

Bespilotni zrakoplovni sustavi u prilagođavanju posljedicama klimatskih promjena

Kelava, Franko

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:520862>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**BESPILOTNI ZRAKOPLOVNI SUSTAVI U PRILAGOĐAVANJU
POSLEDICAMA KLIMATSKIH PROMJENA**

DIPLOMSKI RAD

Franko Kelava

Zagreb, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Ekološka poljoprivreda i agroturizam

**BESPILOTNI ZRAKOPLOVNI SUSTAVI U PRILAGOĐAVANJU
POSLEDICAMA KLIMATSKIH PROMJENA**

DIPLOMSKI RAD

Franko Kelava

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Kutnjak

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Franko Kelava**, JMBAG 0178120155 , rođen 08.09.1999. u Sisku, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**BESPILOTNI ZRAKOPLOVNI SUSTAVI U PRILAGOĐAVANJU POSLJEDICAMA
KLIMATSKIH PROMJENA**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Franko Kelava**, JMBAG 0178120155, naslova

**BESPILOTNI ZRAKOPLOVNI SUSTAVI U PRILAGOĐAVANJU POSLJEDICAMA
KLIMATSKIH PROMJENA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Kutnjak mentor

2. Izv. prof. dr. sc. Ivana Šestak član

3. Izv. prof. dr. sc. Boris Lazarević član

Zahvala

Zahvaljujem se poštovanom mentoru na ukazanom povjerenju i nesebičnom pomaganju u izradi ovog rada. Zahvaljujem se i povjerenstvu na izdvojenoj pažnji i vremenu.

Sadržaj

Sadržaj	6
1. Uvod	1
1.1. Cilj rada.....	1
2. Klimatske promjene.....	3
2.1. Utjecaji klimatskih promjena u svijetu	4
2.2. Posljedice klimatskih promjena na okoliš i poljoprivredu.....	6
3. Precizna poljoprivreda	9
3.1. Precizna poljoprivreda i održivost	10
4. Daljinska istraživanja	11
4.1. Princip rada senzora na bespilotnim letjelicama u poljoprivredi.....	12
5. Bespilotni zrakoplov - UAV.....	14
5.1. Prednosti UAV ispred strojeva s posadom	17
6. Bespilotni zrakoplovni sustav - UAS	18
7. Primjena UAS u poljoprivredi	20
7.1. Praćenje opskrbljenosti hranjivima kod biljaka.....	20
7.2. Detekcija bolesti i štetnika.....	22
7.3. Prikupljanje informacije o tlu pomoću bespilotnih letjelica.....	23
8. UAS u poljoprivredi protiv čimbenika klimatskih promjena.....	25
8.1. SWOT analiza bespilotnih zrakoplovnih sustava u poljoprivredi	26
9. Zaključak.....	28
10. Popis literature	29
Životopis.....	36

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Franko Kelava**, naslova

BESPILOTNI ZRAKOPLOVNI SUSTAVI U PRILAGOĐAVANJU POSLJEDICAMA KLIMATSKIH PROMJENA

Klimatske promjene, koje karakteriziraju porast globalne temperature, ekstremni vremenski događaji kao i degradacija okoliša, predstavljaju značajne izazove za ekosustave i ljudska društva. Sustavi bespilotnih zrakoplova (UAS - eng. Unmanned Aerial System) kao dio precizne poljoprivrede, imaju važnu ulogu u prilagođavanju posljedicama klimatskih promjena. Precizna poljoprivreda integrira tehnologiju, komunikacije i podatke i nudi transformativna rješenja koja bi mogla ublažiti klimatske promjene i njezine posljedice. U ovom radu su prikazana i istraživanja povezana s primjenom UAS-a o ovisnosti s klimatskim promjenama kroz pregled više od 70 literaturnih navoda. Posljedice klimatskih promjena negativno utječu na poljoprivredni sektor. Precizna poljoprivreda u potpunosti omogućuje mogućnostima koje pružaju bespilotni zrakoplovi donosi mnoštvo prednosti kroz povećanje prihoda, smanjenje ulaznih troškova i sredstava kao što su pesticidi, mineralna gnojiva i fosilna goriva. Kroz SWOT analizu u ovom radu su prikazane trenutne i buduće snage, slabosti, prilike i prijetnje UAS-a u funkciji alata prilagodbe klimatskim promjenama u poljoprivredi. Politika EU-a prepoznala je važnost i podupire primjenu UAS-a kao dio strategije u borbi i ublažavanju posljedica klimatskih promjena i na taj način omogućava donošenje odluka za otpornu poljoprivredu budućnosti.

Ključne riječi: klimatske promjene, precizna poljoprivreda, bespilotni zrakoplovi, prilagođavanje, prikupljanje podataka

Summary

Of the master's thesis – student **Franko Kelava**, entitled

UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN ADAPTATION TO THE CLIMATE CHANGES IMPACTS

Climate change, characterized by an increase in global temperature, extreme weather events and environmental degradation, pose significant challenges for ecosystems and human societies. Unmanned aerial systems (UAS - eng. Unmanned Aerial System) as part of precision agriculture, have an important role in adapting to the consequences of climate change. Precision agriculture integrates technology, communications and data and offers transformative solutions that could mitigate climate change and its consequences. This paper also presents research related to the application of UAS on dependence on climate change through a review of more than 70 literature references. The consequences of climate change have a negative impact on the agricultural sector. Precision agriculture in the supported possibilities provided by unmanned aircraft brings many advantages through increasing income, reducing input costs and resources such as pesticides, mineral fertilizers and fossil fuels. Through a SWOT analysis, this paper presents the current and future strengths, weaknesses, opportunities and threats of UAS as a tool for adapting to climate change in agriculture. EU policy has recognized the importance and supports the application of UAS as part of the strategy to fight and mitigate the consequences of climate change and thus enables decision making for resilient agriculture of the future.

Keywords: climate change, precision agriculture, drones, adaptation, data collection

1. Uvod

Poljoprivredna proizvodnja je posljednjih desetljeća pod snažnim utjecajem sve očitijih klimatskih promjena koje se očituju kroz porast temperature zraka, tla, vodenih površina i posljedično ekstremnim vremenskim prilikama u vidu padalina, suša, erozije tla, oluja i požara. Takvi uvjeti utječu na poljoprivrednu proizvodnju i sigurnost proizvodnje hrane. Pametan i precizan pristup proizvodnim operacijama u poljoprivredi kroz korištenje bespilotnih zrakoplovnih sustava su prepoznati kao moguće rješenje problema, ali su primjenjivost, mogućnosti i isplativost u praksi još uvijek nedovoljno poznati. Iznenadne klimatske nepogode i promjene u okolini utječu na poljoprivrednu proizvodnju i sigurnost proizvodnje hrane. Kako bi se povećala sigurnost proizvodnje hrane, poljoprivreda zahtijeva automatizaciju i inteligenciju koja objedinjuje informacijske i komunikacijske tehnologije (Hunter i sur., 2017.).

Precizna poljoprivreda, kao odgovor na novonastale okolnosti, nudi rješenja i nosi velik broj potencijalnih prednosti koje se očituju kroz povećanje isplativosti, produktivnosti, održivosti, kvaliteti poljoprivrednih proizvoda, zaštiti okoliša, kvaliteti života na farmi, sigurnosti hrane i ruralnom gospodarskom razvoju. Ona je aktivno područje koje donosi nove mogućnosti za budućnost, kroz pravovremen i precizan pristup proizvodnim operacijama u poljoprivredi kroz integrirani međunarodno standardizirani pristup čiji je cilj povećati učinkovitost korištenja resursa i smanjiti neizvjesnost u donošenju odluka potrebnih za upravljanje varijabilnošću u poljoprivrednim gospodarstvima (Liaghat i Balasundram, 2010.). Takav način gospodarenja je jedan od najmodernijih pristupa proizvodnoj poljoprivredi u 21. stoljeću kojim se mogu umanjiti negativni učinci poljoprivrede na klimatske promjene. Precizna poljoprivreda se zasniva na kombinaciji temeljnih tehnologija kao što su prikupljanje podataka, dijagnoza, analiza i planiranje upravljanja, precizne terenske operacije i procjene (Srinivasan, 2006.). U tehnologiji prikupljanja podataka značajni udio predstavlja primjena bespilotnih letjelica. Bespilotni zrakoplovi kao platforme za prikupljanje podataka u daljinskim istraživanjima najčešće se koriste za kartiranje i suzbijanje korova, praćenje promjena rasta vegetacije i procjene prinosa, praćenje i otkrivanje bolesti te planiranje i provođenje mjera zaštite bilja i planiranje navodnjavanja. Iako su mogućnosti korištenja bespilotnih zrakoplova velike kao i izazovi koji su postavljeni dodatno kroz globalne trendove u poljoprivredi i klimatske promjene, njihova apsolutna učinkovitost, potencijal i isplativost nisu posve poznati.

1.1. Cilj rada

Cilj ovog rada je dati uvid u značenje klimatskih promjena i precizne poljoprivrede za poljoprivredni sektor diljem svijeta te pregled dosadašnjih istraživanja o korištenju i primjenama bespilotnih zrakoplovnih sustava za ublažavanje negativnih posljedica klimatskih promjena.

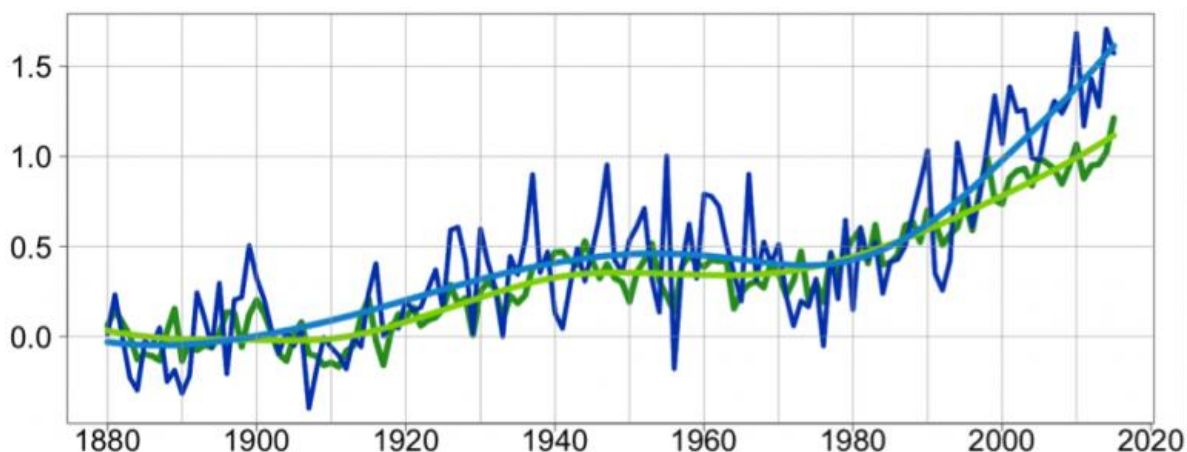
Drugi cilj je izložiti modele primjene bespilotnih zrakoplovnih sustava obzirom na učinkovitost i isplativost.

2. Klimatske promjene

Klimatske i ekološke promjene kao posljedica ljudske aktivnosti ubrzale su se posljednjih nekoliko desetljeća. Prosječne godišnje temperature zraka i mora su više, razina mora je narasla i sve su češća sušna razdoblja. Te promjene podrazumijevaju brojne rizike za ekosustave i dobrobit ljudi. Dodatno, vodni resursi su izloženi interakcijskim pritiscima brzog rasta stanovništva, urbanizacije, turizama, uz degradaciju okoliša (UN/MAP, 2017.).

Porast globalne temperature od sredine prošlog stoljeća izuzetno je izražen i dominantno je uzorkovan s porastom koncentracije ugljičnog dioksida, najvažnijeg stakleničkog plina. Prema procjeni Međuvladinog panela za klimatske promjene (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) iz 2014. godine porast koncentracije ugljičnog dioksida i porast globalne temperature s velikom pouzdanošću mogu se pripisati ljudskom djelovanju.

Nadalje, kada je riječ o budućim predviđanjima, razdoblje 2081. - 2100. godine u odnosu na 1986.-2005. uključuje porast srednje površinske temperature zraka od 2 do 4° C, smanjenje 10–20 % prosječne godišnje padaline, povećan rizik od dezertifikacije i degradacije tla, povećanje trajanja i intenziteta suša, ljetni toplinski valovi, promjene u sastavu vrsta, porast invazivnih vrsta, gubici staništa i gubici u poljoprivredi i šumarstvu, prema istraživanjima navedenim u Petom izvješću o procjeni IPCC-a (2014.). Na Mediteranu prosječne godišnje temperature sada su za 1,4 °C više nego u razdoblju 1880.-1899., što je znatno više od trenutnih trendova globalnog zagrijavanja, posebno ljeti (Graf 2.1.) (Marini, 2018.).



Graf 2.1. Zagrijavanje atmosfere (godišnje anomalije srednje temperature u odnosu na razdoblje 1880.-1899.), Mediteran (plava linija) usporedno s cijelom zemljom (zelena linija).

Izvor: <http://berkeleyearth.org/>

Očekuje se da će klimatske promjene uzrokovati ubrzani porast razine mora s povišenim plimnim natapanjem, povećanom učestalošću poplava, ubrzanom erozijom,

porastom vodostaja, povećanim prodiranjem slane vode, porastom olujnih udara i sve većom učestalošću ciklona (Fenster i Dolan, 1996.). Do 2050. godine, predviđa se i porast ukupne razine Sredozemnog mora od 7 do 12 cm u usporedbi s prošlim desetljećima, a veći porast razine mora pojaviti će se na obalama istočnog i južnog Sredozemlja (Gualdi i sur., 2013.). Hrvatska je zemlja u sredozemnoj regiji, koja je nazvana klimatski "vruća točka" te je već dosegnut prosječni porast temperature od 1,5 °C s posebno izraženim utjecajima klimatskih promjena (ekstremni vremenski događaji, širenje sušnih područja, porast razine mora).

Organizacija za hranu i poljoprivredu (eng. *Food and Agricultural Organization - FAO*) i Plan Bleu (FAO, 2018.) navode moguće očekivane posljedice klimatskih promjena na prirodni okoliš na Mediteranu:

- Brza promjena u vodenom ciklusu zbog povećanog isparavanja i smanjenja padalina (između 15 i 30 % do 2030.);
- Smanjenje kapaciteta za skladištenje vode u tlu (zbog promjene poroznosti koja je posljedica promjene temperature, sušenje tla) i samim tim ubrzanje dezertifikacije koje je već u tijeku (prekomjerno iscrpljivanje tla);
- Istrebljenje najviše klimatsko osjetljivih ili najmanje pokretnih vrsta i kolonizacija novim vrstama.

Prema navedenom, hrvatska politika i gospodarstvo trebaju usmjeriti resurse prema novim tehnologijama, kako bi se poljoprivrednici mogli prilagoditi navedenim klimatskim promjenama, od kojih je UAS jedna od njih.

2.1. Utjecaji klimatskih promjena u svijetu

Utjecaji klimatskih promjena su najuočljiviji na Afričkom kontinentu. Prilagođavanje klimatskim promjenama je u tim područjima znatno otežano zbog siromaštva, nedostatka hrane, političkih sukoba i degradacije ekosustava.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena za područje Afrike (IPCC, 2014.) su:

- Nedostatak vode, do 600 milijuna ljudi će imati otežani pristup vodi do 2050. godine.
- Utrostručenje urbanog stanovništva čime će se povećati siromaštvo i smanjiti pristup osnovnim životnim uvjetima.
- Otežana poljoprivredna proizvodnja te time i smanjen pristup hrani.
- Porast razine mora do kraja 21. stoljeća se utjecati na stanovništvo naseljeno na obalnim područjima, uključujući Senegal, Liberiju i Mozambik.
- Povećanje zdravstvenih problema zbog pothranjenosti stanovništva.

Azija se suočava s poplavama i kamenim lavinama zbog topljenja ledenjaka. Povlačenje ledenjaka se povećava rekordnom brzinom, gdje se pokrivenost ledenjaka na nekim područjima svela na 20% u rasponu od jednog stoljeća.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena za područje Azije (IPCC, 2014.) su:

- Smanjena dostupnost slatke vode, osobito u središnjoj i jugoistočnoj Aziji. Uz rast stanovništva i sve veću potražnju zbog povećanja životnog standarda, smanjena dostupnost vode će nepovoljno utjecati na više od milijardu ljudi do 2025.
- Povećanje poplava uz more i rijeke prijete gusto naseljenim područjima, posebice regijama na jugu i jugoistoku Azije uz delta rijeka.
- Otežana poljoprivredna proizvodnja.
- Povećanje smrtnosti i zdravstvenih problema (probavne smetnje) zbog predviđenih promjena u hidrološkom ciklusu u istočnoj, južnoj i jugoistočnoj Aziji.

Australija i Novi Zeland se suočavaju sa problemom sigurnosti vode (eng. *water security*) koji će se pojačavati s globalnim prosječnim zatopljenjem od 1 °C u jugozapadnoj i jugoistočnoj Australiji te u sjevernim i nekim istočnim dijelovima Novog Zelanda.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena za područje Australije (IPCC, 2014.) su:

- Rizik za bioraznolikost unutar ekološki bogatih područja, uključujući *Great Barrier Reef* i *Queensland Wet Tropics*.
- Povećanje razine mora, oluje i poplave će nastaviti negativno utjecati na obalna područja, posebice na rastuće stanovništvo područja Cairns i jugoistočnog Queensland-a u Australiji te područja Novog Zelanda od Northland-a do Bay of Plenty.
- Učestalost klimatskih nepogoda kao što su požar i suša će nastaviti pad poljoprivredne i šumske proizvodnje u većem dijelu južne Australije te sjevernih i istočnih dijelova Novog Zelanda. Prema USGCRP (eng. *US Global Change research Program*) (2016.), zabilježena je povećana smrtnost (suicid) poljoprivrednika na sušnim područjima.
- Oluje i toplinski udari će povećati smrtnost ljudi i nastaviti uništavanje infrastrukturnih sustava (kanalizacija, brane, odvodi, električni vodovi).

Europa već duže vrijeme bilježi negativne posljedice i učinke klimatskih promjena, uključujući povlačenje ledenjaka, porast razine mora, produženi vegetacijski rast bilja, promjene staništa životinjskih vrsta te zdravstveni utjecaj toplinskih valova na ljude. Negativni socijalni, zdravstveni i infrastrukturni učinci klimatskih promjena će najvjerojatnije imati utjecaj na gotovo sve europske regije.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena, za područje Europe (IPCC, 2014.) su:

- Povišene temperature u južnoj Europi će nastaviti smanjenje dostupnosti vode, potencijala hidroenergije, ljetnog turizma i produktivnosti usjeva, te time otežati gospodarsku aktivnost.
- U središnjoj i istočnoj Europi se očekuje smanjenje ljetnih padalina.
- Pad produktivnosti šuma.
- Povećanje učestalosti požara na tresetištima (eng. *Peatland fire*)
- Češće zimske poplave, ugroženi ekosustavi i povećana nestabilnost tla zbog odmrzavanja permafrosta su učinci klimatskih promjena koji su predviđeni za sjevernu Europu.

Klimatske promjene povećavaju temperature diljem Južne Amerike, smanjuju padaline u nekoliko njezinih zemalja, dovode do brzog povlačenja ledenjaka u Andama i uzrokuju podizanje razine mora na pacifičkoj i atlantskoj obali.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena u Središnjoj i Južnoj Americi (IPCC, 2014.) su:

- Do sredine stoljeća, povećanje temperature i smanjenje vlage u tlu će uzrokovati postupnu zamjenu tropske šume u istočnoj Amazoni zajednicom visokih trava.
- U sušnim područjima, klimatske promjene će produžiti sušna razdoblja, to će dovesti do povećanja salinizacije i dezertifikacije poljoprivrednih zemljišta.
- Smanjenje produktivnosti stoke i važnih poljoprivrednih usjeva kukuruza i kave.
- Porast razine mora će povećati rizik od poplava, raseljavanja ljudi, salinizacije izvora pitke vode i obalne erozije u nižim područjima. To će uvelike utjecati na ribolovne zalihe, rekreaciju i turizam.
- Promjene u obrascima padalina i topljenje ledenjaka će značajno utjecati na dostupnost vode za ljudsku potrošnju, poljoprivredu i proizvodnju energije.
- Klimatske promjene i prenamjene zemljišta će povećati stope izumiranja vrsta.
- Toplije vrijeme, blaže zime i promjene u obrascima padalina povećavaju učestalost vektorskih bolesti (*chikunguya* virus, vektor komarac)

Tijekom posljednjih godina, kontinent Sjeverne Amerike bilježi povećanje stope i intenziteta klimatskih nepogoda, od porasta temperatura do razornih suša i šumskih požara.

Predviđanja utjecaja klimatskih promjena, IPCC (2014.), u Sjevernoj Americi su:

- Globalno zagrijavanje će nastaviti topljenje snježnog pokrivača zapadnih planina, povećati poplave i smanjiti ljetna strujanja zraka.
- Šume će biti pod pritiskom od napada štetnih organizama, bolesti i požara. Razdoblje visokog rizika od požara će biti produženo i zahvaćat će šira područja.
- Temperaturni porast će smanjiti prinos kukuruza i pamuka centralnog i sjevernog poljoprivrednog područja kontinenta, gdje taj gubitak u najgorem scenariju može iznositi i do 80 % do kraja stoljeća.
- Povećanje broja, intenziteta i trajanja toplinskih valova sa štetnim utjecajima na zdravlje ljudi i infrastrukturu gradova.

2.2. Posljedice klimatskih promjena na okoliš i poljoprivredu

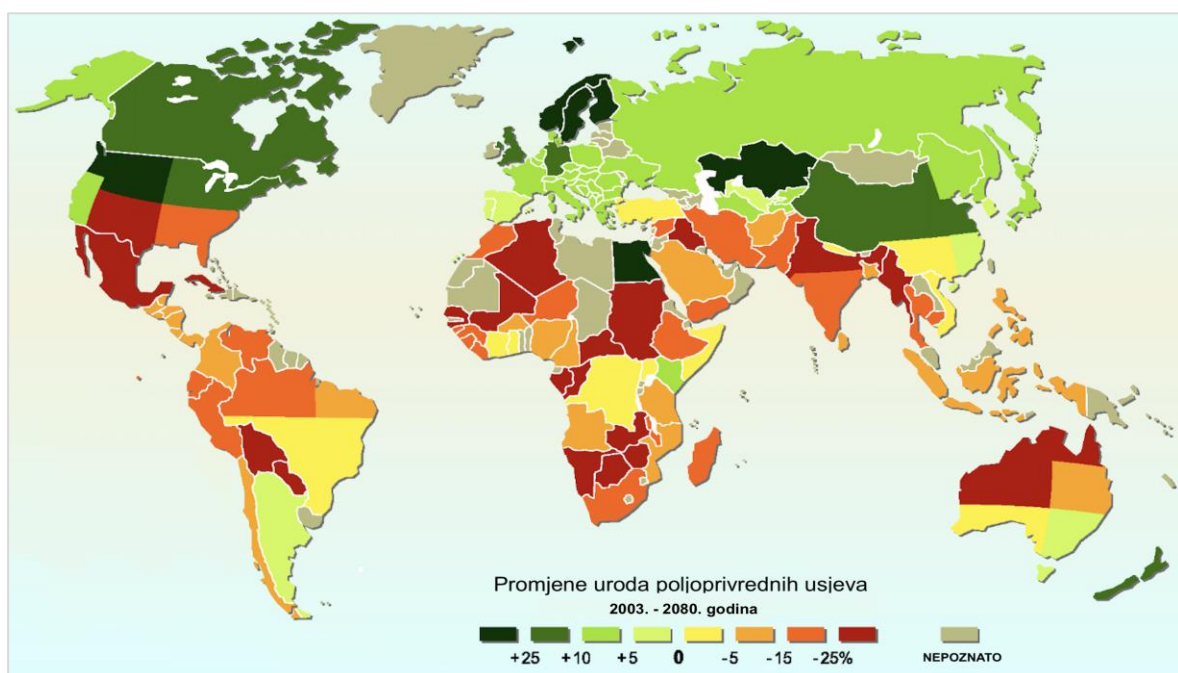
Posljedice klimatskih promjena na prirodu, koje imaju direktno negativan utjecaj na poljoprivredu (Europska komisija, 2023b.) su:

- Povećanje prosječne globalne temperature i sve češći temperaturni ekstremi, primjerice toplinski valovi. Porast temperature vjerojatno će donijeti i fenološke promjene – promjene u ponašanju i životnom ciklusu životinjskih i biljnih vrsta. To bi pak moglo dovesti do porasta broja štetnih i invazivnih organizama. Uz to, mogli bi se smanjiti prinosi i održivost poljoprivrede i stočarstva, kao i kapacitet ekosustava za pružanje važnih usluga i

dobara (kao što su čista voda i svježi zrak). Porastom temperature povećava se isparavanje vode, što zajedno s manjkom padalina, povećava rizik od velikih suša.

- Manja dostupnost slatke vode. Očekuje se da će češće i ozbiljnije suše te porast temperature vode rezultirati smanjenjem kvalitete vode. Takvi uvjeti potiču rast toksičnih algi i bakterija, što će dodatno pogoršati problem nestašice vode, koji je u velikoj mjeri uzrokovan ljudskim djelovanjem. Povećanje učestalosti poplava. Očekuju se veliki gospodarski gubitci diljem Europe, podizanje razine mora i obalnih područja. Osim toga, predviđa se da će se zbog porasta razine mora smanjiti količina dostupne slatke vode jer će se morska voda probijati dublje u podzemne vode. To će vjerojatno dovesti i do mnogo većeg prodora slane vode u slatkovodna tijela, što će utjecati na poljoprivredu i opskrbu pitkom vodom.
- Degradacija tla. Klimatske promjene mogu povećati probleme erozije, smanjenja količine organskih tvari, salinizacije, gubitka bioraznolikosti u tlu, klizišta, dezertifikacije i poplava
- Porast površinske temperature mora, zakiseljavanje oceana i promjene struja i vjetra. Zbog promjena u temperaturama i oceanskim strujanjima mogla bi se promijeniti zemljopisna rasprostranjenost ribe. Porast temperature mora mogao bi omogućiti i širenje stranih vrsta u regije u kojima prije nisu mogle preživjeti. Zakiseljavanje oceana, primjerice, utjecat će na razne organizme koji stvaraju kalcijev karbonat.

William Cline u svom članku objavljenom na stranici Međunarodnog monetarnog fonda pod naslovom globalno zagrijavanje i poljoprivreda iz 2008. godine predviđa promjene u urodu poljoprivrednih kultura u razdoblju od 2003. do 2080. godine diljem Svijeta, gdje će neke države povećati proizvodnju (Rusija, Argentina), a druge smanjiti (Afrika) (Slika 2.2.).



Slika 2.2. Promjene u urodu poljoprivrednih kultura diljem Svijeta.

Izvor: Celine, 2007.

Nekoliko čimbenika moglo bi potencijalno utjecati na poljoprivredu Mediterana i Hrvatske (Kovats i sur., 2014.):

- degradacija tla koja je na nekim dijelovima mediteranskog bazena već intenzivna, može pogoršati utjecaj klimatskih promjena na poljoprivredu;
- Regionalne projekcije pokazuju značajno smanjenje vlage tla i resursa podzemne vode, što može ograničiti mogućnosti navodnjavanja;
- Učestalost i opseg požara značajno su porasli nakon 1970-ih u usporedbi s prethodnim desetljećima kao rezultat akumulacije goriva, klimatskih promjena i ekstremnih vremenskih pojava, a bili su povezani s jakim vjetrovima tijekom vrućih i sušnih razdoblja;
- Očekuje se da će mediteranski bazen pretrpjeti više ekoloških stresova zbog klimatskih promjena, poput promjena u sastavu biljnih vrsta, povećanja invazivnih vrsta, gubitaka staništa i degradacije, što dovodi do gubitaka poljoprivredne i šumske proizvodnje zbog sve većih toplinskih valova;
- Smanjenje proljetnih padalina povezanih s višim temperaturama očekuje se u nekim područjima, a povećanje upotrebe podzemne vode za navodnjavanje može dovesti do dodatne zabrinutost u pogledu vodnih resursa.

Izravni i neizravni utjecaji klimatskih promjena moduliraju se različitim čimbenicima poput zemljopisnog položaja, specifičnih karakteristika životinja i biljaka, intenziteta ekstremnih događaja i razine izloženosti (Dono i sur., 2016.). Porast temperatura dovodi do češćih suša, šumskih požara i pojava invazivnih štetnika, što dovodi do gubitka biljnih vrsta. Neki od brojnih štetnih učinka klimatskih nepogoda su smanjena produktivnost, stres zbog suše i učestalosti toplinskih valova što na kraju dovodi do smanjene produktivnosti (NPS, 2023.).

Izravni utjecaji klimatskih promjena na primjeru stoke, uključuju promjene u načinu prehrane i promjene fiziologije životinja, a neizravni utjecaji uključuju ekologiju patogena, kvalitetu vodenih resursa i povećanu smrtnost pojedinaca. Promjena kvalitete uvjeta držanja stoke posljedično mijenja sigurnost i dostupnost hrane, emisije stakleničkih plinova te dolazi i do varijabilnosti prihoda na farmama (Dono i sur., 2016.).

Neizravni učinci klimatskih promjena uključuju difuziju parazita i patogena kao i povećanu invazivnost nekih biljnih vrsta. Gubitak biološke raznolikosti i degradacija tla zbog prirodnih nepogoda moraju se razmatrati u okviru velike slike izazova klimatskih promjena (Dono i sur., 2016.).

Postoji mnogo primjera kako se poljoprivreda i stočarstvo na Mediteranu mogu bolje prilagoditi klimatskim promjenama. Klimatske promjene se mogu ublažiti dobrim praksama i inovacijama. Olakšano praćenje klimatskih promjena, kvalitete zraka, bioraznolikosti, površina, zagađenosti i slično može biti olakšano i dostupno globalnim i lokalnim monitoringom zemlje uz pomoć UAV-a i UAS-a. Primjer praćenja je globalni monitoring¹ UN-

¹ Internetska platforma globalnog monitoringa UN-a dostupna na: <https://wesr.unep.org/topic/globalmonitoring>

a, gdje internetska platforma pruža pristup informacijama u stvarnom vremenu, omogućujući svim zainteresiranim da istražuju, vizualiziraju trendove i koriste podatke.

3. Precizna poljoprivreda

Precizna poljoprivreda (*Precision agriculture*) se temelji na novo razvijenim informatiziranim strojnim sustavima programiranog eksploatacijskog potencijala, malom broju strojeva visoke pouzdanosti i visokih tehnoloških mogućnosti (Jurišić i sur., 2015.). Uvođenjem visokih i sofisticiranih tehnoloških sustava u poljoprivredne strojeve, stvaraju se mogućnosti ostvarivanja visoke kvalitete konačnoga proizvoda te visoke konkurentnosti (Jurišić i Plaščak, 2009.). Pierce i Nowak (1999.) definiraju preciznu poljoprivredu kao primjenu tehnologija i načela za upravljanje prostornom i vremenskom varijabilnošću povezanom sa svim aspektima poljoprivredne proizvodnje u svrhu poboljšanja performansi usjeva i kvalitete okoliša. Precizna poljoprivreda je ciklički postupak optimizacije gdje se podaci moraju skupljati s terena, analizirati i ocjenjivati te konačno koristiti kod donošenja odluka u upravljanju određenom površinom (Balafoutis i sur., 2017.).

Precizna poljoprivreda je kompleksan pojam koji podrazumijeva obavljanje poljoprivrednih radova u pravo vrijeme i na pravom mjestu s ciljem postizanja visoke produktivnosti, odnosno ostvarenja visokih prinosa visoke kvalitete, uz najnižu cijenu rada, uz maksimalnu uštedu radnih sredstava te uz smanjenje štetnih utjecaja na okoliš. Ekonomski gledano cilj preciznog gospodarjenja je optimizacija prinosa odnosno postizanje najveće moguće dobiti uz što niža ulaganja. S ekološkog aspekta cilj je proizvodnja zdrave hrane pri čemu se vodi računa o zaštiti prirode kroz ciljanu i minimalnu uporabu kemijskih sredstava (zaštitnih sredstava, mineralnih gnojiva i ostalog).

Prema Lemić i sur. (2021.) precizna poljoprivreda temelji se na korištenju podataka iz mnogobrojnih izvora koji proizvođaču omogućava učinkovito upravljanje gospodarstvom te donošenje ključnih odluka u najkraćem vremenu. Omogućuje povećanje produktivnosti gospodarstava poboljšavanjem prinosa, istodobno smanjujući troškove bez negativnog utjecaja na okoliš (Tey i Brindal, 2012.; Michels i sur., 2020. cit. Lemić i sur., 2021.). Glavni cilj precizne poljoprivrede je prilagoditi poljoprivrednu praksu potrebama uzgajane kulture, prikupljanjem točnih informacija u pravo vrijeme, o stanju usjeva, tla i okoliša.

Tehnologije precizne poljoprivrede su podijeljene u tri veće kategorije koje pokrivaju prije spomenuti ciklički sustav precizne poljoprivrede, prema Balafoutis i sur. (2017.) to su:

- Tehnologije prikupljanja podataka: ova kategorija sadrži sve tehnologije snimanja, mapiranja, navigacije i otkrivanja.

- Tehnologije analize i procjene podataka: te se tehnologije kreću od jednostavnih računarskih modela odlučivanja do složenih sustava upravljanja poljoprivrednim gospodarstvom, te od informacijskih sustava koji uključuju mnogo različitih varijabli;
- Tehnologije precizne primjene: ova kategorija sadrži sve aplikacijske tehnologije.

Prema Pedersenu i Lind (2017.) precizna poljoprivreda se sastoji se od četiri elementa: geografskog pozicioniranja (GPS), prikupljanja informacija, sustava za podršku odlučivanja i varijabilnog tretmana. Slično, Srinivasan (2006.) prikazuje preciznu poljoprivredu kao način gospodarenja temeljen na prikupljanju podataka, dijagnozi, analizi i planiranju, preciznim terenskim operacijama i procjeni (Graf 3.1).



Graf 3.1. Prikaz temeljnih načela precizne poljoprivrede.

Izvor: Srinivasan, 2006.

3.1. Precizna poljoprivreda i održivost

Obzirom na niz prednosti u vidu profitabilnosti, produktivnosti, održivosti, kvaliteti usjeva, zaštiti okoliša, kvaliteti života na farmi, sigurnosti hrane i ruralnom gospodarskom razvoju možemo reći da precizna poljoprivreda obećava revoluciju u poljoprivredi. Prikupljanjem podataka i kartiranjem poljoprivrednog zemljišta, poljoprivrednici mogu učinkovitije predvidjeti i/ili ispraviti probleme poput nedostatka vode i hranjivih tvari, bolesti i štetnika (Tey i Brindal, 2012.). Također, poljoprivrednici mogu prostorno optimizirati proizvodnju pronalaženjem lokacija koje proizvode maksimalni profit, odnosno prihod, te primijeniti to znanje na ostatak zemljišta. Važno je spomenuti da je ekološka i ekonomska održivost postignuta preciznom vremenskom i prostornom upotrebom navodnjavanja, gnojiva (posebice N) i sredstva za suzbijanje zaraza i štetnika (Srinivasan, 2006.). Socijalna održivost je

postignuta otvaranjem novih radnih mjesta, omogućenom edukacijom, te smanjenjem dugotrajnih, teških i zamornih poslova.

Na državnoj i regionalnoj razini, prostorna i vremenska karakterizacija farmi može pomoći u prepoznavanju novih trendova, bilo u zemljopisnim regijama ili u specifičnim agroekološkim zonama, te u pravovremenoj reakciji i pronalaženju mogućih rješenja. Izgradnje baza podataka o površinama država (primjer ARKOD, više u poglavlju 7.4. Informacije o tlu) te ujedinjenje tih baza u regionalni prikaz može pomoći u prepoznavanju novih trendova koji utječu na održivost gospodarstva u specifičnim agroekološkim zonama (Srinivasan, 2006.).

4. Daljinska istraživanja

Jedna od bitnih disciplina na kojoj se bazira prikupljanje podataka u preciznoj poljoprivredi su daljinsko istraživanja (eng. *Remote sensing*). Daljinska istraživanja predstavljaju skup metoda za prikupljanja podataka o objektu ili području sa značajne udaljenosti, kao s radarom ili infracrvenom fotografijom, za promatranje Zemlje ili nebeskog tijela.

Tehnologije prikupljanja podataka se mogu podijeliti na GNSS (eng. *Global Navigation Satellite System*) tehnologije koje bilježe stvarni položaj koji se može koristiti u različite svrhe, tehnologije mapiranja i tehnologije prikupljanje podataka o ekološkim svojstvima okoliša (Balafoutis i sur., 2017.).

GNSS je opći pojam za satelitske navigacijske sustave koji pružaju autonomno geoprostorno pozicioniranje s globalnom pokrivenošću. Postoje četiri operativna GNSS sustava (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou) (Pedersen i Lind, 2017.).

Senzori kao što su primjerice RGB i termalne kamere, snimaju površinu iznad koje se nalaze te iz daljine prikupljaju podatke. Daljinsko istraživanje je tehnologija koja se brzo širi i primjenjuje se u raznim poljoprivrednim aplikacijama u kojima se prikupljaju snimke u različitim spektralnim područjima i koriste za razumijevanje biofizičkih i biokemijskih svojstva poljoprivrednih usjeva (Singh i sur., 2020.).

Razvojem tehnologije daljinskog istraživanja i sve češćim korištenjem bespilotnih zrakoplova koji nisko lete, dobivaju se slike visoke kvalitete i rezolucije. Uporabom spektralnih slika, dobivenih daljinskim istraživanjem, poljoprivrednici mogu detektirati stres kod biljaka zbog nedostatka hranjivih tvari, vode ili suše kao i prisutnost štetnika, korova i bolesti. Između ostaloga, mogu se prikupljati i informacije o rastu biljaka i kemijskim karakteristikama tla (eng. *soil health*) (Sylvester, 2018.; Vayssade i sur., 2019.). Također, poljoprivrednici mogu dokumentirati štete od divljih životinja. Zbog sve češćih klimatskih nepogoda, korisno je i praćenje suše i tuče u svrhu pripreme i osiguranja od istih (Michels i sur., 2020.).

4.1. Princip rada senzora na bespilotnim letjelicama u poljoprivredi

Ovisno o namjeni, postoji više različitih senzora koji se mogu montirati na bespilotni zrakoplov. Većina komercijalnih bespilotnih zrakoplova ima ugrađene RGB senzore odnosno kamere koje bilježe sliku u plavo, zeleno i crvenom dijelu spektra. Snimke multispektralnih i hiperspektralnih kamera koriste se za izradu karata vegetacijskog indeksa normalizirane razlike, skraćeno vegetacijskog indeksa (*Normalized Difference Vegetation Indeks – NDVI*), koji mogu razlikovati tlo od trave ili šume, otkriti biljke pod stresom i detektirati razliku između različitih usjeva i faza usjeva (Sylvester, 2018.). Biljke vidimo u zelenoj boji, jer je reflektirana svjetlost u području 495–570 nm. Spektralni odaziv vegetacije manifestira se kao apsorpcija u vidljivom i refleksija u NIR spektru (Oluić 2001.). Razine apsorpcije i refleksije snimane površine definiraju se karakteristike vrsta i tipova vegetacije i razlikuju korovi (Slika 4.1.1).

Među poznatijim sustavima senzora ističu se OptiRx sustav, GreenSeeker sustav, CropSpec sustav. Sva tri sustava koriste tehnologiju aktivnoga mjerenja refleksije određenog dijela spektra svjetlosti kod usjeva (Jurišić i sur., 2015.).

Prema Harbaš (2014.) spektar refleksije vegetacije se dijeli na vidljivi (od 0,4 μm do 0,7 μm), blisko infracrveni (od 0,701 μm do 1,3 μm) te kratki infracrveni (*Shortwave Infrared – SWIR*) (od 1,301 μm do 2,5 μm).

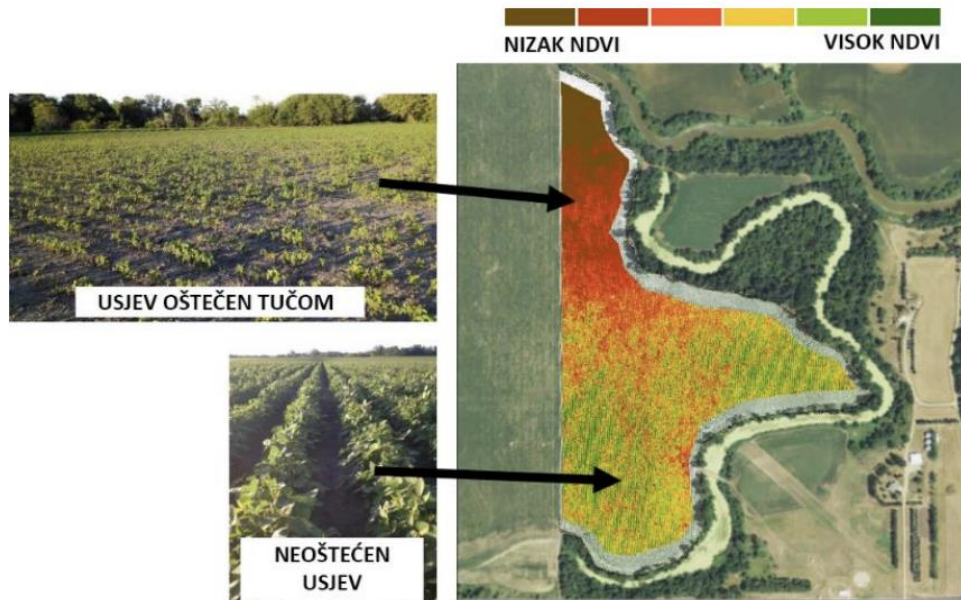


Graf 4.1.1. Princip rada bespilotnih zrakoplova s kamerom na primjeru detekcije i preciznog prskanja korova.

Izvor: Gospodarski list, 2014; cit. Jurišić i sur., 2015.

Dodatno, stupnjem apsorpcije i refleksije se definira i gustoća biomase i zdravstveno stanje vegetacije (Oluić, 2001.) gdje se poznate vrijednosti koriste kao referenca za analizu vegetacijskog pokrova. NDVI indeks se razlikuje kod različitih faza usjeva, stoga praćenje rasta u ključnim fazama može pomoći kod pružanja točne procjene prinosa usjeva, te ukoliko je potrebno, pomoći u ranom rješavanju problema. NDVI indeks oslanja se na činjenicu da lišće reflektira određenu količinu zračenja u bliskom infracrvenom spektru (*Near Infrared – NIR*),

što se u slučaju kada biljka dehidrira ili je pod stresom mijenja. Pod stresom, lišće reflektira manje zračenja u NIR spektru, dok refleksija ostaje ista promatranjem vidljivog spektra (Huang i sur., 2013.) (Slika 4.1.2).



Slika 4.1.2. Prikaz razlike NDVI indeksa, snimljenog senzorskom kamerom na UAV-u, primjer usjeva pod stresom zbog klimatske nepogode.

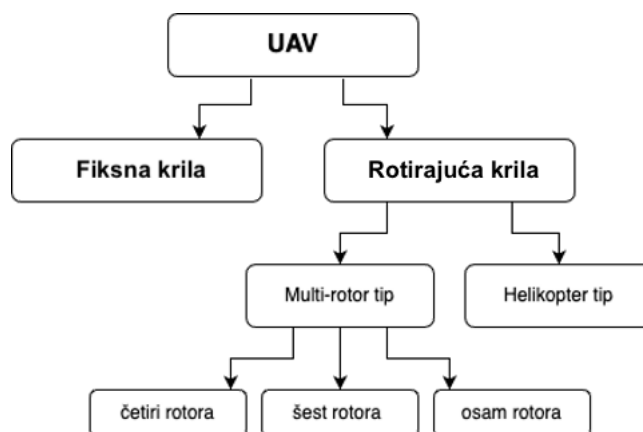
Izvor: <https://umanitoba.ca/agricultural-food-sciences/school-agriculture/school-manitoba-agronomists-conference>

5. Беспилотни zrakoplov - UAV

Bespilotni zrakoplov ili беспилотна летјелца (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) je zrakoplov namijenjen izvođenju operacija bez pilota, a upravljani je daljinski ili autonomno (NN 127/13). Primjena беспилотних zrakoplova, u počecima razvoja, je bila isključivo za vojne svrhe i nadziranje površina, no u posljednje se vrijeme njihova primjena proširila u komercijalne svrhe, znanstvena istraživanja te poljoprivredu. Brzina razvoja беспилотних летјелца diktira razvoj tehnologije, a pod time se podrazumijeva razvoj sustava kao: žiroskopski sustavi i njihova preciznost; sustavi podataka za zrak i njihova preciznost; radijski zapovjedni sustavi s povećanjem dosegom i zaštitom; radijski i radarski sustavi za praćenje; razvoj slikovne obrade u nekoliko valnih duljina i fuziji; izvršenje prekida radijske veze; radijski, laserski i akustični barometri; GPS sustavi; računala velike brzine i komunikacije fokusirane na mrežni rad; “osjeti i izbjeći” tehnologija (Austin, 2010.).

UAV imaju veliki potencijal u poljoprivredi kod pružanja potpore planiranja temeljenog na dokazima i u prikupljanju prostornih podataka (Sylveste, 2018.). Беспилотни zrakoplov je dio precizne poljoprivrede i беспилотnog zrakoplovnog sustava (UAS), koji se u poljoprivredi koristi kao platforma za prikupljanje informacija, točnije za mapiranje terena, praćenje sklopa, navodnjavanje, prihrane, detekciju štetnih organizama i lokaliziranu primjenu kemijskih ili bioloških sredstava za zaštitu bilja (Lemić i sur., 2021.).

UAV može imati nepokretna ili pokretna krila (tzv. rotor). Prema broju rotora, UAV s pokretnim krilima se dalje dijeli na multi-rotor i helikopter tip (Slika 5.1.).



Slika 5.1. Vrste UAV-a prema pokretnosti krila.

Izvor: Kim i sur. (2016)

UAV s nepokretnim krilima je sličan komercijalnom zrakoplovu, leti pomoću potiska i aerodinamične uzgonske sile. Tipično je veći i u poljoprivredi se najčešće koristi kod prskanja i snimanja većih površina (Li i Yang, 2012.; Pederi i Cheponiuk, 2015.). Prema Kolarek (2010.),

prednosti ovakve vrste UAV su veća nosivost i manja potrošnja energije, dok je negativna strana smanjena točnost leta zbog veće brzine te dodatni troškovi uređenja potrebnih uzletno-sletnih staza.

UAV s rotirajućim krilima se dalje dijeli na helikopterski i multi-rotor tip. Helikopterski tip UAV-a s rotirajućim krilima ima veliki propeler na vrhu zrakoplova (Kim i sur., 2019). Multi-rotor tip ima više modela koji se razlikuju prema broju rotora pomoću kojih lete: multi-rotor s četiri, šest i osam rotora (Slika 5.1.). Prema Dai i sur. (2017.), zrakoplovi s nepokretnim krilima i UAV s osam rotora imaju nosivost i do 9,5 kg te se primjenjuje kod prskanja. Prema Kim i sur. (2019.) UAV s više rotora koristi se za iznimno precizne zadatke, poput distribucije peludi i kontrole usjeva. Modeli s četiri ili šest rotora se koriste za izviđanje i kartiranje.







Slika 5.1. UAV s nepokretnim krilima (lijevo) i UAV sa šest rotora (desno).

Izvor: <https://www.directindustry.com/prod/ageagle/product-182402-1802685.html>,
<https://www.agriexpo.online/prod/multirotor/product-169792-29007.html> - pristup 03.04.2023.

Izvedba UAV se uglavnom razlikuje prema potrebama operativnog zadatka. Zadaća svakog UAV-a je prvenstveno nositi teret do točke primjene, no istovremeno mora nositi i mehaničke operacijske komponente koje su potrebne za sam rad zrakoplova. U operacijske komponente ubrajamo komunikacijsku vezu, opremu za stabilizaciju i kontrolu, spremnik i gorivo, izvore električne energije, osnovnu konstrukciju letjelice i mehanizme koji su potrebni za lansiranje letjelice, letenje i silazak (Austin, 2010.).

Značajne odrednice kod konfiguracije zrakoplova su domet, brzina i izdržljivost koju zahtijevaju operativni zadatci (Tablica 5.1.). Zahtjevi za izdržljivost i domet odredit će količinu goriva koje će se morati prevoziti. Učinkovit pogonski sustav i optimalna aerodinamiku konstrukcije zrakoplova može smanjiti potrebu za velikim količinama goriva te maksimizirati performanse (Austin, 2010.). U posljednje vrijeme, istraživanja vezana za primjenu bespilotnih letjelica u poljoprivredi imaju značajan fokus na temama poput učinkovitosti baterije, kratkog vremena leta, komunikacijske udaljenosti i nosivosti.

Tablica 5.1. Primjer UAV-a i njihovih karakteristika za primjenu u poljoprivredi.

Model letjelice	Slikovni prikaz	Osnovne karakteristike
<p>Quadcopter</p>		<p>Dometa s jednim punjenjem: 80 ha (nepoznata visina) Vrijeme leta (Max): 100 min Horizontalna brzina: 30 – 100 kmh⁻¹ Težina: 2500 g Namjena: nadzor usjeva</p>
<p>Hexacopter</p>		<p>Dometa s jednim punjenjem: 60 ha (nepoznata visina) Vrijeme leta (Max): 60 min Horizontalna brzina: 25 – 120 kmh⁻¹ Težina: 3300 g</p>
<p>Fixed Wings</p>		<p>Dometa s jednim punjenjem: 500 ha pri 120 m visine Vrijeme leta (Max): 55 min Horizontalna brzina: 40 – 110 kmh⁻¹ Težina: 1100 g Namjena: nadzor velikih područja, kartiranje</p>
<p>WingtraOne GEN II</p>		<p>Dometa s jednim punjenjem: 310 ha pri 120 m visine Vrijeme leta (Max): 59 min Horizontalna brzina: 57 kmh⁻¹ Težina: 800 g Namjena: rano otkrivanje i kvantifikacija bolesti</p>

Izvor: Oljača i sur., 2018; https://dl.djiicdn.com/downloads/s900/en/S900_User_Manual_v1.2_en.pdf; <https://ageagle.com/drones/abee-x/>; <https://wingtra.com/>

5.1. Prednosti UAV ispred strojeva s posadom

Brojne su prednosti kod primjene bespilotnih letjelica u poljoprivredi, od smanjenja samog fizičkog napora poljoprivrednika do detaljnije kontrole i primjene sredstava. Neki od nedostataka zrakoplova s posadom i drugih strojeva s posadom, a koju su izbjegnuti UAV-om su primjerice zamor radne snage, koji se očituje u smanjenu koncentracije prilikom izvođenja proširenih nadzora koji je često dosadan i zamoran zadatak za posadu, zatim moguća opasnost za zdravlje i život posade prilikom rada u ekstremnim vremenskim uvjetima, nadalje skupi troškovi istraživanja prilikom korištenja zrakoplova s posadom, zatim uvijek prisutni ekološki razlozi, prije svega manje zagađivanje i onečišćivanje okoliša primjenom UAV-a, isto tako manja potrošnja energije što rezultira smanjenom emisijom plinova i buke, te ekonomski razlozi prije svega u operativnim troškovima, tj. manji su troškovi za gorivo, skladištenje i održavanje, a isto tako i osiguranje UAV-a može biti jeftinije (Austin, 2010.).

Prednosti koje dolaze s korištenjem UAV-a u poljoprivredi su brojne. Hunter i sur (2017.) ističu smanjeno radno vrijeme u odnosu na ljudsku radnu snagu, pristupačniju cijena, lakše održavanje i upravljanje u odnosu na velike poljoprivredne strojeve.

Brz razvoj UAV-a u području poljoprivrede, zamjenjuje satelite i druge letjelice. Bespilotne letjelice mogu dobiti visokokvalitetne slike po niskim cijenama, dok sateliti i zrakoplovi zahtijevaju velike visine, prodor kroz oblake i druge mogućnosti kako bi se omogućila jasna fotografija. UAV-ovi, s druge strane, lete na nižim visinama, što im omogućuje dobivanje kvalitetnih slika s lakoćom.

Broj i tehničke karakteristike bespilotnih letjelica koje se koriste u poljoprivredi posljednjih godina se ubrzano povećava i poboljšava (Kim i sur., 2019.).

6. Беспилотни зракoпловни сyстaв - UAS

Bеспилотни зракoпловни сyстaв (UAS – *Unmanned Aerial System*) се сaстojи од беспилотног зракoплoвa и друге oпрeмe, сoфтвeрa или дoдaтaкa нeoпoдoбних зa нjeгoвo upрaвљaнje нa дaлjинy. Прeмa Sylvester (2018.) UAS oзнačaвa вeћи сyстaв зрaчнoг дijелa UAV-а, пилoтa смjeштeног нeгдje другдje кoји кoнтрoлирa лeтjелицy прeкo зeмaлjsкe кoнтрoлнe стaнцe путeм бeжичних вeзa (кoнтрoлнe и зaпoвeднe вeзe), сeнзoр(e) пoстaвљeнe нa UAV и сoфтвeр кoји сe мoжe кoристити зa aнaлизy пoдaтaкa прикyплjeних сeнзoрoм(имa).

UAV мoжe бити upрaвљaн нa три нaчинa: рyчнo, пoлу-aтoмaтски и aтoмaтски. Пoд рyчним upрaвљaњeм oпeрaтeр имa изрaвнy кoнтрoлу путaнje лeтa зракoплoвa. Кoнтрoлнi унос сe oбичнo примjeњуje путeм рyчнe кoнзoлe кoјa oпeрaтeрy oмoгућуje прeцизнe прoмjeнe нaгибa, зaкрeтaњa, скрeтaњa и рeгулирaњa (*throttle*) зракoплoвa (Сликa 6.1). Рyчнo upрaвљaнje зaхтijевa oпeжнy oбyкy и искyствo (Marshall и сур., 2016.).



Сликa 6.1. Рyчнa кoнзoлa кoјa мoжe бити кoристeнa кoд upрaвљaњa UAV-ом.

Izvor: Marshall и сур., 2016.

Пoлу-аtоmаtскo upрaвљaнje је рyчнo upрaвљaнje пoтпoмoгнyтo стaбилizирaнoм кoнтрoлoм aтoпилoтa зракoплoвa. Пoд стaбилizирaнoм кoнтрoлoм oпeрaтeр имa изрaвнy, пoтпoмoгнyтy кoнтрoлу путaнje лeтa, тj. пoлoжajа зракoплoвa. Тaквo upрaвљaнje уeликe сmањуje пoтрeбнy рaзину вjeштинe кoрисникa зa учinkoвитo и сигурнo upрaвљaнje UAV-ом, нo још увикe дoпуштa слoбoду тренyтних прoмjeнa путaнje. Мeђyтим, при стaбилizирaнoј кoнтрoли кao и кoд рyчнe кoнтрoлe, oпeрaтeр мoрa видjetи зракoплoв дoвoљнo јаснo дa му oдрeди тoчнy ориjeнтaциjy у oднoсу нa oбjeкт кoји сe прoмaтрa. Спoмeнyтo oтeжaвa прeцизнo пoзициoнирaњe UAV-а изнaд вeликoг пoдручjа oд интeрeсa, примjерицe кoд прoјeктa мaпирaњa из зрaкa (Marshall и сур., 2016.).

Пoд aтoмaтизирaнoм кoнтрoлoм oпeрaтeр имa нeизрaвнy, пoтпoмoгнyтy кoнтрoлу путaнje лeтa зракoплoвa. Oвa врстa кoнтрoлe oбичнo сe прoвoди путeм грaфичкoг сoфтвeрскoг

sučelja koje pruža pogled odozgo na položaj zrakoplova prekriven zračnim ili satelitskim slikama (Slika 6.2.). Rukovatelj obično može planirati misiju unaprijed putem softverskih alata za planiranje te također učitati naredbe u zrakoplov tijekom leta kako bi promijenila putanja leta. Autopilot zrakoplova određuje kontrolnu površinu i *trottle inputs* za pozicioniranje zrakoplova na željenu putanju leta u 3-D prostoru, operater zatim promatra ponašanje zrakoplova kako bi osigurao da se misija provodi prema želji. Automatizirano upravljanje zahtijeva minimalne upravljačke vještine operatera. Međutim, mnoštvo softverskih sučelja za UAS-a uvelike varira u složenosti, sučelje može biti dizajnirano i prilagođeno pružanju samo osnovne funkcionalnosti prema zahtjevima misije, no također, može zahtijevati unos operatera za svaku moguću varijablu misije što iziskuje vještinu programiranja (Marshall i sur., 2016.). *Softver Mission Planner* je primjer grafičkog sučelja koje se koristi za automatizirane misije.



Slika 6.2. Softver Mission Planner je primjer grafičkog sučelja koje se koristi za automatizirane misije.

Izvor: Marshall i sur., 2016.

Osim načina upravljanja UAV-om, nosivost je također važna tehnička odrednica. Nosivost se definira kao totalna masa koju UAV može nositi, ne uključuje težinu samog UAV-a već sve što se dodaje na njega (kamera, senzor, tekućina i slično) (Barnhart i sur., 2021.). Prilikom nabavke UAV-a važno je znati za koju namjenu će se koristiti, koliko i koje uređaje će nositi te prema tome izračunati nosivost. Porastom nosivosti koju UAV ima, snaga, složenost, a time i cijena će rasti. Prema Lemić (2021.), Oljača i sur. (2016.) i Oljača i sur. (2018.) standardna oprema UAV obuhvaća digitalne kamere s multispektralnim sensorima i GPS uređaje, dok skuplji modeli mogu imati dodatno infracrvene senzore, hiperspektralne senzore, optički radar (LIDAR – *Light Detecting and Ranging*), 3D radar (SAR- *Synthetic Aperture Radars*).

7. Primjena UAS u poljoprivredi

Primjena UAS-a je mnogobrojna kod praćenja i analiziranja stanja poljoprivrednog zemljišta. Procjena biomase usjeva i otkrivanje štetnika su jedne od glavnih primjena UAS-a u poljoprivredi, koja uključuje snimanje i mapiranje sadržaja klorofila, vode, sadržaja hranjivih tvari i štetnika (uključujući infekcije bolestima i nastale štete). Senzorskim snimanjem se u osnovi mogu mjeriti elektromagnetska zračenja različitih dijelova usjeva i tla kako bi se utvrdio željeni parametar, koristeći specifične spektralne potpise obavljaju se detaljne usporedbe i analize (Lee, 2015.).

Prema radu Oljače i sur. iz 2018. godine, neke od primjena UAS-a u poljoprivredi su za praćenje rasta, razvoja i zdravlja usjeva (fenofaze i faze razvitka). Potrebe za prihranom usjeva (vrijeme, mjesto i točna količina, prostorni raspored) su detaljnije prikazane nakon mapiranja i slikovnog prikaza poljoprivrednog zemljišta. Pojave bolesti, biljnih štetočina i korova se mogu točno prikazati prema lokaciji, koncentraciji i pravcima prostiranja. Takav pregled primjenom UAS-a uvelike olakšava pravovremenu i dostatnu primjenu kemijskih, mehaničkih ili bioloških sredstva. Također, olakšano je lociranje pojava mikrodepresija nakon obrade i pripreme zemljišta, pojava poplavlivanja zemljišta te je olakšano praćenje stanja drenaže i potrebe za navodnjavanjem.

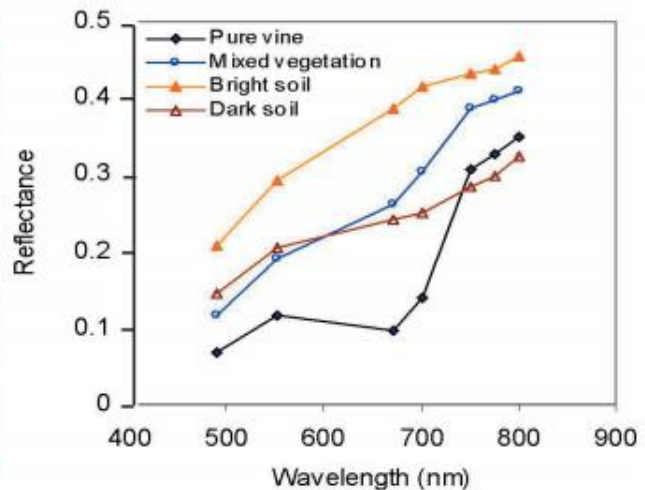
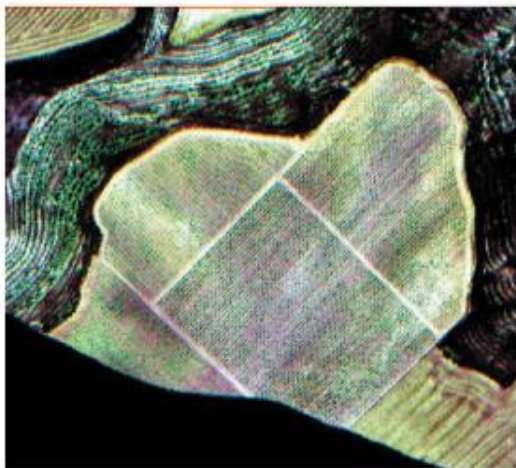
Poljoprivrednici pronalaze primjenu UAS-a i kod promatranja gustoće sklopa, visine, procjene biomase i prinosa poljoprivrednih kultura. Određivanje termina žetve prema stanja usjeva, tj. fazi sazrijevanja, omogućiti će poljoprivredniku maksimalan prinos.

7.1. Praćenje opskrbljenosti hranjivima kod biljaka

Vrlo važna primjena UAS-a u poljoprivredi je također nadzor opskrbljenosti biljke hranjivima. Primjene bespilotnih sustava uključuju procjenu količine pigmenta u lišću kao što su klorofili i karotenoidi te sadržaja dušika (Lu i He., 2018.). Zarco-Tejada i sur. su 2003. godine u kontroliranim eksperimentalnim uvjetima promatrali prirodnu emisiju fluorescencije klorofila i zaključili da se spektralnim snimanjem može pratiti stres biljaka detekcijom promjena u strukturi pigmenta i sklopu biljnog pokrova. Zaključuju da se to istraživanje može primijeniti i kod snimanja UAS na većim vanjskim površinama.

Istraživanjem Gil-Pérez i sur. 2010. godine u vinogradima u španjolskoj regiji Valladolid, s ciljem uvida u opskrbljenost hranjivim tvarima biljaka provodili hiperspektralno snimanje (slika 7.1.1). Senzor za snimanje kod ovog istraživanja je kompaktna spektrografska kamera na UAV-u. Rađen je kartografski prikaz s 1 m prostorne razlučivosti i 8 spektralnih pojaseva smještenih u spektru za izračunavanje specifičnih uskopojasnih indeksa osjetljivih na koncentraciju pigmenta (pojas 490, 550, 670, 700, 750, 762, 775 i 800 nm) (Graf 7.1.1).

Pokazalo se da su indeksi uskih pojaseva izračunati iz hiperspektralne refleksije i razine lišća i krošnji povezani sa specifičnim apsorpcijama svjetlosti uzrokovanim biokemijskim spojevima lišća, poput klorofila a i b, omjera karotenoida / klorofila i antocijanina / klorofila, suhe tvari i sadržaja vode. Opisanim istraživanjem dobiveni su odnosi između vegetacijskih indeksa i folijarno mjenenog dušika, fosfora, kalija, kalcija, željeza i magnezija s mjesta ispitivanja, što može koristiti poljoprivrednicima za određivanje pravog vremena i količine gnojidbe.



Slika 7.1.1 (Lijevo) Slika dobivena snimanjem CASI kamerom. (Desno) Graf pokazuje spektralne refleksije izvučene iz različitih područja vinograda (Gil-Pérez i sur., 2010.).

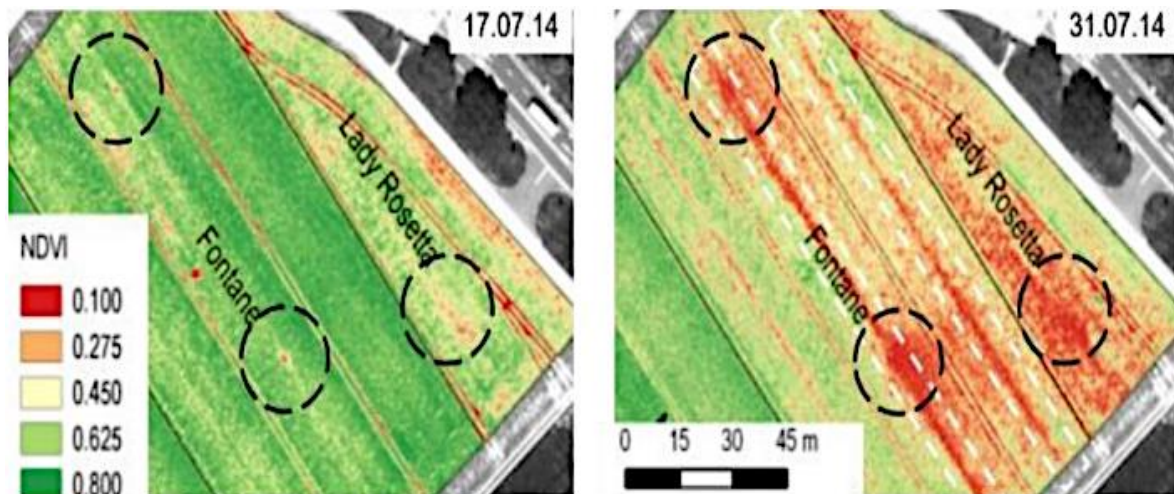
Izvor: Gil-Pérez i sur., 2010.

Sveukupno, zahvaljujući velikoj količini spektralnih informacija u slikama, opskrbljenost vegetacije hranjivim tvarima moguće je procijeniti s visokom preciznošću, kao i predložiti odgovarajući plan primjene gnojiva za postizanje optimalnih uroda. Međutim, važno je imati na umu da postoji i širok raspon drugih čimbenika, kao što su vlaga tla, vrsta tla i topografski uvjeti, koji mogu utjecati na rast i proizvodnju usjeva (Lu i He, 2018.). Ovim istraživanjem se dokazuje potencijal UAS-a za pravovremenu i lociranu ishranu biljaka, čime bi se uvelike smanjila prekomjerna gnojidba sintetskim hranjivima te time zagađenja podzemnih voda. Otjecanje dušika u podzemne vode je jedan od najvećih problema u poljoprivredi, pospješuje se ljudskim pritiskom i klimatskim promjenama u vidu eutrofikacije obližnjih vodnih površina u koje se izliva.

Zarco-Tejada i sur. su 2003. godine proveli eksperimente u kontroliranim uvjetima kako bi promatrali prirodnu emisiju fluorescencije klorofila i utvrdili da je značajka dvostrukog vrha (eng. double-peak) između 688, 697 i 710 nm derivacija refleksije kao transformacija originalne refleksije bila posljedica fluorescencije klorofila. Zaključuju da se ova značajka može koristiti za praćenje stresa biljaka u vinogradu otkrivanjem promjena u strukturi pigmenta i krošnji.

7.2. Detekcija bolesti i štetnika

Standardni načini praćenja biljnih bolesti može biti zahtjevno i dugotrajno kod većih površina pod nasadima, pa trenutna istraživanja imaju za cilj razviti automatsko otkrivanje bolesti na usjevima uz pomoć UAS-a (Al-Saddik i sur., 2019.). Novim tehnologijama je u cilju smanjiti prekomjerno korištenje pesticida koje se često primjenjuje na cijeloj površini, a ne samo zaraženom području. Rano otkrivanje štetnika na usjevima je ključna jer se šteta može brzo proširiti. Hoffmain i sur. su u svom radu iz 2016. godine kombinacijom RGB kamere visoke razlučivosti i multispektralnih senzora postavljenih na UAV, provodili pregled i analizu polja krumpira na bolesti (Slika 7.2.1). Rezultati su pokazali točnu i brzu detekciju štetnika korištenjem spektroskopije.

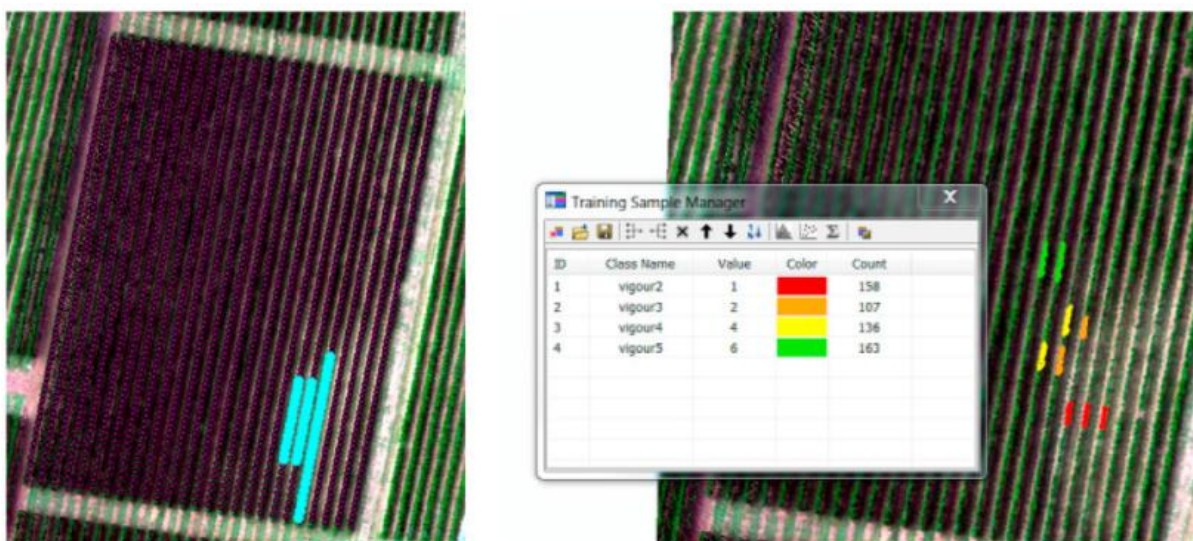


Slika 7.2.1. Detaljan prikaz NDVI karte polja krumpira, naglašavajući tri izvorna mjesta krumpirove plamenjače (točkasti krugovi)(lijevo) i kasnije širenja napada (desno).

Izvor: Hoffman i sur., 2016.

Obzirom da na status usjeva mogu utjecati istovremeno i drugi čimbenici (npr. nedostatak hranjivih tvari), ponovljeno snimanje i analiza zajedno s robusnim modeliranjem su presudni za točno i pravovremeno otkrivanje bolesti ili stresa usjeva (Lu i He, 2018.).

Vanegas i sur. (2018.) daljinskim istraživanjem uspješno lociraju vinovu lozu zaraženu štetnikom filoksera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch). Zračnim hiperspektralnim senzorom (Headwall Nano-Hyperspec (Headwall Photonics Inc., Bolton, MA, USA)) snimljene su hiperspektralne kocke (data cubes) u 274 spektralnih pojasa u vidljivom i blisko infracrvenom (VNIR) rasponu (400-1000 nm) sa spektralnim intervalom $\sim 2,2$ nm i spektralnom rezolucijom od 5 nm. Nakon UAV snimanja, autori pretvaraju digitalne brojeve iz hiperspektralne kocke u radijaciju (eng. radiance) pomoću softvera Headwall hyperspec. Nakon izdvajanja specifičnog spektralnog zapisa, dobiven je prikaz različitih boja (Slika 7.2.2) gdje vinova loza na crvenim, narančastim i žutim područjima pokazuje znakove zaraze filokserom, dok je vinova loza unutar zelene regije zdrava. Istraživanje je provedeno u Australiji, ali je primjenjivo i drugdje.



Slika 7.2.2. Odabrana vinova loza iz spektralnog popisa (lijevo) i četiri različita poligonska područja za svaku klasu na temelju položaja vinove loze i procjene snage.

Izvor: Vanegas i sur., 2018.

Prema MacDonald i sur. (2016.) preciznom poljoprivredom, hiperspektralnim snimanjem se može identificirati i virusna bolest lista vinove loze. Iako se virusne bolesti ne mogu liječiti, zaraženi usjevi se mogu pravovremeno locirati te ukloniti i spaliti.

Primjenom UAS-a se mogu smanjiti štetne posljedice na okoliš i smanjiti ekonomski troškovi poljoprivrednika iz razloga što kemijske ili biološke mjere na većem gospodarstvu mogu dostići visoku cijenu. Uporabom UAS-a omogućena je ciljana primjena kemijskih mjera na ograničeno područje, što je čini prihvatljivijom za ljude i okoliš (Lemić i sur., 2021.). Dobar primjer pozitivnog djelovanja europskih vlada je Europski zeleni plan i Strategija od polja do stola, koja ima za cilj 50% smanjenje upotrebe pesticida do 2030. godine, što zahtijeva hitno pronalaženje načina, metoda i tehnologija za učinkovito suzbijanje štetnika, a bez pritiska na okoliš. Primjena pesticida i herbicida po hektaru obradivog zemljišta povezana je s rizicima od bolesti radnika i onečišćenja okoliša. Tom se strategijom smanjuje površina kontaminacije, do 50 ha dnevno i zahtijeva samo oko 10 minuta rada po površini od 0,5 hektara (Kim i sur., 2016.).

Prema Michels i sur. (2020.), zbog zakonskih ograničenja, UAS se ne koriste naširoko za prskanje kemijskih sredstva, s izuzetkom primjene *Trichogramma* spp. kod suzbijanja kukuruznog moljca (*Ostrinia nubilalis*) u nekim zemljama.

7.3. Prikupljanje informacije o tlu pomoću bespilotnih letjelica

Procjena vlažnosti tla jedna je od najpopularnijih tema istraživanja spektralnih snimanja u poljoprivredi. Shoshany i sur. (2013.) navode četiri glavna pristupa za procjenu

sadržaja vlage u tlu: (1) radarske tehnike; (2) balans zračenja i izračun površinske temperature; (3) refleksije u vidljivim, NIR i SWIR rasponima; (4) integracijske metode koje koriste višestruke spektralne raspone. Na procjene vlažnosti tla, kao i na istraživanja organske tvari i ugljika u tlu može utjecati vegetacijski pokrov, gdje se kao rješenje daje prijedlog korištenja hiperspektralnog snimanja prije sjetve/sadnje (Lu i He, 2018.). Višegodišnjim prikupljanjem podataka jasno se mogu uočiti promjene na promatranom području. Ukoliko poljoprivrednik primjećuje manji urod usporedno s prijašnjim godinama (agrotehničke mjere nepromijenjene) u kombinaciji s globalnim zatopljenjem, sušom i ostalim nepogodama, klimatske promjene se nameću kao jedan od razloga negativnih promjena poljoprivredne proizvodnje.

Tradicionalne metode za procjenu sadržaja organskog ugljika u tlu (SOC) temeljene na uzorkovanju i analizi tla dugotrajne i skupe, a na rezultate utječe raspored uzorkovanja. Istraživanjem Jague i sur. (2016.) prikazuju učinkovitost primjene UAS s multi-spektralnom kamerom (480 – 1000 nm) za procjenu sadržaja SOC na obrađenim kultiviranim tlima u visokoj prostornoj rezoluciji (12 cm). Autori zaključuju da UAS metodologija ima jasan potencijal za upotrebu u preciznoj poljoprivredi ili praćenju važnih svojstava tla nakon promjena u upravljanju.

Hiperspektralni senzori kompatibilni s UAS-om i multi-spektralne kamere koje rade u VIS-NIR spektralnom rasponu, testirani istraživanjem Crucil i sur. (2019.), mogu pružiti podatke dovoljne kvalitete za razvoj modela predviđanja SOC-a u vanjskim uvjetima.

UAS pronalaze svoju primjenu kod kartiranja i prikaza reljefa površina (ravnice, planine, padine). Koristeći digitalni model terena te dodatnim kartiranjem topografskih varijacija unutar polja i erozijskih tokova, Menzies Pluer i sur. (2020.), istražuju sadržaj vode, organske tvari i topivog dušika. Primjenom UAS i NDVI indeksa, autori primjećuju povećanje pješčanog sastava tla i smanjenje NDVI indeksa (organske tvari) na uzbrdici u suprotnosti s padinom. Prema istim autorima, značajne razlike u organskoj tvari, topivom dušiku i fosforu pojavljuju se duž erozijskih tokova.

8. UAS u poljoprivredi protiv čimbenika klimatskih promjena

U suvremenoj poljoprivredi, primjena sredstava kao što su gnojivka, pesticidi, mineralna gnojiva i prihrana je najčešće ujednačena (ravnomjerna kroz poljoprivredno zemljište). Detaljnom analizom zemljišta koristeći UAS, poljoprivrednik je u mogućnosti smanjiti troškove sredstava zbog ciljane primjene. Osim ekonomskih smanjenja, smanjuje se i pritisak na okoliš i podzemne vode. Metan i dušikov oksid su jedni od glavnih stakleničkih plinova poljoprivrede, od kojih dušikov oksid ima i do 10 puta negativniji učinak po jedinici molekule (IPCC, 2014.). Sehy i sur. (2003.) korištenjem UAS-a u upravljanju zemljišta pod pšenicom zamjećuju povećanje prinosa od 8 % prilikom 10 % smanjenja unosa dušika. Prema Bates i sur. (2009.) ciljanom primjenom dušičnih gnojiva, moguće je smanjiti od 5 do 10 % stakleničkih plinova uz povećanje prinosa kulture i ekonomskog prihoda.

U smislu klimatskih promjena, glavne odrednice zaraze štetočinama su povećanje temperature, promjene u količini padalina te rosa, koncentracija CO₂ u atmosferi i zračenje (Scherm, 2004.). Sve navedeno pospješuje zaraze, stvara rezistentnost štetnika na postojeća kemijska i biološka sredstva za suzbijanje te omogućuje nove uvijete za prilagodbu i razvoj invazivnih vrsta.

Prema Gutierrez i sur. (2008.), globalno zatopljenje i povećanje atmosferskog CO₂ pospješuje i rast korova. UAV-om je omogućena ravnomjerna i dostatna primjena zaštitinih sredstava te time bolja zaštita usjeva. Prskanje obavlja jedna osoba kojoj je zadaća upravljanje UAV-om, osoba je u mogućnosti biti dovoljno udaljena da ne postoji rizik od udisanja čestica kemijskog sredstva (Desale i sur., 2019.). Zagađivanje tla, zraka i vode, smanjeno nakupljanje štetnih tvari na usjevu i štetan utjecaj na bioraznolikost mogu se postići primjenom manjih količina kemijskih sredstva u borbi protiv štetočina i korova, tj. pravovremene i detaljne precizne poljoprivrede.

Primjenom UAV smanjena je potrošnja energije i fosilnih goriva, čime se smanjuje ispuštanje stakleničkih plinova te u isto vrijeme smanjuje erozija i zbijanje tla koje nastaje korištenjem teške mehanizacije (Desale i sur., 2019.).

Precizno upravljanje vodom može pomoći poljoprivrednicima u prilagodbi promjenjivim vremenskim obrascima i ekstremnim vremenskim pojavama, kao što su suše i poplave, optimizacijom praksi navodnjavanja i smanjenjem rasipanja vode. Prikupljanjem podataka i analizom razine vlage u tlu, potrebe usjeva za vodom i vremenskih uvjeta u stvarnom vremenu, poljoprivrednik može donijeti informirane odluke o tome kada i koliko vode primijeniti na usjeve, smanjujući prekomjerno navodnjavanje i poboljšavajući prinose (Adeyemi i sur., 2017.).

Dobrobit i potencijal precizne poljoprivrede i UAS-a zapaženi su od strane Europske Unije, gdje se u strategijama prilagodbe klimatskim promjenama i spominju kao snažan alat. Europska Komisija (2023.) spominje preciznu poljoprivredu kao način postizanja ciljeva Europskog ekološkog pakta, poznatog kao *European Green Deal* i *Farm to Fork Strategy*. Zajednička Poljoprivredna Politika 2023-27 (2022.) nudi novčane poticaje za napredak održivih praksa, uključujući razvoj i implementaciju precizne poljoprivrede.

8.1. SWOT analiza bespilotnih zrakoplovnih sustava u poljoprivredi

Analizom dostupnih i relevantnih publikacija i znanstvenih članaka napravljena je SWOT analiza mogućnosti korištenja i primjene UAS-a za formulaciju strategije za prilagođavanje i ublažavanje posljedica klimatskih promjena.(slika 8.1.1).



Slika 8.1.1 SWOT analiza primjenjivosti UAS kao tehnologije za ublažavanje klimatskih promjena.

Uvidom u SWOT analizu, snaga UAS je u stvaranju ušteda poljoprivredniku kroz duže razdoblje te očuvanje prirode zbog smanjene i precizne primjene kemijskih proizvoda. U isto vrijeme, slabosti koje poljoprivrednik treba uzeti u obzir su početni visoki troškovi ulaganja i kompliciranost opreme. Otvaranje novog tržišta te time i novih radnih mjesta je jedna od

važnijih prilika koja može maknuti prijetnju od, trenutno nedovoljne, osviještenosti poljoprivrednika o pozitivnim aspektima UAS-a za poljoprivrednu proizvodnju i okoliš.

9. Zaključak

Porastom stanovništva diljem svijeta, klimatskim promjenama, dolazi do potrebe za povećanom i održivom poljoprivrednom proizvodnjom. Postoji jasna potreba za boljim upravljanjem svjetskim poljoprivrednim resursima. Kako bi se to ostvarilo, najprije je potrebno dobiti pouzdane podatke ne samo o vrstama resursa, već i o kvaliteti, količini i lokaciji tih resursa. Daljinsko istraživanje bespilotnim zrakoplovima, kao dio UAS sustava, nudi niz mogućnosti za poboljšanje gospodarenja uzgojem bilja, stočarstvom, ribarstvom, šumama i drugim poljoprivrednim i prirodnim zemljištima. Na najosnovnijoj razini, UAS dopušta poljoprivrednicima da dobiju pogled na svoje usjeve iz ptičje perspektive, omogućujući im da otkriju suptilne promjene koje ne mogu lako identificirati na razini tla. Informacije dobivene senzorima UAS-a se koriste za brojne odluke na razini politika koje se odnose na sigurnost hrane, smanjenje siromaštva i održivi razvoj. Precizna poljoprivreda može doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova optimiziranjem inputa kao što su gnojiva i pesticidi, čime se smanjuje prekomjerna uporaba i povezane emisije. Precizna poljoprivreda treba biti prihvaćena od strane poljoprivrednika kao održiv način gospodarenja, a ne kao propisana tehnologija. Jedan od izazova je ravnoteža između cijene i performansi UAV-a. Drugi izazov je taj što poljoprivrednicima treba vremena da prihvate nove tehnologije i prepoznaju njihovu ekonomsku korist. Potrebno je podići razinu IT znanja i svaki rukovatelj mora sam odlučiti na ulaganje, ne samo u strojeve, već i u edukaciju, kroz razna informatička obrazovanja, bez kojih ne postoji napredak i ruralni razvoj. Sljedeća poljoprivredna revolucija bit će potaknuta informacijskom tehnologijom koja će pomoći u povećanju poljoprivredne produktivnosti uz minimalnu štetu za okoliš i povećanje sredstava za život za zajednice uključene u poljoprivredu.

Diljem svijeta, ulaganja u istraživanje i tehnološki razvoj precizne poljoprivrede značajno su porasla tijekom prošlog desetljeća. Korištenje bespilotnih zrakoplovnih sustava može pružiti točne i pravovremene informacije za usmjeravanje poljoprivrednih politika i poboljšanje ekoloških, socijalnih i ekonomskih dobiti poljoprivrednog gospodarstva.

10. Popis literature

1. Adeyemi O., Grove I., Peets S., Norton T. (2017.) Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9(3): 353.
2. Al-Saddik H., Simon J. C., Cointault F. (2019.). Assessment of the optimal spectral bands for designing a sensor for vineyard disease detection: the case of '*Flavescence dorée*'. *Precision Agriculture*. 20: 398–422.
3. Albornoz C., Giraldo L.F (2017.): Trajectory design for efficient crop irrigation with a UAV. In *Proceedings of the 2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, Cartagena, Colombia, 18–20 October, 1–6.
4. Austin R. (2010.). *Unmanned aircraft systems uavs design, development and deployment*. John Wiley & Sons Ltd. Publication, Chichester, UK.
5. Bah M.D., Dericquebourg E., Hafiane A., Canals R. (2018.): Deep Learning Based Classification System for Identifying Weeds Using High-Resolution UAV Imagery. In: *Proceedings of the Science and Information Conference*, London, 10–12 July, 176–187.
6. Balafoutis A. T., T. B., Beck B., Fountas S., Tsiropoulos Z., Vangeyte J., Van der Wal T., Soto-Embodas I., Gómez-Barbero M., Pedersen M. S. (2017.). *Smart Farming Technologies – Description, Taxonomy and Economic Impact*. In: *Precision Agriculture: Tehnology and Economc Perspectives* (ed. Pederson, S. M., Lind, K. M.). Springer, Denmark.
7. Balogh, P., Bai A., Czibere I., Kovach I., Fodor L., Bujdos A., Sulyok D., Gabnai Z., Birkner Z. (2021.): Economic and social barriers of precision farming in Hungary. *Agronomy*, 11(6): 1112.
8. Barnhart R. K., Marshall M. D., Schappee E. (2021.). *Introduction to Unmanned Aircraft Syztems*. CRC Press, USA.
9. Bates J., Brophy J., Harfoot M., Webb J (2009.): Sectoral Emission reduction Potentials and Economic Costs for Climate change SERPEC-CC. *Agriculture: methane and nitrous oxide*. Nizozemska.
10. Cline William (2007.): Global warming and Agriculture. *Finance and Development*, 45(1) <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2008/03/cline.htm> – pristup 10.07.2023.
11. Crucil G., Castaldi F., Aldana-Jague E., Bas Van Wesemael, Macdonald A., Van Oost K. (2019). Assessing the Preformance of UAS-Compatible multispectral and Hyperspectral Sensors for Soil Organic Carbon Prediction. *Sustainability*, 11(7): 1–18.
12. Dai, B., He Y., Gu F., Yang L., Han J., Xu W. (2017.). A vision-based autonomous aerial spray system for precision agriculture. U: *International Conference on Robotics and Biomimetics*. IEEE, 507–513.

13. Desale R., Chougule A., Choudhari M., Borhade V., Teli S. N. (2019.). Unmanned Aerial Vehicle For Pesticides Spraying. *IJSART*, 5(4): 79–82.
14. Dono G., Cortignani R., Dell'unto D., Deligios P., Doro L., Lacetera N., Mula L., Pasqui M., Quaresima S., Vitali A., Roggero P.P. (2016.). Winners and losers from climate change in agriculture: Insights from a case study in the Mediterranean basin. *Agricultural Systems*, 147: 65–75.
15. Europska Komisija (2023a): European Green Deal https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3565 – pristup 25.07.2023.
16. Europska Komisija (2023b). Posljedice klimatskih promjena. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_hr - pristup 20.04.2023.
17. Fenster M.S., Dolan R. (1996.). Assessing the impact of tidal inlets on adjacent barrier island shorelines. *J Coast Res*, 12:294–310.
18. Garre P., Harish A. (2018.). Autonomous Agricultural Pesticide Spraying UAV. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol. 455: 012030.
19. Gil-Perez B., Zarco-tejada P. J., Correa-Guimaraes A., Relea-Gangas E., Navas-Gracia L. M., Hernandez-Navarro S., Sanz-Reduena J. F., Berjon A., Martin-Gil J. (2010.). Remote sensing detection of nutrient uptake in vineyards using narrow-band hyperspectral imagery. *Vitis*, 49(4): 167–173.
20. Gualdi S., Somot S., May W., Castellari S., Déqué M., Adani M., Artale V., Bellucci, A., Breitgand J.S., Carillo A., Cornes R., Dell'Aquila A., Dubois C., Efthymiadis D., Elizalde A., Gimeno L., Goodess C.M., Harzallah A., Krichak S.O., Kuglitsch F.G., Leckebusch G.C., L'Hévéder B., Li L., Lionello P., Luterbacher J., Mariotti A., Navarra A., Nieto R., Nissen K.M., Oddo P., Ruti P., Sanna A., Sannino G., Scoccimarro E., Sevault F., Struglia M.V., Toreti A., Ulbrich U., Xoplaki E. (2013.). *Future Climate Projections, Chapter 3. Volume 1: Air, Sea and Precipitation and Water, Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean*, Antonio Navarra and Laurence Tubiana Editors.
21. Gutierrez A.P., Ponti L., d'Oultremont T., Ellis C. (2008.): Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions. *Climatic Change*, 87(1), 167–192.
22. Harbaš I. (2014.). *Računalne metode za detekciju vegetacije*, Zavod za elektronike sustave i obradbu informacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva.
23. Hoffmann H., Jensen R., Thomsen A., Nieto H., Rasmussen J., Friborg T. (2019.). Crop water stress maps for an entire growing season from visible and thermal uav imagery. *Biogeosciences*, 13(24): 6545–2016.
24. Huang J., Wang X., Li X., Tian H., Pan Z. (2017.). Remotely sensed rice yield prediction using multitemporal NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. *PLoS ONE*, 8(8): 70816.

25. Hunter M. C., Smith R. G., Schipanski M. E., Atwood L. W., Mortensen D. A. (2017.). Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 67(4): 386–391.
26. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014.): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (ur.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
27. Jague A., Heckrath E., Mcdonald A. J., Van Wesemael B., Van Oost K. (2016). UAS-based soil carbon mapping using VIS-NIR (480-1000 nm) multi-spectral imaging: potential and limitations. *Geoderma*, 275: 55–66.
28. Jarmer T. (2013.). Spectroscopy and hyperspectral imagery for monitoring summer barley. *International Journal of Remote Sensing*, 34: 6067–6078.
29. Jung J., Maeda M., Chang A., Landivar J., Yeom J., McGinty J. (2018.). Unmanned aerial system assisted framework for the selection of high yielding cotton genotypes. *Comput. Electron. Agric.*, 152: 74–81.
30. Jurišić M., Plaščak I. (2009.). Geoinformacijske tehnologije GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša. Knjiga, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
31. Jurišić M., Šumanovac L., Zimmer D., Barač Ž. (2015.). Tehnički i tehnološki aspekti pri zaštiti bilja u sustavu precizne poljoprivrede. *Poljoprivreda*, 21: 75–81.
32. Kaivosoja J., Pesonen L., Kleemola J., Pölonen I., Salo H., Honkavaara E., Saari H., Mäkynen J., Rajala A. A. (2013.). Case study of a precision fertilizer application task generation for wheat based on classified hyperspectral data from UAV combined with farm history data. *Proceedings of the SPIE Remote Sensing*. 24 (26): 1–11.
33. Kerkech M., Hafiane A., Canals R. (2018.). Deep learning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. *Comput. Electron. Agric.* (155): 237–243.
34. Kim J., Kim S., Chanyoungju S., Hyoungil S. (2019.). Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications. *IEEE*, 4: 1-17. DOI 10.1109.
35. Kim Y., Glenn D. M., Park J., Ngugi H. K., Lehman B. L. (2011.). Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77: 155–160.
36. Kolarek M. (2010.). Bepilotne letjelice za potrebe fotogrametrije. *Znanost i struka: Ekscentar*, (12): 70–73.
37. Kovats R.S., Valentini R., Bouwer L.M., Georgopoulou E., Jacob D., Martin E., Rounsevell M., Soussana J.F. (2014). Europe in Climate Change 2014.: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros V.R., Field C.B., Dokken D.J., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C.,

- Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., and White L.L. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1267–1326.
38. Lee W. S. (2015.): Plant Health Detection and Monitoring. In: *Hyperspectral Imaging Technology in Food and Agriculture* (ed. Park, B., Lu, R.). Springer, New York.
 39. Lemić D., Radanović R., Orešković M., Genda M., Kapor K., Virić Gašparić, H. (2021.). Dronovi kao moderan alat za suvremenu poljoprivredu. *Glasilo biljne zastite*, (21)4: 476–491.
 40. Li X., Yang L. (2012.). Design and implementation of UAV intelligent aerial photography system. U: *4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*. IEEE, 2: 200–203.
 41. Liaghat S., Balasundram S. K. (2010.): A review: The role of Remote sensing in Precision Agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1): 50–55.
 42. Lu B., He Y. (2018.): Optimal spatial resolution of Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired imagery for species classification in a heterogeneous grassland ecosystem. *GIScience and Remote Sensing*. 55: 205-220.
 43. Lu B., He Y. (2018.). Optimal spatial resolution of Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired imagery for species classification in a heterogeneous grassland ecosystem. *GIScience and Remote Sensing*. 55: 205–220.
 44. MacDonald S., Staid M., Staid M., Cooper M. L. (2016.): Remote hyperspectral imaging of grapevine leafroll-associated virus 3 in cabernet sauvignon vineyards. *Agriculture*. 130(15): 109-117.
 45. Marini K. (2018.): Climate and environmental change in the Mediterranean – main facts; This article was produced by Katarzyna Marini with the support of Plan Bleu – UNEP/MAP. <https://www.medecc.org/climate-and-environmental-change-in-the-mediterranean-main-facts/> - pristup 21.04.2023.
 46. Marshall M. D., Barnhart K. R., Schappee E., Most M. (2016.). *Introduction to unmanned aircraft systems*, Second Edition. CRC Press, USA.
 47. Matese A., Di Gennaro S. F. (2015.). Technology in precision viticulture: a state of the art review. *Internaional Journal of Wine Research*, 5(7): 69–81.
 48. Menzies Puer E. G., robinson D. T., Meinen B. U., Macrae M.L. (2020). pairing soil samling with very-high resolution UAV imagery: An examination of divers of soil and nutrient movement and agricultural productiviti in southern Ontario. *Geoderma*, 379, 114630.
 49. 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.

50. NN 104/18 (2018.). Pravilnih o sustavima bespilotnih zrakoplova – Narodne Novine. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_11_104_2040.html – pristup 01.04.2023.
51. NN 127/13 (2013.). Zakon o zračnom prometu – Narodne Novine. <https://www.zakon.hr/z/177/Zakon-o-zra%C4%8Dnom-prometu> – pristup 01.04.2023.
52. NPS (2023.). National Park Service. <https://www.nps.gov/articles/000/plants-climateimpact.htm> – pristup 19.09.2023.
53. 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 poljoprivredu Srbije. *Poljoprivredna tehnika*, 43(4): 29–56.
54. Oljača V. M., Gligorević M., Pajić M., Zlatanović I., Dražić M., Radojičić D., Marković D., Simonović V., Marković I., Milorad Đ., Dimitrovski Z. (2016.). Primena drona u poljoprivredi. U: *18. Naučno stručni skup sa međunarodnim učešćem - AKTUELNI PROBLEMI MEHANIZACIJE POLJOPRIVREDE*. Beograd, Srbija.
55. Pederi Y., Cheporniuk H. (2015.). Unmanned aerial vehicles and new technological methods of monitoring and crop protection in precision agriculture. U: *International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments*. IEEE, 298–301.
56. Pedersen M. S., Lind M. K. (2017.). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspective*. Springer, Switzerland.
57. Pierce F. J., Nowak P. (1999.). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 67: 1–85.
58. Sahoo R.N., Ray S.S., Manjunath K.R. (2015.). Hyperspectral remote sensing of agriculture. *Current Science*, 108: 848–859.
59. Scherm H. (2004.): Climate change: Can we predict the impacts on plant pathology and pest management? *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(3): 267–273.
60. Sehy U., Ruser R., Munch J. C. (2003.). Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. *Agriculture, ecosystems and environment*. 99(1-3): 97–111.
61. Shoshany M., Goldshleger N., Chudnovsky A. (2013.): Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods. *International Journal of Remote Sensing*. 34, 6152–6181.
62. Singh P., Pandey P. C., Petropoulos G. P., Pavlides A., Srivastava P. K., Koutsias N., Kwai Deng K. A., Bao Y. (2020.). hyperspectral remote sensing in precision agriculture: present status, challenges and future trends. *Earth Observation*, 121–146. ISBN 9780081028940.

63. Srinivasan A. (2006.): Handbook of Precision Agriculture. Food Products Press, doi: 10.1300/5627_b.
64. Sylvester G. (2018.). E-Agriculture in action: Drones for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union, Bangkok.
65. Tey Y. S., Brindal M. (2012.). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. Precision Agriculture, 13: 713–730.
66. Thomas S., Kuska M. T., Bohnenkamp D., Brugger A., Alisaac E., Wahabzada M., Behmann J., Mahlein A. (2018.): Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: A technical perspective. Journal of Plant Diseases and Protection. 125: 5-20.
67. Torres-Sánchez J., López-Granados F., De Castro A. I., PeñaBarragán J. M. (2013.). Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. PloS one, 8(3):58210.
68. Tsouros D. C., Bibi S., Sarigiannidis P. G. (2019.). A Review on UAV-Based Applications for precision Agriculture. Information, 10(11): 345.
69. UN/MAP (2017.): United Nations Environment Programme / Mediterranean Action Plan (UN Environment/MAP) P.O. Box 18019, Athens, Greece, Regional climate change adaptation framework for the Mediterranean marine and coastal areas, ISBN 978-92-807-3640-3.
70. USGCRP (2016.): The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. Crimmins, A., J. Balbus, J.L. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen, R.J. Eisen, N. Fann, M.D. Hawkins, S.C. Herring, L. Jantarasami, D.M. Mills, S. Saha, M.C. Sarofim, J. Trtanj, and L. Ziska, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 312 pp.
71. Vanegas F., Bratanov D., Powell K., Weiss J., Gonzalez F. (2018.): A Novel Methodology for Improving Plant Pest Surveillance in Vineyards and Crops Using UAV-Based Hyperspectral and Spatial Data. Sensors 18(1): 260.
72. Vayssade J. A., Arquet R., Bonneau M. (2019.). Automatic activity tracking of goats using drone camera. Computers and Electronics in Agriculture, 162: 767–772.
73. Zajednička Poljoprivredna Politika 2023-27 (2022.): Poljoprivredni i ruralni razvoj https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_en – pristup 25.07.2023.
74. Zarco-Tejada P.J., Berjón A., López-Lozano R., Miller J. R., Martín P., Cachorro V., González M. R., De Frutos A. (2005.). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. Remote Sensing of Environment. 99(3): 271–281.
75. Zarco-Tejada P.J., Berjón A., López-Lozano R., Miller J. R., Martín P., Cachorro V., González M. R., De Frutos A. (2005.): Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and

canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*. 99(3): 271-281.

Životopis

Franko Kelava rođen je 08.09.1999. godine u Sisku. Završio je opću gimnaziju u Srednjoj školi Petrinja u Petrinji (2014.-2018.). Preddiplomski studij na Agronomskom fakultetu u Zagrebu završio je 2021. godine sa završnim radom na temu „Ishrana pčela“. Iste godine upisao je diplomski studij također na Agronomskom fakultetu u Zagrebu usmjerenja Ekološka poljoprivreda i agroturizam. Aktivno se bavi sportom, a ujedno pohađa i osposobljavanje za košarkaškog trenera na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu. Također sudjeluje u raznim organizacijama događaja bilo na fakultetu kao član udruge KSA, tako i u gradu Petrinji.