Soils*, 49-111.

Lan, Y., & Chen, S. (2018.). Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 1(1).

Lan, Y., Huang, Y., Martin, D. E., & Hoffmann, W. C. (2009.). Development of an airborne remote sensing system for crop pest management: system integration and verification. *Applied engineering in agriculture*, 25(4), 607-615.

Latif, M. A. (2018.). An agricultural perspective on flying sensors: State of the art, challenges, and future directions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 6(4), 10-22.

Lemić, D., Radanović, R., Orešković, M., Genda, M., Kapor, K., Virić Gašparić, H. (2021.). Dronovi kao moderan alat za suvremenu poljoprivredu. *Glasiilo biljne zaštite*, 21 (4): 476-491.

Lugonja, D., Krušelj, I. (2021.). Primjena dronova i GIS-a u preciznoj poljoprivredi, Dostupno na: <https://www.savjetodavna.hr/2021/09/13/primena-dronova-i-gis-a-u-preciznoj-poljoprivredi/> (pristupljeno: 1. 6. 2022.)

Marston, Z.P.D., Cira, T.M., Hodgson, E.W., Knight, J.F., MacRae, I.V., Koch, R.L. (2019.). Detection of Stress Induced by Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Using Multispectral Imagery from Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Economic Entomology*, 20(20): 1-8.

De Oca, A. M., Arreola, L., Flores, A., Sanchez, J., & Flores, G. (2018, June). Low-cost multispectral imaging system for crop monitoring. In 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (pp. 443-451). IEEE.

Moses-Gonzales, N., & Brewer, M. J. (2021.). A special collection: drones to improve insect pest management. *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 1853-1856.

Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., & Oesch, D. (2008.). A light-weight multispectral sensor for micro UAV — Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1), 1193-1200.

.....

Oljača, V.M., Pajić, M., Gligorović, K., Dražić, M., Zlatanović, I., Dimitrijević, A., Miodragović, R., Mileusnić, Z., Radojević, R., Živković, M., Petrović, D., Radivojević, D., Urošević, M., Topisirović, G., Radičević, B., Ećim, O., Balać, N. (2018.). Dizajn, klasifikacija, perspektive i moguća aplikacija dronova u poljoprivredi Srbije. *Poljoprivredna tehnika*, 43(4): 29-56.

Planet IX (2022.). Multispektralno snimanje. Dostupno na: <https://planetix.hr/usluge/snimanje-iz-zraka-automatska-obrađa-snimaka/> (pristupljeno: 30. 5. 2022.)

Quemada, M., Gabriel, J.L., Zarco-Tejada, P. (2014.). Airborne Hyperspectral Images and Ground-Level Optical Sensors As Assessment Tools for Maize Nitrogen Fertilization. *Remote Sens.*, 6: 2940-2962.

Rapčan, I., Jurišić, M., Plaščak, I., Barač, Ž., Zimmer, D., Bogнар, M. (2018.). Gnojidba pšenice u sustavu precizne poljoprivrede. *Agronomski glasnik*, 3, 163-172.

Ren, D.D.W., Tripathi, S., Li, L.K.B. (2017.). Low-cost multispectral imaging for remote sensing of lettuce health. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1)

Sa, I., Popović, M., Khanna, R., Chen, Z., Lottes, P., Liebisch, F., Knežević, M., Marković, I., Miklić, D., Petrović, I., Aldoma, A., Nieto, J., Stachniss, C., Cremers, D., Siegwart, R. (2018). WeedMap: A large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming. *Remote Sensing*, 10(9), 1423.

Shendryk, Y., Sofonia, J., Garrard, R., Rist, Y., Skocaj, D., & Thorburn, P. (2020.). Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92, 102177.

Šito, S., Kovačić, F., Krznarić, K., Bilandžija, N., Džaja, V., Šket, B., & Grubor, M. (2016.). Primjena bespilotnih sustava u hortikulturnoj proizvodnji. In *Proceedings: 51st croatian and 11th international symposium on agriculture*. Opatija, Croatia (pp. 507-511).

Skendžić, S. (2022.). Vegetacijski indeksi—alati za procjenu stanja usjeva pšenice. *Glasilo biljne zaštite*, 22(3), 329-344.

Skendžić, S., Zovko, M., Lešić, V., Pajač Živković, I., & Lemić, D. (2023.). Detection and Evaluation of Environmental Stress in Winter Wheat Using Remote and Proximal Sensing Methods and Vegetation Indices—A Review. *Diversity*, 15(4), 481.

Stone, K. C., Bauer, P. J., & Sigua, G. C. (2016.). Irrigation management using an expert system, soil water potentials, and vegetative indices for spatial applications. *Transactions of the ASABE*, 59(3), 941-948.

Tayari, E., Jamshid, A.R., Goodarzi, H.R. (2015.). Role of GPS and GIS in precision agriculture. *Journal of Scientific Research and Development*, 2 (3): 157-162.

Vela, E., Medved, I., & Miljković, V. (2017). Geostatistička analiza vegetacijskih indeksa na šumskom ekosustavu Česma. *Geodetski list*, 1(17), 25-40.

Vukadinović, V. (2016.). Dronovi u poljoprivredi. Dostupno na: http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2016.pdf (pristupljeno: 29. 5. 2022.)

Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., Piekarczyk, J. (2016.). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11 (1): 31-50.

Xavier, T. W., Souto, R. N., Statella, T., Galbieri, R., Santos, E. S., S. Suli, G., & Zeilhofer, P. (2019.). Identification of *Ramularia* leaf blight cotton disease infection levels by multispectral, multiscale UAV imagery. *Drones*, 3(2), 33.

Yang, C., Everitt, J. H., Du, Q., Luo, B., & Chanussot, J. (2012.). Using high-resolution airborne and satellite imagery to assess crop growth and yield variability for precision agriculture. *Proceedings of the IEEE*, 101(3), 582-592.

Yang, C., Westbrook, J. K., Suh, C. P. C., Martin, D. E., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Thomson, S. J., Bagwell, R. D., Fritz, B. K., Kemerait, R. C., Roskopf, E. N., & Goolsby, J. A. An airborne multispectral imaging system based on two consumer-grade cameras for agricultural remote sensing. *Remote Sensing*, 6(6), 5257-5278.

Zhang, D., Zhou, X., Zhang, J., Lan, Y., Xu, C., & Liang, D. (2018.). Detection of rice sheath blight using an unmanned aerial system with high-resolution color and multispectral imaging. *PloS one*, 13(5), e0187470.

Pregledni rad