

Dronovi u poljoprivredi

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

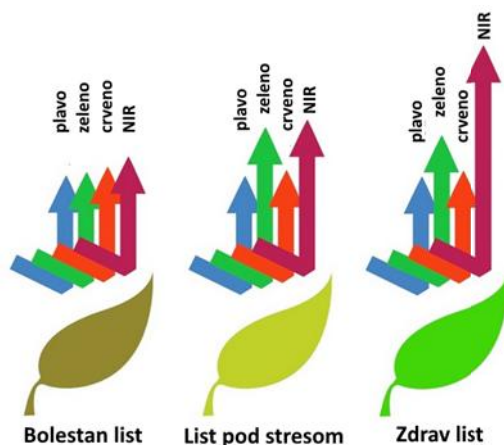
Glasna i agresivna reklama za korištenje bespilotnih sustava ili *dronova* u poljoprivredi, ali i općenito, potaknula je dosta kontroverznih reakcija. Mnogi podržavaju i priželjkuju još veće korištenje dronova u poljoprivredi smatrajući da bi time tzv. precizna poljoprivreda dobila novu kvalitetu, dok su drugi oprezniji bojeći se da ogroman broj podataka dobiven uz pomoć dronova predstavlja poteškoću, kako u njihovoj adekvatnoj obradi, tako i primjeni. Pravni aspekt je i dalje nejasan jer je propisano niz ograničenja zbog mogućih zloupotreba, npr. prava na privatnost, mogućnosti vojne i industrijske špijunaže, terorizma, ometanja zračnog prometa itd.

Naime, dronovi (Slika 1.) se mogu koristiti komercijalno u području telekomunikacija, vremenskoj prognozi, prometnog i pomorskog nadzora, transporta, traganja i spašavanja, istraživanjima rudnih nalazišta (npr. nafte i plina) itd. Budući da se u proizvodnji hrane (primarnoj organskoj produkciji) koriste velike zemljišne površine, najviše koristi od dronova, odnosno daljinskog istraživanja (praćenja/izviđanja), svakako će imati poljoprivreda jer oni omogućuju učinkovito i pravodobno praćenje stanja i napredovanja usjeva, utvrđivanje potrebe za navodnjavanjem, gnojidbom (prihranom), zaštitom od bolesti i štetočina, drugim agrotehničkim mjerama, ali i utvrđivanje potrebe za uređenjem zemljišta, njegovim popravkama uključujući i sve meliorativne zahvate.



Slika 1. Tipičan izgled više rotorskog mikrodrona (lijevo) i zrakoplovnog (desno) opremljenih GPS-om, kamerama i drugim sensorima

Uz pomoć GPS-a dron (bespilotna letjelica ili *UAV = Unmanned Aerial Vehicle*) može brzo i učinkovito kartirati cijelu farmu ili proizvodno područje, pronaći štetnike, pojavu bolesti, nedostatak vlage itd. i to na točnim lokacijama te omogućiti pravovremenu i brzu reakciju što može drastično racionalizirati i smanjiti troškove proizvodnje, uključujući i broj potrebnih radnika. Za redovito praćenje/izviđanje stanja usjeva koriste se mali i jeftini dronovi uz čiju pomoć poljoprivrednik ima širok pogled iz ptičje perspektive, ali i krupne kadrove koji se ne mogu postići iz satelita i zrakoplova. Dakle, ako se pri pregledu usjeva uoči problem, može se fotografirati i utvrditi njegova točna pozicija. Slijedeći korak je kartiranje, odnosno kreiranje digitalne slike proizvodne površine koja se uobičajeno vizualizira GIS alatima (geografski informacijski sustav; tzv. pametne karte). Kad se snimanje obavlja s više kamera u različitim dijelovima sunčevog spektra, može se obradom fotografija relativno pouzdano procijeniti stanje usjeva (Slika 2.),



Slika 2. Osnovni princip spektralne analize usjeva (NIR = blisko infracrveni dio)

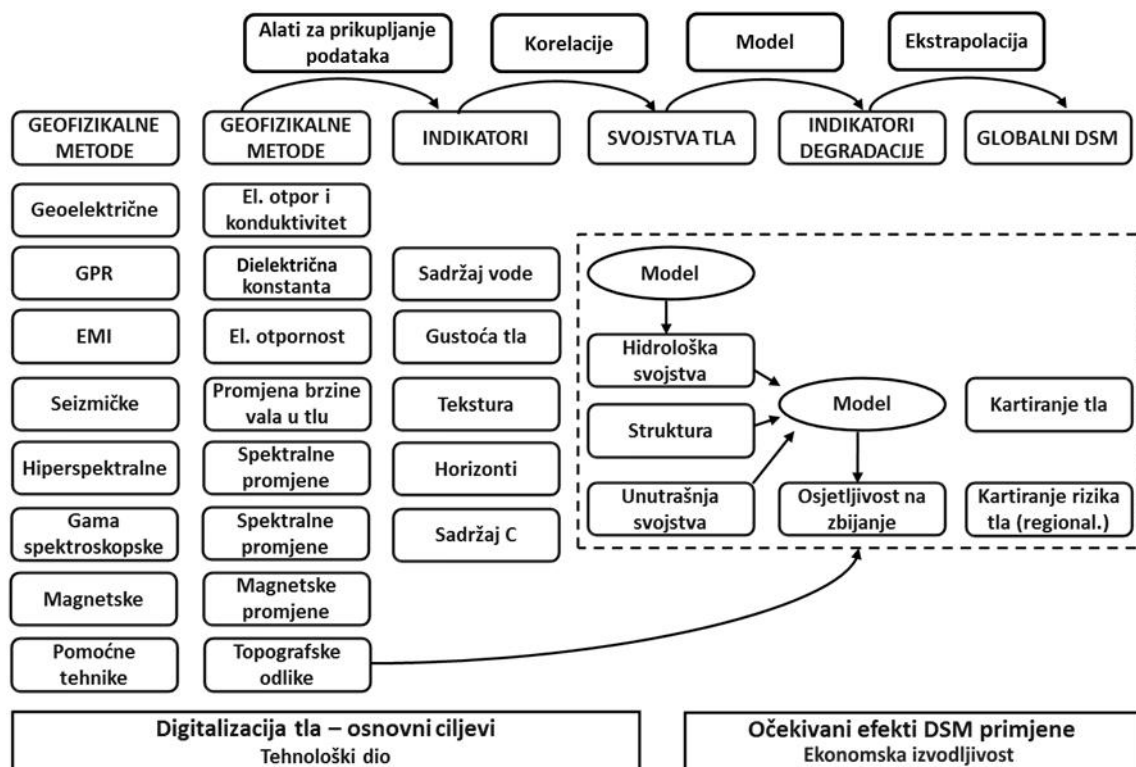
najčešće izračunavanjem *NDVI indeksa* (normalizirani indeks vegetacije). NDVI indeks je mjera, odnosno omjer razlike između intenziteta reflektiranog svjetla u dvije različite frekvencije (VIS = vidljivi dio spektra, 400 - 700 nm; NIR = bliski infracrveni dio spektra, 700 - 1300 nm):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

Velik broj znanstvenih radova smatra pouzdanost NDVI upitnom jer je to nelinearan indeks, a na njega mogu utjecati dodatni šumovi kao što je boja tla, sadržaj vode u tlu i biljkama, atmosfersko zračenje, količina biomase, boja lišća i dr. Naime, osim njegove korekcije/kalibracije na više različitih načina (npr. SAVI = *Soil Adjusted Vegetation Index*, EVI = *Enhanced Vegetation Index* i dr.) moguće je analizirati znatno više različitih vegetacijsko-biofizikalnih parametara koristeći podatke daljinskih istraživanja jer aktivnost zelenih biljaka/usjeva uključuje indeks površine lista (LAI), zelenu biomasu, apsorbiranu svjetlosnu energiju, CWSI (*Crop Water Stress Index* ili indeks vodnog stresa biljaka; zahtijeva termički senzor), CCCl (*Canopy Chlorophyll Content Index* ili koncentraciju klorofila u biljnom pokrivaču) koji ukazuje i na ishranjenost biljaka dušikom itd. Otuda postoje mnogi vegetacijski indeksi zbog opravdane sumnje je li najpopularniji NDVI pravi i najpouzdaniji indeks stanja vegetacije. Stoga je sve češća praksa da se NDVI indeks korigira. Koristi se više metoda koje znatno podižu pouzdanost NDVI indeksa. Npr., NNI indeks (*Nutrition Nitrogen Index*) koji zahtijeva poznavanje stvarne i kritične koncentracije dušika u biljkama, zatim RI indeks (*Response Index*) u kome je $NDVI_{rs} = NDVI$ kalibracijske trake usjeva gnojena dozom prema preporuci temeljem kemijske analize tla; $NDVI_f = NDVI$ usjeva) i dr.:

$$RI = \frac{NDVI_{rs}}{NDVI_f}$$

Dronovi mogu nositi različite alate, uključujući visoko razlučive kamere, infracrvene i termalne senzore, elektromagnetne senzore, pa čak i radare. Za utvrđivanje pojedinih svojstava koriste se različite EMI tehnike (elektromagnetna indukcija, spektralna analiza u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra, kao i druge vrste senzora (Slika 3.).



Slika 3. Vrste geofizikalnih senzora za kartiranje tla

Praćenje vegetacije satelitima ili zrakoplovima, kao i pregled usjeva s tla (hodanjem po terenu) do sada su bili osnovni način pregleda/inspekcije stanja usjeve. No, ove metode često su nepotpune i vremenski ograničene (oblačno i/ili kišno vrijeme, magla, vlažno tlo i sl.) pa prikupljanje podataka, njihova obrada i analiza može potrajati dugo vremena. Rezultat je zakašnjela intervencija pa su neizbježne štete zbog nezapažene pojave bolesti, neishranjenosti usjeva i sl., uz povećane troškove gnojidbe i zaštite usjeva, dakako, smanjen prinos i kakvoću proizvoda i pad profita. U usporedbi s drugim „zračnim metodama istraživanja“, dronovi mogu generirati češće i daleko jeftinije podatke o stanju usjeva pa su za praćenje usjeva na malim površinama (50 do 500 ha) dronovi trenutno prvi i najbolji izbor. Primjena im je veoma raznolika u praćenju usjeva:

- Rast i razvitak usjeva (fenofaze i etape razvitka),
- Gustoća i sklopovi,
- Zdravlje (kondicija) usjeva,
- Potreba za prihranom usjeva (vrijeme i doza),
- Potreba za navodnjavanjem,
- Pojava bolesti i štetnika,
- Pojava korova i zakorovljenost,
- Procjena biomase i prinosa,
- Utvrđivanje termina žetve,
- Utvrđivanje mikrodepresija, ležanje vode, stanje drenaže i dr.

Dronovi namijenjeni komercijalnom korištenju u poljoprivredi najčešće se nabavljaju s računalnim programima za analizu prikupljenih podataka i automatsko planiranje leta (Slika 4.). Standardnu opremu sačinjavaju GPS, digitalna kamera (fotoapararat) s multispektralnim sensorima, dok skuplji modeli često imaju i druge senzore, npr., infracrvene (toplinske), senzore hiperspektralnog (oku nevidljivog) zračenja, optički radar (LIDAR = *Light Detecting and Ranging*), 3D radar (SAR = *Synthetic Aperture Radars*) itd.



Slika 4. Programirani plan leta drona

Poljoprivreda, posebno navodnjavani uzgoj usjeva, je najveći globalni potrošač vode, a ona je u hijerarhiji biljnih potreba odmah ispod sunčeve energije, odnosno iznad potrebe za hranivima i zaštitom usjeva od bolesti štetočina. Stoga, učinkovito i pravovremeno navodnjavanje zahtijeva pouzdane informacije o raspoloživosti vode iz tla te trenutnim potrebama usjeva, ovisno o biljnoj vrsti, fenofazi, efikasnosti korištenja vode, odnosno trenutnoj potrošnji vode. Biljke prosječno potroše transpiracijom 300 - 500 kg H₂O kg⁻¹ ST (tzv. *transpiracijski koeficijent*). Općenito, bilanca vode kod biljaka približno je:

$$\begin{array}{r}
 990 \text{ g (tranzitna voda)} \\
 / \\
 1\ 000 \text{ g (usvojena voda)} \\
 \backslash \\
 10 \text{ g (zadržana voda)} \\
 \backslash \\
 1 - 2 \text{ g (kemijski vezana voda)}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 8 - 9 \text{ g (kemijski nevezana voda)} \\
 / \\
 1 - 2 \text{ g (kemijski vezana voda)}
 \end{array}$$

Dronovi, premda su tehnološki najnapredniji sustavi praćenja u biljnoj proizvodnji, ipak nisu svemogućí niti mogu biti potpuna zamjena za druge, egzaktne analitičke metode, npr. utvrđivanje stanja u tlu i biljkama. Primjerice, pod pretpostavkom da se za utvrđivanje potrebe N-prihrane ozimih usjeva koristi samo nekalibrirani NDVI indeks vegetacije, temeljem kojeg se u praksi najčešće donose odluke o agrotehničkim mjerama pa i N-prihrani, lako je moguće donijeti pogrešnu odluku. Naime, pregled stanja

ozime pšenice pred prvu prihranu (proljetno kretanje vegetacije) može pokazati potrebu za ranijom N-prihranom, premda tlo može biti hladno pa biljke neće moći usvojiti potrebnu količinu N, čak niti vodu (tzv. *fiziološka suša*) zbog niskog metabolizma korijena. Zatim, pregled ozimih žita pred vlatanje ovog proljeća ukazivao je na dobar sklop i izvrsnu kondiciju usjeva pa se smanjivanje N-doze za drugu N-prihranu činilo logičnim. Međutim, bez provjere raspoloživosti dušika iz tla, npr. N_{min} metodom, realna je mogućnost kako dušika u tlu više nema dovoljno za naredni period (usvojen od strane usjeva, ispran ili premješten izvan rizosfere zbog viška oborina), a pšenica u periodu od vlatanja do klasanja (30-ak dana) usvoji ~60 % ukupno potrebnog dušika. Budući da treća, tzv. korektivna N-prihrana jako poskupljuje proizvodnju ozimih usjeva, a veoma često neznatno utječe na visinu prinosa (tek ponekad utječe na kakvoću uroda), oslanjanje na odluku o smanjivanju doze N-prihrane, samo temeljem NDVI indeksa, može biti rizično, ali i posve pogrešno.

Korisnici dronova, ne samo u poljoprivredi, moraju znati da je od 2015. god. u RH na snazi *Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova* (http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_05_49_974.html) koji traži da rukovatelj dronom, mora osigurati da let bespilotnog zrakoplova ne predstavlja opasnost za život, zdravlje ili imovinu ljudi zbog udara ili gubitka kontrole i da ne ugrožava ili ne ometa javni red i mir. Let se mora odvijati danju, meteorološki uvjeti moraju biti povoljni, a bespilotna letjelica mora biti na sigurnoj udaljenosti od ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, drugih zrakoplova, cesta, željezničkih pruga, vodenih putova ili dalekovoda, ne manju od 30 metara, a od skupine ljudi najmanje 150 metara. Također, Pravilnikom je regulirano gdje nije nedopušteno korištenje bespilotnih letjelica (naselja, blizina aerodroma i dr.), koja je dokumentacija potrebna za izvođenje leta (pilotska dozvola, plan leta, polica osiguranja, letački priručnik i dr.) kao i niz drugih uvjeta koji moraju biti ispunjeni, shodno Pravilniku i pravilima Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo.

U Osijeku travnja 2016. god.