

Darija LEMIĆ, Roman RADANOVIĆ, Matej OREŠKOVIĆ, Matej GENDA, Krešo KAPOR, Helena VIRIĆ GAŠPARIĆ

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

DRONOVI KAO MODERAN ALAT ZA SUVREMENU POLJOPRIVREDU

SAŽETAK

Razvojem novih tehnologija sve značajnijim postaje korištenje bespilotnih letjelica (dronova) u poljoprivredi. Dronovi su učinkovit alat koji pridonosi razvoju precizne poljoprivrede. Uporaba im je višestruka zbog mogućnosti nadogradnje raznim uređajima, poput multispektralnih i RGB kamera, GPS uređaja i sl. Najčešće se upotrebljavaju dronovi s nepokretnim i s pokretnim krilima, a osnovna razlika temelji se na brzini i vremenu trajanja leta. Dronovi se u poljoprivredi koriste za mapiranje terena, praćenje sklopa, navodnjavanje, prihranu, detekciju štetnih organizama i lokaliziranu primjenu kemijskih ili bioloških sredstava za zaštitu bilja. U Hrvatskoj je korištenje dronova regulirano „Pravilnikom o sustavima bespilotnih zrakoplova“ koji propisuje uvjete za sigurnu uporabu dronova operativne mase do 150 kg. Uporaba dronova u suvremenoj poljoprivredi smanjit će potrebu za fizičkim radom u polju, što će ujedno pridonijeti modernizaciji poljoprivredne proizvodnje u skladu sa sve većim zahtjevima tržišta.

Ključne riječi: *high-tech*, kamere, precizna poljoprivreda, senzori, suzbijanje štetnika, UAV

UVOD

Dronovi, odnosno bespilotne letjelice (UAVs- Unmanned Aerial Vehicles), mogu kontinuirano letjeti u različitim uvjetima s unaprijed programiranim planom leta ili s pomoću daljinskog upravljanja (Bento, 2008.). Koriste se za razna istraživanja u područjima civilne i vojne namjene, a njihova efikasnost pokazala se iznimno uspješnom i u poljoprivredi (Vukadinović, 2016.). Klasificiraju se prema različitim performansama, a neki od parametara su masa, raspon krila, maksimalna visina leta, brzina i sl. (Oljača i sur., 2018.). Osnovna razlika među dronovima temelji se na brzini leta te njegovu vremenskom trajanju, pri čemu se najviše koriste dronovi s nepokretnim (slika 1) i pokretnim krilima (slika 2). Dronovi s nepokretnim krilima mogu se ispuštati iz

ruku, no za slijetanje trebaju puno veću površinu. Glavna im je prednost duže vrijeme leta i mogućnost snimanja velikih površina. Dronovi s pokretnim krilima polijeću isključivo s tla, a karakteristika im je mogućnost nošenja tereta, različitih kamera i opreme za tretiranje usjeva, zbog čega imaju praktičnu primjenu u istraživanju i suzbijanju štetnih organizama (Ilić i sur., 2019.).



Slika 1. Dron s nepokretnim krilima
Izvor:

<https://www.directindustry.com>



Slika 2. Dron s pokretnim krilima
Izvor: <https://files.precisionag.com>

Precizna poljoprivredna tehnologija (PAT) omogućuje povećanje produktivnosti gospodarstava poboljšavanjem prinosa, istodobno smanjujući troškove bez negativnog utjecaja na okoliš (Tey i Brindal, 2012.; Michels i sur., 2020.). U PAT-u se za istraživanje koriste zrakoplovi i sateliti koji prikupljaju informacije snimanjem i obradom odbijene ili emitirane energije od tla, vode ili usjeva (Usha i Singh, 2013.; Michels i sur., 2020.). Nedostatak je zrakoplovnih i satelitskih snimaka slaba prilagodljivost i sporost obrade, a čest problem stvaraju objekti i/ili pojave koje zaklanjaju snimanu površinu (oblaci) pa su informacije nepotpune (Puig i sur., 2018.; Michels i sur., 2020.).

Precizna poljoprivreda (PA) temelji se na korištenju podataka iz mnogobrojnih izvora koji proizvođaču omogućava učinkovito upravljanje gospodarstvom te donošenje ključnih odluka u najkraćem vremenu (Candiago i sur., 2015.; Michels i sur., 2020.). Njezin je glavni cilj prilagoditi poljoprivrednu praksu potrebama uzgajane kulture prikupljanjem točnih informacija u pravo vrijeme o stanju usjeva, tla i okoliša (Puig i sur., 2018.; Michels i sur., 2020.). U preciznoj poljoprivredi informacija u pravo vrijeme o uvjetima rasta biljaka unutar polja važan je alat za provedbu okolišno prihvatljivih a ujedno učinkovitih poljoprivrednih praksa (Houborg i McCabe, 2016.). Dronovi, kao jedan od alata u PA-u donose veliku funkcionalnost, omogućuju bolju prostornu i spektralnu rezoluciju te su financijski isplativiji (Candiago i sur., 2015.; Europska komisija, 2018.; Puig i sur., 2018.; Michels i sur., 2020.). Međutim, dronovi još uvijek nisu široko zastupljeni u poljoprivrednoj uporabi (Bramley i Ouzman, 2019.; Michels i sur., 2020.).

OPREMA DRONOVA

Današnji su dronovi visokotehnološki uređaji, a uz različite vrste kamera neki nose i radare (Vukadinović, 2016.). Standardna oprema dronova obuhvaća digitalne kamere s multispektralnim sensorima i GPS uređaje, a skuplji modeli imaju i infracrvene, hiperspektralne senzore, optičke radare (LIDAR - Light Detecting and Ranging) te 3D radare (SAR- Synthetic Aperture Radars). Cijena opreme i senzora varira ovisno o namjeni, od \$200 USD do preko \$50 000 USD (Oljača i sur., 2018.). Komercijalno korišteni dronovi u poljoprivredi većinom dolaze s računalnim programom koji analizira dobivene podatke (Vukadinović, 2016.).

Kamere

Glavni su ciljevi poljoprivrednih proizvođača poboljšanje kvalitete usjeva, povećanje prinosa, stvaranje optimalnih uvjeta za razvoj uzgajanih biljaka te ekonomično upravljanje proizvodnjom. S pomoću digitalnih kamera poljoprivrednici mogu na vrijeme detektirati i reagirati na štetu od štetnika, suše, oluje, poplave, divljači, itd. (Moskvitch, 2015.; Bogue, 2017.).

Dronovi opremljeni **multispektralnim** i **RGB kamerama** omogućavaju snimanje bliskog infracrvenog dijela elektromagnetskog spektra zračenja u odnosu na usjeve, bez negativnog utjecaja na usjeve (Daponte i sur., 2019.). Takve kamere s pomoću GPS-a pomažu detektirati folijarne simptome i distribucije bolesti (Oljača i sur., 2018.). **Termalne kamere** tvore sliku s pomoću infracrvenog zračenja (Schmeitz, 2020.) te pružaju uvid u apsorpciju pesticida, stanje klorofila te nedostatak vode. RGB kamere koriste se i za snimanje **digitalnog modela terena (DTM)** i **digitalnog modela reljefa (DSM)** (Daponte i sur., 2019.). Prema Pribičević i Medak (2003.) DTM je prikaz snimljena terena u digitalnom i trodimenzionalnom obliku (**3D**). Digitalni model reljefa (DSM) trodimenzionalni je prikaz koji uključuje površinu tla, vegetaciju i umjetne predmete. Koristan je za planiranje, krajobrazno modeliranje, modeliranje gradova, vizualizaciju snimane površine (PT Geopranata Cipta, 2017.). Detaljan prikaz vrsta kamera prikazan je tablicom 1.

Tablica 1. Kamere kao osnovna oprema dronova za primjenu u poljoprivredi

Vrsta kamera	Primjena	Ograničenja
Digitalne kamere (RGB)	Vizualna svojstva biljke (boja biljne mase, visina)	Limitirane samo na vizualni dio spektra.
Termalne kamere	Otpornost biljke na sušu i biljne bolesti	Okolišni čimbenici utječu na učinkovitost, male varijacije temperature ne mogu se detektirati. Visoko razlučive kamere su teške.
3D kamere	Visina biljke, gustoća sklopa (gustoća biljne mase)	Slaba preciznost, primjena je u polju ograničena.

Prema Daponte i sur. (2019.) osim DTM-a i DSM-a u primjeni dronova veliku ulogu ima i **prostorna razlučivost (GSD)** (eng. *Ground sample distance*).

Prostorna razlučivost podrazumijeva veličinu svake pojedine točke (eng. *pixel*) od koje se sastoji snimka, odnosno najmanja distanca zabilježena na tlu. Na tlu ta veličina točke znači određenu veličinu u stvarnosti (Bušljeta-Vidović, 2006.). Što je niži GSD, to je manji piksel slike, a karta je detaljnija. Što nam to govori u praksi? Previsoko letenje povećava GSD i smanjuje razlučivost slike pa, primjerice, nije moguće dobiti točan podatak o broju biljaka ako se promatra sklop. S druge strane, nizak let osigurava izrazito detaljne informacije s pomoću kojih se može dobiti podroban uvid u stanje usjeva, no pojavljuje se određeni rizik od pojave mutnih slika za mutna i povećana vremena leta i obrade podataka zbog većeg broja slika za obradu. GSD između 6 i 10 cm zadovoljavajući je za praćenje zdravstvenog stanja usjeva, vektoriziranje mikroparcela u svrhu definiranja granica, mjerenje visine biljaka, praćenje cvatnje, i sl. (Delair, 2020.).

Senzori

Tri najvažnija i najviše korištena senzora su termalni, multispektralni i hiperspektralni. **Termalni senzori** mjere relativnu površinsku temperaturu objekata (Hatcher, 2020.). U poljoprivredi se koriste za stjecanje uvida u toplinski stres, iskorištavanje vode te metabolizma biljke (Schmeitz, 2020.). **Multispektralni senzori** skupljaju crvene, zelene i plave valne duljine svjetlosti (oku vidljiva valna duljina), kao i valne duljine koje padaju izvan vidljiva spektra (Hatcher, 2020.). U poljoprivredi se ti senzori mogu koristiti za učinkovitije praćenje usjeva s podacima na razini parcele: o broju biljaka, visini, vigoru i lisnoj površini (Schmeitz, 2020.). **Hiperspektralni senzori** prikupljaju podatke kao niz uskih traka valne duljine koje pružaju visoku razinu performansi u spektralnoj i radiometrijskoj preciznosti (San Souci, 2020.). Koriste se u poljoprivredi za prevenciju gubitka prinosa ranom detekcijom i identifikacijom bolesti (Schmeitz, 2020.). Tim se sensorima mogu uočiti ljudskom oku nevidljive promjene optičkih svojstava biljne mase, i to ih čini skupljima u odnosu na prethodna dva. U skuplju opremu ubrajaju se i optički radari koji služe za izračun visine i volumena biljke (LIDAR - Light Detecting and Ranging) (Oljača i sur., 2018.). Sonari se koriste za mapiranje terena, no češće su dodatak podvodnim dronovima. Kod klasičnih dronova teško je postići pouzdan rad senzora tijekom leta zbog količine turbulencije vjetra kroz koju ultrazvučni val mora proći (MaxBotix Inc., 2020.). Detaljan opis senzora prikazan je tablicom 2.

Tablica 2. Vrste senzora za dronove (preuzeto iz Sankaran i sur., 2015.)

Vrsta senzora	Primjena	Ograničenja
Multispektralni	Manjak mikro/makro nutrijenata, suša, biljne bolesti	Limitiran na manji dio nevidljiva spektra (uz vidljivi spektra).
Hiperspektralni	Stres biljke, kvaliteta proizvoda, preventiva	Procesiranje slika je zahtjevno. Oprema je jako skupa.

LIDAR	Precizan izračun visine i volumena biljke	Osjetljiva na male varijacije u duljini puta lasera.
Sonar	Mapiranje, gustoća sklopa, digitalno potpomognuta aplikacija pesticida ili gnojiva	Osjetljiv na pozadinsku buku. Obrađuje manji broj uzoraka od LIDAR senzora

Geoinformacijski sustavi (eng. *Geographic Information System*)

Geoinformacijski sustavi (GIS) koriste se u građevinarstvu, trgovini nekretninama, poljoprivredi, javnom zdravstvu te brojnim drugim djelatnostima i sve više zamjenjuje analogne karte. S pomoću visokorezolucijskih kamera dronovi mogu prikupiti velik broj podataka, a GIS sustav te podatke obrađuje i grafički prikazuje, što omogućava olakšano praćenje stanja usjeva (Aerial applications, 2019.). U GIS-u mogu se organizirati podatci u posebne tematske slojeve, tako da korisnik može pregledati podatke koji su potrebni isključivo za obavljanje nekog konkretnog zadatka (Pribičević i Medak, 2003.).

Globalni sustav pozicioniranja (eng. *Global Positioning System (GPS)*)

Dron u sebi ima ugrađene kamere i GPS te relativno brzo može snimiti stanje terena. Podatci prikupljeni s točne lokacije u usjevu omogućuju vlasniku poljoprivrednog zemljišta jasniji uvid u stanje te omogućuje brzu reakciju kojom se može spriječiti propadanje usjeva ako je takva reakcija potrebna (Wingtra, 2020.). Mapiranje zemljišta obrađuje se s pomoću alata iz GIS-a koji je nezaobilazan u modernoj industriji. Nakon mapiranja zemljišta poljoprivrednici mogu doznati i podatke o razmaku drveća, razmaku redova, bujnosti krošanja, i sl. (Wingtra, 2020.).

UPORABA DRONOVA U POLJOPRIVREDI

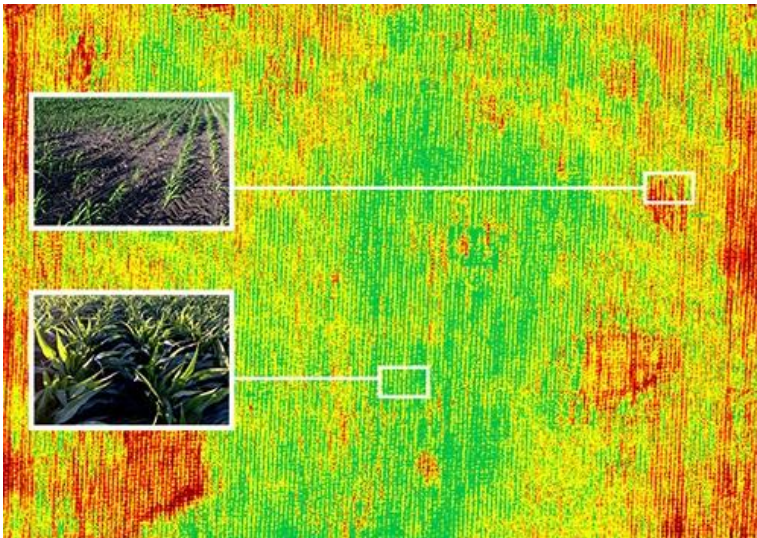
U poljoprivredi se često koriste mali dronovi opremljeni GPS-om i fotoopremom, pri čemu proizvođač u najkraćem razdoblju dobiva potanke informacije s precizno definirane lokacije (geografska širina i dužina). Primjena dronova u poljoprivredi usmjerena je na kartiranje proizvodnog područja gospodarstva, praćenje općeg stanja usjeva, štetnih organizama, utvrđivanju potrebe navodnjavanja, meliorativnih zahvata i suzbijanja štetnih organizama (Oljača i sur., 2018.).

Monitoring zdravstvenog stanja biljaka

Za monitoring zdravstvenog stanja biljaka najčešće se koristi **vegetacijski indeks biljke** (NDVI, eng. *Normalized Difference Vegetation Index*) koji je grafički indikator razlike između intenziteta svjetlosti koja je reflektirana pri različitim frekvencijama (Oljača i sur., 2018.). Za proces fotosinteze biljci je potrebna sunčeva svjetlost. Klorofil u listovima apsorbira vidljivu svjetlost od

0,4 do 0,7 μm kako bi je biljka mogla koristiti u fotosintezi. Stanice u listu reflektiraju blisku infracrvenu svjetlost od 0,7 do 1.1 μm . Vegetacijski indeks biljke mjeri zdravstveno stanje biljaka temeljeno na refleksiji svjetlosti. Dio svjetlosti biljka apsorbira, a dio reflektira (NASA Earth Observatory, 2000.). Indeks se bazira na skali boja, pri čemu zelena označava zdrav usjev, a crvena pojave nekih promjena kao što su propadanje usjeva ili pojava biljnih bolesti (Oljača i sur., 2018.).

U poljoprivredi se NDVI koristi za preciznu primjenu gnojiva, mjerenje biomase bilja te organizaciju kvalitetnijeg navodnjavanja. Na slici 3 prikazane su različite NDVI vrijednosti zdravstvenog stanja biljaka. Vlasnik na temelju takve snimke i NDVI vrijednosti može otkriti uzrok lošeg stanja usjeva (Sentera, 2020.).



Slika 3. Razlika u stanju usjeva u zelenom i crvenom spektru boja
Izvor slike: <https://www.croptacker.com>

NDVI se računa prema formuli (1):

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

RED je golom oku vidljiv dio spektra 400 do 700 nm, a NIR je oku nevidljiv dio spektra blizu infracrvenog 700 do 1300 nm (Vukadinović, 2016.).

Vrijednost vegetacijskog indeksa uvijek se kreće od -1 do 1. Kod negativne vrijednosti najčešće se radi o oblacima, pijesku, snijegu ili urbaniziranom području. Umjerene vrijednosti (0,2 do 0,3) pokazuju polja, livade i grmlje. Visoke vrijednosti (od 0,6 do 0,9) pokazuju gustu vegetaciju. Kada je biljka zdrava, klorofil snažno apsorbira vidljivu svjetlost, a stanice lista reflektiraju blisku infracrvenu svjetlost. Kada biljka počne propadati, počinje apsorbirati blisku infracrvenu svjetlost, što se vidi kao promjena u spektru. Monitoring usjeva tako poljoprivrednicima u danom trenutku pokazuje koji dijelovi njihovih

polja imaju gustu, umjerenu ili rijetku vegetaciju (Vela i sur., 2017.).

Prema Vukadinović (2016.) NDVI nije pouzdana i precizna metoda. Boja tla, bujnost biomase, količina vode u tlu i biljkama, atmosfersko zračenje i boja lišća samo su neki od čimbenika koji negativno utječu na preciznost metode. Određene metode poput NNI indeks-a (*Nutrition Nitrogen Index*) koriste se kao korektivni index jer zahtijevaju poznavanje stvarne i kritične koncentracije dušika u biljkama.

Monitoring evapotranspiracije i procjena potrebe za navodnjavanjem

Evapotranspiracija je proces isparavanja vode s površine tla, biljaka i životinja. Potencijalna evapotranspiracija (PET) je procjena maksimalnog isparavanja, a jednaka je količini vode koja bi mogla ispariti kada bi u tlu i biljkama bilo dovoljno vlage. Stvarna evapotranspiracija (ET) jednaka je PET-u ako ima dovoljno vode za isparavanje ili manja od PET-a kod nedostatka vode (Ferina, 2014.). Zbog klimatskih promjena, rasta broja stanovnika te nedostatka vode, procjena je evapotranspiracije u suvremenoj poljoprivredi jedan od važnijih parametara. Procjena evapotranspiracije pomaže kod procjene potrebe za navodnjavanjem usjeva (Oljača i sur., 2018.) ili detekciji pojedinih zona u kojima je potrebno navodnjavanje nekim od postojećih sustava (kap po kap, kišenje, itd.) (Oljača i sur., 2018.).

Daljinsko snimanje s pomoću satelitske tehnologije koristi se u svrhu procjene evapotranspiracije, no mala prostorna razlučivost satelitskih snimaka u rasponu od nekoliko metara ne daje precizne rezultate. Zbog toga su se i u ovu svrhu počeli sve više koristiti dronovi koji mogu snimiti slike visoke rezolucije na velikim površinama (NASA Earth Observatory, 2000.).

U monitoringu evapotranspiracije koristi se NDWI (eng. *Normalized Difference Water Index*). Uveden je 1996. godine, a označava sadržaj vlage u biljkama i u tlu.

Računa se prema formuli (2):

$$(2) \text{ NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

NIR označava bliski infracrveni spektar s valnim duljinama od 0,841 nm do 0,876 nm. SWIR je dio s valnim duljinama u rasponu od 1,628 do 1,652 nm. U valnim duljinama s rasponom kao SWIR voda apsorbira velike količine svjetlosti dok dio elektromagnetskog spektra u valnim duljinama koje obuhvaća NIR ne apsorbira. Rezultati mogu pružiti informacije o prostornoj raspodjeli vegetacijskog stresa izazvanoga nedostatkom vode. Rezultati su, kao i kod NDVI-a, od -1 do 1. Visoke vrijednosti označavaju se plavom bojom te podrazumijevaju visok sadržaj vode u biljkama uz najčešće visoku vegetaciju. Niže vrijednosti označavaju se crvenom bojom te odgovaraju niskom raslinju. Tijekom razdoblja vodenog stresa rezultat NDWI-a smanjit će se (NASA Earth Observatory, 2000.).

Monitoring prihrane biljaka

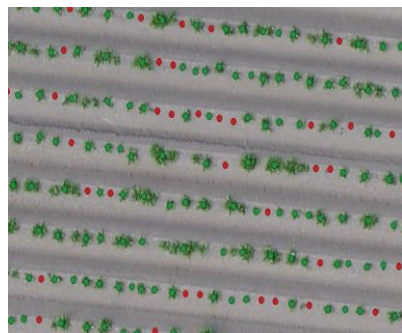
Dronovi s višim razredom opreme mogu u usjevu prepoznati raspodjelu količine dušika te tako otkriti područja s izraženim nedostatkom koja su obojena svijetložutom bojom (slika 4). Dronovi snimaju velik broj fotografija koje se spajaju u cjelinu, a za daljnje prepoznavanje i istraživanje koriste se posebni programi (PotatoPro, 2010.). Spektralna analiza dobivenih fotografija može poslužiti za precizno doziranje prihrane biljaka u svrhu optimalne potrošnje dušika, čime se postiže rentabilnost proizvodnje i smanjenje zagađenja okoliša (Oljača i sur., 2018.).

Brojenje biljaka u usjevu

Dronovi se u poljoprivredi koriste i za prebrojavanje biljaka na proizvodnoj površini, pri čemu se prikuplja velik broj fotografija površine iz zraka. S pomoću posebnih programa može se automatski brojiti biljke u redu, na hektaru ili drugoj zadanoj površini. Tako se vrlo lako mogu identificirati i praznine, odnosno područja gdje biljke nisu niknule ili su nakon nekog vremena propale (slika 5). S pomoću dobivenih podataka poljoprivrednici mogu predvidjeti prinos (Precision Hawk, 2019.).



Slika 4. Snimka količine dušika u tlu
Izvor slike: <https://www.potatopro.com>



Slika 5. Identificiranje praznina u nasadu
Izvor slike:
<https://twitter.com/bertrijk>

Detekcija štetnika i mogućnosti biološkog suzbijanja pomoću dronova

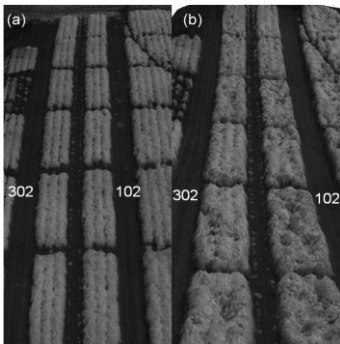
Za detekciju štetnih organizama koriste se dronovi manjih dimenzija, a za aplikaciju sredstava za zaštitu bilja (SZB) veliki dronovi sa spremnicima. Dronovi za tu primjenu opremljeni su multispektralnim i hiperspektralnim kamerama koje bilježe refleksije od površine lista s pomoću kojih se mogu dobiti podatci o napadu štetnih organizama jer napadnute biljke reflektiraju drukčiji spektar od neoštećenih. U različitim istraživanjima praćene su populacije štetnika na ratarskim kulturama (kukuruz, pšenica, pamuk), kao što su lisne uši, grinje,

štitasti moljci i leptiri. Dronovima se može uočiti problem u usjevima, ali točna identifikacija štetnika zahtjeva izlazak stručnjaka na teren (Filho i sur., 2019.).

Huang i sur. (2018.) navode da se korištenjem multispektralnih kamera pričvršćenih na dron može utvrditi jačina napada grinja na pamuku. Jedan je dan aktivnosti štetnika u usjevu vremenski dovoljan da se detektira šteta koja se na fotografiji vidi kao ulegnuće unutar usjeva (slika 6). Hunt i Randon (2017.) navode da je za ranu detekciju pojave krumpirove zlatice *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) važno često prelijetati usjeve.

Biološko suzbijanje štetnika pomoću dronova u širokoj je primjeni u svijetu (DJI Enterprise, 2020.). U nasad jagoda napadnutih grinjom *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) ispuštaju se predatorske grinje. Osice roda *Trichogramma* spp. koriste se za suzbijanje *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) važnog štetnika šećerne trske u Kini i Brazilu. Talijanska tvrtka Aermatica3D u suradnji s tvrtkom DJI napravila je nadogradnju za dron DJI Matrice 100 kako bi se on mogao primijeniti u biološkom suzbijanju prirodnim neprijateljima (DJI Enterprise, 2020.). Dronovima se ispuštaju parazitske osice roda *Trichogramma* spp., koja je prirodni neprijatelj kukuruznog moljca (*Ostrinia nubilalis* Hübner, 1796), važnog štetnika kukuruza u Europi i Sjevernoj Americi (Filho i sur., 2019.; DJI Enterprise, 2020.). Dronovima se ispuštaju i drugi prirodni neprijatelji poput *Chrysoperla* spp., *Orius insidiosus* (Say, 1832) za biološko suzbijanje tripsa i lisnih uši, a *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant, 1853) za suzbijanje štitastih ušiju. Također se koriste za ispuštanje sterilnih kukaca, primjerice *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) u zaštiti jabuke (Filho i sur., 2019.).

Na slici 7 prikazana je primjena predatorskih grinja *Californicus* spp. i parazitske osice *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) u biološkom suzbijanju *Heliiothis armigera* (Hübner, 1808) na kukuruzu s pomoću šesterokrilnog "Bug Drone" sustava srednje veličine s priključkom nosivosti 2 kg (Bryceson i sur., 2016.; Filho i sur., 2019.).



Slika 6. 3D prikaz šteta u usevu snimljen infracrvenom kamerom
Izvor: Hunt i Randon (2017.)



Slika 7. Bug Drone tijekom aplikacije prirodnih neprijatelja štetnika
Izvor: <https://www.uq.edu.au>

Primjena sredstava za zaštitu bilja s pomoću dronova

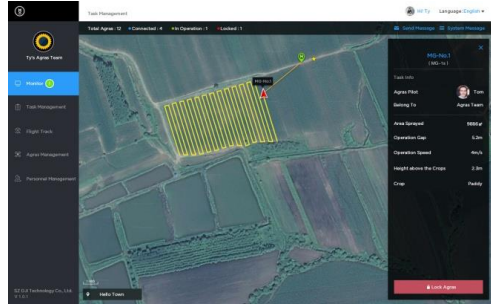
Primjena dronova u preciznoj poljoprivredi može značajno smanjiti utrošak sredstva za zaštitu bilja (SZB). U Japanu dronovi već četrdeset godina primjenjuju pesticide u proizvodnji riže, soje, zobi i pšenice. U Kaliforniji se testira primjena pesticida s pomoću dronova u vinogradima. Prema Reger i sur. (2018.) u svim državama članicama EU-a kod primjene kemijskih SZB-a iz zraka dolaz zabranjena zbog negativnog utjecaja na ljude i druge ne ciljane organizme koji dolaze u kontakt sa škropivom jer dolazi dolazi do značajnog zanošenja tijekom aplikacije. Uporabom dronova omogućena je ciljana primjena na ograničeno područje, što je čini prihvatljivijom za ljude i okoliš.

Agronator je osmerokrilni veliki dron specifično dizajniran za uporabu u poljoprivredi (slika 8). Može nositi teret mase do 35 kg, a namijenjen je za primjenu sredstava za zaštitu bilja, gnojidbu ili sjetvu sjemena (Reger i sur., 2018.).



Slika 8. Agronator

Izvor: <https://www.agrarheute.com>



Slika 9. Izgled upravljačkog sučelja za dron s ucrtanim kretanjem unutar parcele

Izvor: <https://www.dji.com/hr/mg-1s>

Kineska tvrtka DJI konstruirala je Agras MG-1S dron opremljen radarskim detektorom za praćenje visine leta, sustavom raspršivanja i sensorima protoka škropiva. Koristi se za primjenu tekućih formulacija SZB-a. Upravlja se posebnim operativnim sustavom i programom u koji se unose podatci potrebi za provedbu zaštite usjeva (slika 9) (Filho i sur., 2019.; DJI, 2020.).

Ostale primjene dronova u poljoprivredi

Izraelska tvrtka Tevel Aerobotics Technologies konstruirala je autonomnu platformu opremljenu dronovima s četiri propelera za berbu plodova različitih voćnih vrsta (slika 10). Dronovi s pomoću robotske ruke beru plodove i odlažu ih u spremnik na platformi koja se kreće kroz voćnjak. Platforma služi kao naponska jedinica i računalna podrška dronovima (Prusina, 2020.).



Slika 10. Autonomna platforma za branje jabuke
Izvor: <https://www.agroklub.com>

Zakonodavni okvir uporabe dronova u poljoprivredi

Zakonodavni okviri reguliraju korištenje dronova u poljoprivredi i u druge svrhe. Pravila primjene razlikuju se od države do države. U **Japanu** je potrebna dozvola ako je visina leta viša od 150 m te ako dron prelijeće iznad naseljenih područja i zrakoplovnih luka. Korištenje dronova mora se obaviti danju, na minimalnoj udaljenosti od 30 m od mjesta gdje je veće okupljanje ljudi (Reger i sur., 2018.). U **Americi** je potrebno odobrenje za svako korištenje drona. Svaka osoba koja upravlja dronom mora imati odgovarajuću dozvolu (Ilić i sur., 2016.; Regier i sur., 2018.). Dronovi se mogu koristiti samo danju. Dozvola se izdaje osobama starijima od 15 godina, koje nakon dobivanja dozvole moraju svake dvije godine potvrditi svoje znanje upravljanjem dronovima. Neki su od uvjeta uporabe dronova da ne mogu letjeti na visini većoj od 122 m nadmorske visine te na vjetru koji puše brže od 150 km/h. Također, pri vidljivosti manjoj od 5 km nije dopušteno letenje (Reger i sur., 2018.). U **Njemačkoj** je legalizirana uporaba dronova mase do 5 kg te dometa 1,5 km (Ilić i sur., 2016.; Regier i sur., 2018.). Za korištenje drona koji prelazi masu 5 kg potrebno je posjedovati odgovarajuću dozvolu koju izdaje Zrakoplovna agencija Njemačke. Dron se smije koristiti samo u okviru vlasnikove parcele. Dronovi se ne smiju koristiti u zaštićenim područjima, npr. rezervatima prirode i nacionalnim parkovima (Reger i sur., 2018.).

U **Hrvatskoj** je korištenje dronova regulirano „Pravilnikom o sustavima bespilotnih zrakoplova“. Pravilnikom se propisuju uvjeti za sigurnu uporabu dronova operativne mase do 150 kg, kao i uvjeti koje moraju ispunjavati fizičke i pravne osobe koje sudjeluju u izvođenju letova na dronovima. Tablicom 3 prikazana je kategorizacija letačkih operacija te uvjeti propisani od Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo (Agencije). Dronovi se koriste za letačke operacije za potrebe radova iz zraka i letačkih operacija (snimanje iz zraka,

oglašavanje, nadzor, znanstveno-istraživački letovi, i sl.) koje provode ovlaštene operateri sustava dronova (Operator), odnosno fizičke ili pravne osobe koje posjeduju dozvole i certifikate dodijeljene od Agencija. Dronovima nije dopušteno prevoziti ljude, teret, životinje i opasnu robu (predmeti koji mogu predstavljati opasnost za zdravlje, sigurnost, imovinu ili okoliš, navedeni u popisu opasnih roba u tehničkim instrukcijama), uz iznimku prijevoza opasnih roba za potrebe poljoprivrede ili šumarstva.

Prema Pravilniku letovi su dopušteni danju iznad nenaseljena područja, na visini do 120 m iznad tla u nekontroliranom zračnom prostoru (prostor unutar kojega se ne pružaju usluge kontrole zračnog prometa, npr. rijetko naseljena ili nenaseljena područja), odnosno na visini od maksimalno 50 m od tla u kontroliranom zračnom prostoru i 5 km od referentne točke (najbližeg aerodroma). Minimalna horizontalna udaljenost dronova od skupine ljudi okupljenih na određenom ograničenom prostoru (npr. na koncertu, sportskim događajima, proslavama, demonstracijama i sl.) ne smije biti manja od 50 m, osim ako se radi o zrakoplovnim mitinzima. Inače u prisutnosti manjeg broja ljudi minimalna horizontalna udaljenost ne smije biti manja od 30 m, u granicama vidnog polja pilota na daljinu. Operater koji upravlja dronom odgovoran je za sigurno upravljanje te odgovarajuće pričvršćivanje opreme ili tereta (NN, 2018.).

Tablica 3. Kategorizacija letačkih operacija te uvjeti propisani od Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo (NN, 2018.).

Kategorija drona	Operativna mase	Dobno ograničenje	Napomena	Dopuštenje za let noću	Oznaka dodijeljena od Agencije
A	< 250g	14 - 16 godina	-	Uz opremu za vizualizaciju i orijentaciju te odobrenje Agencije	Identifikacijska naljepnica
B1	< 900 g	14 - 16 godina	-	ne	
B2	< 5 kg	14 - 16 godina	-	Uz opremu za vizualizaciju i orijentaciju te odobrenje Agencije	
C1	<25 kg	Punoljetne osobe	Položen teorijski ispit iz poznavanja zrakoplovnih propisa	ne	Negoriva identifikacijska pločica
C2	<150 kg	Punoljetne osobe	Položen teorijski ispit iz poznavanja zrakoplovnih propisa, vođenje evidencije letova	Uz opremu za vizualizaciju i orijentaciju te odobrenje Agencije	

ZAKLJUČAK

Dronovi postaju sve značajniji u današnjoj poljoprivrednoj proizvodnji. Primjena dronova olakšava nadzor velikih proizvodnih površina te omogućuje praćenje stanja koja su golim okom nevidljiva. Korištenjem dronova u svrhu monitoringa i aplikacije gnojiva i SZB-a smanjuju se troškovi proizvodnje i utrošak radnih sati. Postoji više tipova dronova koji se koriste u poljoprivredi, no najčešće su korišteni dronovi s nepokretnim i pokretnim krilima. Prednost je dronova s nepokretnim krilima duže vrijeme leta i mogućnost snimanja većih površina. Dronovi s pokretnim krilima imaju mogućnost nošenja tereta, odnosno kamera, spremnika i priključaka, što ih čini korisnima u istraživanjima i aplikaciji sredstava za zaštitu bilja.

Današnje, visokotehnološke vrste dronova opremljene su digitalnim kamerama koje se sastoje od multispektralnih senzora te GPS uređaja kojima se vrlo lako može odrediti gdje je potrebno navodnjavanje u usjevu, prihrana ili lokalizirano suzbijanje štetnih organizama. Korištenje dronova u suzbijanju štetnih organizama može uvelike smanjiti uporabu sredstava za zaštitu bilja, što je i u suglasju s potpisanim Europskim zelenim planom. Također, može se utvrditi brojnost biljaka u pojedinom usjevu i procijeniti prinos pojedine kulture. Postoje i dronovi viših cjenovnih razreda koji imaju ugrađene hiperspektralne senzore te uočavaju ljudskom oku nevidljive promjene u usjevu, pa se tako mogu dobiti iznimno precizni podatci o stanju usjeva.

U Hrvatskoj je primjena dronova za potrebe poljoprivrede još uvijek u razvoju i uglavnom su u uporabi jeftiniji, manji dronovi. Poljoprivrednici koji koriste moderne sustave proizvodnje, a među njima i dronove, nažalost su u Hrvatskoj rijetki. Uglavnom zbog neinformiranosti o prednostima takvog tipa proizvodnje, nedostatka informatičkog znanja prosječnog poljoprivrednika, relativne skupoće opreme te zakonskih propisa koje korisnik mora ispuniti za njihovo korištenje. Unatoč svemu, izgledno je da će dronovi u budućnosti postati jedan od važnijih alata koji će znatno pridonijeti racionalizaciji poljoprivredne proizvodnje, a samim time i očuvanju okoliša.

DRONS AS A HIGH-TECH TOOL FOR MODERN AGRICULTURE

SUMMARY

With the development of new technologies, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture is becoming increasingly important. Drones are an effective tool that contributes to the development of precision agriculture. Their use is diverse as they can be upgraded with various devices such as multispectral and RGB cameras, GPS devices, etc. Fixed-wing and moving-wing

drones are most commonly used, with the main difference being speed and flight duration. Drones with moving wings also have the ability to carry cargo, which helps in research and control of pests. Drones are used in agriculture for terrain mapping, crop stand monitoring, irrigation, application of fertilizers, pest detection and localized application of chemical or biological pesticides. In Croatia, the use of drones is regulated by the "Ordinance on Drone Systems", which prescribes conditions for the safe use of drones with an operational mass of up to 150 kg. The need for manual labor in the field will be reduced, which will also contribute to the modernization of agricultural production in line with the growing demands of the markets.

Keywords: *High-tech*, cameras, precision agriculture, sensors, pest control, UAV

LITERATURA

Aerial applications (2019.). How Drones Supercharge GIS Management. <https://www.aerialapplications.com/blog/how-drones-supercharge-gis-management> - pristup 19. 1. 2021.

Bento M. F. (2008) Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. Dostupno na <http://www.insidegnss.com/auto/janfeb08-wp.pdf> (pristupljeno 6. 5. 2021.)

Bogue, R. (2017.). Sensors key to advances in precision agriculture. *Sensor Review*, 37, 1–6.

Bramley, R. G., Ouzman, J. (2019.). Farmer attitudes to the use of sensors and automation in fertilizer decision-making: nitrogen fertilization in the Australian grains sector. *Precision Agriculture*, 20, 157 – 175.

Bryceson, K., Borrero, N. A., Camilleri, C., Vasuian, F. (2016.). Small quadcopter drones as educational tools in agriculture at the University of Queensland. Proceedings of Edulearn16 Conference. Barcelona, Španjolska, 8052 – 8056.

Bušljeta-Vidović, S. (2006.). Zračne snimke kao podloga za daljinska istraživanja prostornom planiranju. *Znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam*, 14, 2(32).

Candiago, S., Remondino, F., de Giglio, M., Dubbini, M., Gattelli, M. (2015.). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7, 4026 – 4047.

Daponte, P., de Vito, L., Glielmo, L., Iannelli, L., Liuzza, D., Picariello, F., Silano, G. (2019.). A review on the use of drones for precision agriculture. *Metrology for Agriculture and Forestry*, 275, 1-10.

DELAIR (2020.). How to fly your agriculture drone to get accurate plot data. Dostupno na: <https://delair.aero/agriculture/how-to-fly-your-drone-to-get-accurate-plot-data/> (pristupljeno 23. 5. 2021.).

DJI (2020.). Agras MG-1S. Dostupno na: <https://www.dji.com/hr/mg-1s> (pristupljeno 14. 1. 2021.).

DJI Enterprise (2020.). Suppressing agricultural pests with drones. Dostupno na: <https://enterprise.dji.com/news/detail/suppressing-agricultural-pests-with-drones> (pristupljeno 19.01.2021.).

Europska komisija (2018.). Drones in agriculture. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/content/drones-agriculture> - pristup 18.01.2021.

Ferina, J. (2014). Evapotranspiracija i zaliha vode u tlu. Hrvatsko agrometeorološko društvo – Zbornik radova 3. agrometeorološke radionice- Vol. 21 / Br. 4

AGROMETEOROLOGIJA U SLUŽBI KORISNIKA: „Zaštita okoliša i šumski požari“, Dubrovnik, 24. ožujka 2014. Dostupno na: <http://www.hagmd.hr/ezbornik3/files/assets/downloads/page0023.pdf>

Filho, F. H. I., Heldens, W. B., Kong, Z., de Lange, E. S. (2019.). Drones: innovative technology for use in precision pest management. *Journal of Economic Entomology*, 113, 1 – 25.

PT Geopranata Cipta (2017.). DSM (Digital Surface Model) & DTM (Digital Terrain Model). Dostupno na: <http://www.geopranata.co.id/Sampel/DSM-Digital-Surface-Model-and-DTM-Digital-Terrain-Model-.html> (pristupljeno 19.01.2021.).

Hatcher, S. (2020.). Thermal sensors. Retrieved from Precision Hawk: Dostupno na: <https://www.precisionhawk.com/sensors/advancedsensors-and-data-collection/thermal> (pristupljeno 19.01.2021.).

Houborg, R., McCabe, M. F. (2016.). High-resolution NDVI from planet's constellation of Earth observing nano-satellites: a new data source for precision agriculture. *Remote Sensing*, 8, 768.

Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., Zhang, L., Wen, S., Jiang, Y., Suo, G., Chen, P. (2018.). A two-stage classification approach for the detection of spider mite- infested cotton using UAV multispectral imagery. *Remote Sensing Letters*, 9(10), 933-941.

Hunt, E. R., Rondon, S. I. (2017.). Detection of potato beetle damage using remote sensing from small unmanned aircraft systems. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(2), 1-10.

Ilić, S., Spalević, Ž., Ilić, M. (2019.). Dronovi u poljoprivredi-IT podrška, zakonske regulative i prednosti upotrebe, Univerzitet Singidunum, Beograd, 394-400.

MaxBotix Inc. (2020.). Ultrasonic Sensor Operation on a UAV. Dostupno na: <https://www.maxbotix.com/ultrasonic-sensor-operation-uav.htm> (pristupljeno 23. 05. 2021.).

Michels, M., von Hobe, C. F., Mußhoff, O. (2020.). Understanding the adoption of drones in German agriculture. U: A trans-theoretical model for the adoption of drones by large-scale German farmers. *Journal of Rural Studies*, 75, 80 - 88.

Moskvitch, K. (2015.). Take off: Are drones the future in Agriculture? *Engineering and Technology*, 10, 62–66.

Narodne novine (2018.). Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova. Zagreb: NN 104/2018.

NASA Earth Observatory (2000.). NDVI. Dostupno na: <https://eos.com/ndvi/> (pristupljeno 19.01.2021.).

Oljača, M. V., Pajić, M., Gligorević, 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, perspektiva i moguća aplikacija dronova u poljoprivrednu Srbije. *Poljoprivredna tehnika*, 43(4), 29 -56.

PotatoPro (2010.). Drones can help optimize nitrogen fertilization in potato farming. Dostupno na: <https://www.potatopro.com/news/2017/drones-can-help-optimize-nitrogen-fertilization-potato-farming> (pristupljeno 19.01.2021.).

Precision Hawk (2010.). Automated Plant Counts With Drones For Precision Agriculture. Dostupno na: <https://www.precisionhawk.com/blog/media/topic/understanding-your-aerial-data-plant-counting> (pristupljeno 19.01.2021.).

Pribičević, B., Medak, D. (2003.). Geodezija u građevinarstvu. Sveučilište u Rijeci. V.B.Z. d.o.o.

Prusina, R. (2020.). Dron za berbu voća je najbolji terenski robot. Agrokлуб.com. Dostupno na: <https://www.agrokлуб.com/vocarstvo/dron-za-berbu-voca-je-najbolji-terenski-robot/65102/?fbclid=IwAR3cBr42sIOUBtuPzQhnmOGnUJfzo1eRy3vrsDLYIBkbWISwQyUsUpFyp0> (pristupljeno 14.01.2021.).

Puig, E., McFadyen, A., Gonzalez, F. (2018.). Advances in unmanned aerial systems and payload technologies for precision agriculture. U: Advances in agricultural machinery and technologies. CRC Press, Florida, USA.

Reger, M., Bauerdick, J., Bernhardt, H. (2018.). Drones in agriculture: current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan. Landtechnik – agricultural engineering, 73(3), 62 – 79.

San Souci, J. (2020.). Hyperspectral Sensors. Retrieved from Precision Hawk. Dostupno na: <https://www.precisionhawk.com/sensors/advancedsensors-and-data-collection/hyperspectral> (pristupljeno 19.01.2021.).

Sankaran, S., Khot, L. R., Espinoza, C. Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V. R., Vandemark, G. J., Miklas, P. N., Carter, A. H., Pumphrey, M. O., Knowles, R. R. N., & Pavak, M. J. (2015). Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. European Journal of Agronomy, 70, 112–123.

Schmeitz, A.H.L. (2020.). The application of drones in precision agriculture. Anelot, Student B-IBA. Diplomski rad.

Sentera (2020.). NDVI and your farm: Understanding NDVI for your plants insights. Dostupno na: <https://sentera.com/understanding-ndvi-plant-health/> (pristupljeno 14.01.2021.).

Tey, Y. S., Brindal, M. (2012.). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. Precision Agriculture, 13, 713 -730.

Usha, K., Singh, B. (2013.). Potential applications of remote sensing in horticulture – a review. Scientia Horticulturae, 153, 71 – 83.

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

Vukadinović, V. (2016.) Dronovi u poljoprivredi. Dostupno na: http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2016.pdf (pristupljeno 15.01.2021.).

Wingra (2020.). Use Of Drones In Agriculture. Dostupno na: <https://wingtra.com/drone-mapping-applications/use-of-drones-in-agriculture/> (pristupljeno 19.01.2021.).

Pregledni rad