

Primjena bezpilotnih vozila u poljoprivredi

Vuković, Davor

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:054867>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-18**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Davor Vuković

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivrede

Modul: Mehanizacija

Primjena bespilotnih vozila u poljoprivredi

Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Davor Vuković

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivrede

Modul: Mehanizacija

Primjena bespilotnih vozila u poljoprivredi

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
2. prof. dr. sc. Luka Šumanovac
3. prof. dr. sc. Mladen Jurišić

Osijek, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Završni rad

Prijediplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Davor Vuković

Primjena bespilotnih vozila u poljoprivredi

Sažetak:

Primjena bespilotnih vozila u poljoprivredi predstavlja značajnu tehnološku inovaciju koja doprinosi modernizaciji i učinkovitosti. Završni rad istražuje različite vrste bespilotnih vozila, uključujući multirotorske, fiksno krilne i hibridne sustave, te njihove specifične primjene. Prednosti korištenja bespilotnih vozila u poljoprivredi uključuje precizno mapiranje, nadzor usjeva, optimizaciju upotrebe resursa kao što su voda i zaštitna sredstva, te brzu procjenu šteta nakon nepogoda. Izazovi poput visokih troškova nabavke, održavanja i potrebe za obukom rukovatelja, kao i regulatorna pitanja, predstavljaju prepreke koje treba riješiti. Unatoč tome, potencijal za unapređenje održivosti poljoprivredne proizvodnje i smanjenje utjecaja na okoliš čini bespilotna vozila ključnim alatom za budućnost poljoprivrede. Daljnji razvoj tehnologije i istraživanja osigurat će njihovu veću primjenu i učinkovitost.

Ključne riječi: Bespilotna vozila, nadzor usjeva, precizno mapiranje, optimizacija resursa, održiva poljoprivreda.

26 stranica, 10 slika, 16 literaturnih izvora

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

BSc Thesis

Davor Vuković

Application of unmanned vehicles in agriculture

Summary:

The use of unmanned vehicles in agriculture represents a significant technological innovation that contributes to modernization and efficiency. The thesis explores different types of unmanned vehicles, including multi-rotor, fixed-wing and hybrid systems, and their specific applications. The benefits of using unmanned vehicles in agriculture include precise mapping, crop monitoring, optimization of the use of resources such as water and pesticides, and rapid damage assessment after a disaster. The challenges of high acquisition costs, maintenance and the need for operator training, as well as regulatory issues, represent obstacles that need to be addressed such as. Despite this, the potential to improve the sustainability of agricultural production and reduce environmental impact makes unmanned vehicles a key tool for the future of agriculture. Further development of technology and research will ensure their greater application and effectiveness.

Keywords: Unmanned vehicles, crop monitoring, precision mapping, resource optimization, sustainable agriculture.

26 pages, 10 pictures, 16 literary sources

Final work is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Kratak pregled povijesti bespilotnih vozila	2
1.2. Cilj rada	2
2. VRSTE BESPILOTNIH VOZILA KORIŠTENIH U POLJOPRIVREDI	3
2.1. Multirotorska bespilotna vozila	3
2.2. Fiksno krilna bespilotna vozila	5
2.3. Hibridna bespilotna vozila	7
3. VRSTE SENZORA I TEHNOLOGIJA SNIMANJA KOD BESPILOTNIH VOZILA	10
3.1. LiDAR tehnologija	13
4. PRIMJENA BESPILOTNIH VOZILA U POLJOPRIVREDI	15
4.1. Praćenje usjeva	15
4.2. Upravljanje usjevima	17
5. PREDNOSTI I NEDOSTATCI BESPILOTNIH VOZILA	20
5.1. Prednosti korištenja bespilotnih vozila	20
5.2. Nedostatci korištenja bespilotnih vozila	21
5.3. Ekološki utjecaj	22
6. REGULACIJA I SIGURNOST	24
6.1. Zakoni i propisi u Republici Hrvatskoj	24
6.2. Sigurnosni protokoli i smjernice za operatere	24
7. ZAKLJUČAK	26
8. POPIS LITERATURE	27

1. UVOD

Poljoprivreda, kao jedna od najstarijih praksi poznatih čovječanstvu kontinuirano se razvija s tehnološkim napretkom. U današnje vrijeme, suočeni s izazovima poput rastuće globalne populacije, klimatskih promjena i potrebe za održivom proizvodnjom hrane, poljoprivrednici su prisiljeni tražiti učinkovita i ekološki prihvatljiva rješenja. Jedna od najnovijih i najperspektivnijih tehnoloških inovacija su bespilotna vozila, poznatija kao "dronovi". Bespilotna vozila su se prvobitno razvila za vojne svrhe, no njihova primjena se brzo proširila na mnoge civilne sektore, uključujući poljoprivredu. Vukadinović (2017.) navodi da poljoprivrednici uz pomoć bespilotnih vozila mogu uštedjeti vrijeme, odnosno u što kraćem vremenskom roku obaviti više posla. Bespilotna vozila omogućuju brži i lakši pristup informacijama o stanju poljoprivrednih kultura poput rasta i razvoja usjeva, raznim bolestima, nedostatku vode, te potrebi tretiranja proizvodne površine. Oni imaju posebne senzore i kamere s pomoću kojih se može točno utvrditi koje područje usjeva zahtjeva dodatnu brigu i opservaciju. S pomoću tako prikupljenih informacija poljoprivrednici lako uviđaju problematiku te mogu brzo reagirati i pružiti biljkama potrebno tretiranje. Ove funkcionalnosti donose brojne prednosti, uključujući smanjenje troškova, povećanje prinosa i smanjenje utjecaja na okoliš. Kako tehnologija nastavlja napredovati, očekuje se da će bespilotna vozila imati sve veću ulogu u globalnoj poljoprivredi, pomažući u suočavanju s izazovima 21. stoljeća.

1.1. Kratak pregled povijesti bespilotnih vozila

Povijest bespilotnih vozila započinje prije nego što su postale popularne u civilnoj upotrebi. Prvi koncepti bespilotnih vozila pojavili su se početkom 20. stoljeća, uglavnom u vojne svrhe. Tijekom Prvog svjetskog rata, SAD je razvio "*Kettering Bug*" primitivni bespilotni zrakoplov namijenjen kao leteća bomba. Iako nije postigao operativni uspjeh, ovaj pionirski projekt postavio je temelje za budući razvoj. U Drugom svjetskom ratu, Njemačka je koristila bespilotne rakete V-1, a saveznici su eksperimentirali s različitim vrstama bespilotnih zrakoplova za izviđanje. Poslijeratno razdoblje donijelo je značajan tehnološki napredak, a 1960-ih i 1970-ih godina SAD je intenzivno koristio bespilotna vozila za izviđanje tijekom Vijetnamskog rata. Prava revolucija u tehnologiji bespilotnih vozila dogodila se krajem 20. i početkom 21. stoljeća s razvojem GPS-a, naprednih senzora i kompjuterskih sustava. Tijekom 1990-ih, bespilotna vozila poput *RQ-1 Predator* postali su ključni alati u vojnim operacijama, pružajući mogućnosti za daljinsko izviđanje i ciljanje s velikom preciznošću. S vremenom su bespilotna vozila pronašla put izvan vojne primjene i počeli se koristiti u civilnim sektorima poput istraživanja, nadzora, snimanja iz zraka i poljoprivrede. Od 2010. godine, tehnološki napredak i smanjenje troškova proizvodnje omogućili su im širu dostupnost. Poljoprivreda je brzo prepoznala potencijal bespilotnih vozila za nadgledanje usjeva, preciznu poljoprivredu i učinkovitije upravljanje resursima. Danas, bespilotna vozila su neizostavan alat u modernoj poljoprivredi, omogućavajući poljoprivrednicima da povećaju produktivnost, smanje troškove i minimiziraju ekološki utjecaj. Uz stalne inovacije i tehnološki razvoj, očekuje se da će bespilotna vozila igrati sve važniju ulogu u globalnoj poljoprivredi i drugim industrijama (Austin, 2010).

1.2. Cilj rada

Cilj ovog rada je identificirati ključne prednosti koje bespilotna vozila donose u poljoprivredu, uključujući precizno mapiranje, nadzor usjeva, optimizaciju upotrebe resursa te brzu procjenu šteta nakon nepogoda. Kroz pregled različitih vrsta bespilotnih vozila, kao što su multirotorska, fiksno krilna i hibridna bespilotna vozila, te njihove specifične funkcije i primjene, nastoji se razumjeti kako ova tehnologija može doprinijeti modernizaciji poljoprivrednog sektora.

2. VRSTE BESPILOTNIH VOZILA KORIŠTENIH U POLJOPRIVREDI

U poljoprivredi se koriste tri glavne vrste bespilotnih vozila: multirotorska, fiksno krilna i hibridna bespilotna vozila. Svaka vrsta je prilagođena specifičnim zadacima i donosi jedinstvene sposobnosti, bilo da je riječ o snimanju iz zraka, analizi tla ili preciznom apliciranju.

2.1. Multirotorska bespilotna vozila

Multirotorska bespilotna vozila, najčešće poznati kao kvadrokopteri (s četiri rotora), heksakopteri (sa šest rotora) (Slika 1.) i oktokopteri (s osam rotora), postali su ključni alati u modernoj poljoprivredi. Njihova sposobnost vertikalnog polijetanja i slijetanja (*VTOL, Vertical Take-Off and Landing*), lebdenja na mjestu, te visoka stabilnost i manevarske sposobnosti čine ih idealnima za brojne poljoprivredne primjene (Barnhart i sur., 2012.).

Karakteristike:

1. VTOL: Omogućava im rad u ograničenim prostorima i nepristupačnim terenima,
2. Lebdenje na mjestu: Idealno za detaljno pregledavanje i snimanje usjeva,
3. Visoka stabilnost: Napredni sustavi za stabilizaciju omogućuju precizne manevre i snimanje čak i u uvjetima jakog vjetra,
4. Manevaribilnost: Sposobnost brze promjene smjera i visine omogućuje učinkovito praćenje i inspekciju poljoprivrednih površina (Barnhart i sur., 2012.).

Primjene:

1. Nadgledanje usjeva i mapiranje:

Multirotorska bespilotna vozila opremljena su visoko rezolucijskim kamerama i multispektralnim sensorima mogu snimiti detaljne slike usjeva. Te slike koriste se za analizu zdravlja biljaka, identificiranje problema kao što su bolesti, štetnici ili nedostatak hranjivih tvari. Softverski alati mogu analizirati prikupljene podatke i stvoriti indeks normalizirane razlike vegetacije (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) karte koje pomažu u procjeni stanja usjeva.

2. Precizno apliciranje pesticida i mineralna sredstva:

Multirotorska bespilotna vozila mogu nositi spremnike za tekućine i precizno primijeniti zaštitna sredstva i mineralnih sredstava na usjeve. Ovo smanjuje upotrebu kemikalija, smanjuje troškove i minimalizira negativan utjecaj na okoliš. Bespilotna vozila mogu biti

programirana da ciljaju samo određena područja koja zahtijevaju tretman, čime se povećava učinkovitost i smanjuje štetan otpad.

3. Praćenje i procjena šteta:

Nakon nepovoljnih vremenskih uvjeta ili napada štetnika, bespilotna vozila mogu brzo procijeniti štetu na usjevima i pomoći poljoprivrednicima pri donošenju odluka u daljnjim koracima.

4. 3D mapiranje i analiza tla:

Multirotorska bespilotna vozila mogu prikupljati podatke za izradu detaljnih 3D modela terena, što pomaže u analizi strukture tla, drenaže i planiranju navodnjavanja.

Prednosti:

Omogućuju vrlo precizne operacije, što je ključno za učinkovito upravljanje resursima. Mogu se koristiti za razne zadatke u poljoprivredi, od nadgledanja do apliciranja zaštitnih sredstava. Brzo obavljaju zadatke koje bi inače zahtijevali puno više vremena i resursa. Dugoročno smanjuju operativne troškove zahvaljujući optimizaciji resursa i smanjenju potrebe za ručnim radom.

Nedostatci:

Multirotorska bespilotna vozila obično imaju kraće vrijeme leta u odnosu na fiksno krilne bespilotna vozila, što može ograničiti njihovu upotrebu na većim poljoprivrednim površinama. Učinkovito upravljanje bespilotnim vozilima zahtijeva određenu razinu tehničke vještine i obuke. Upotreba bespilotnih vozila podliježe zakonskim regulativama koje se mogu razlikovati od države do države (Barnhart i sur., 2012.).



Slika 1. Multirotorsko bespilotno vozilo – heksakopter

(Izvor: Hwang i sur., 2018.)

2.2. Fiksnokrilna bespilotna vozila

Austin (2010.) navodi da fiksnokrilna bespilotna vozila (Slika 2.) imaju dizajn sličan tradicionalnim avionima s krilima koja im omogućuju aerodinamičan let i veću učinkovitost pri pokrivanju velikih površina. Bespilotna vozila su izuzetno korisna u poljoprivredi za zadatke koji zahtijevaju dugotrajan let i pregled velikih proizvodnih površina.

Karakteristike:

1. Aerodinamičan dizajn: Fiksnokrilna bespilotna vozila mogu letjeti brže i pokriti veće površine u jednom letu u usporedbi s multirotorskim bespilotnim vozilima.
2. Dugotrajnost leta: Zbog učinkovitosti krila, bespilotna vozila mogu letjeti duže s istom količinom energije iz baterije, što ih čini idealnim za velike proizvodne površine.
3. Stabilnost pri većim brzinama: Omogućuju precizno prikupljanje podataka čak i pri većim brzinama leta (Austin, 2010.).

Primjene:

1. Mapiranje poljoprivrednog zemljišta

Fiksnokrilna bespilotna vozila idealna su za kreiranje detaljnih ortomozaičnih karata velikih površina. Korištenjem fotogrametrijskih tehnika, mogu generirati visoko precizne trodimenzionalne modele terena i procijeniti karakteristike zemljišta.

2. Praćenje zdravlja usjeva

Opremljeni multispektralnim i hiperspektralnim sensorima, a bespilotna vozila mogu detektirati promjene u vegetaciji, poput stresa zbog nedostatka vode, bolesti ili prisutnosti štetnika. NDVI karte omogućavaju poljoprivrednicima da prate zdravlje usjeva i donose informirane odluke o tretmanima.

3. Procjena prinosa

Fiksnokrilna bespilotna vozila mogu letjeti iznad usjeva i prikupljati podatke koji pomažu u procjeni očekivanih prinosa. Ovo omogućava poljoprivrednicima pri boljem planiranju berbe i upravljanje zalihama.

4. Praćenje i upravljanje vodnim resursima

Analizom topografije i drenaže, bespilotna vozila mogu pomoći u identifikaciji područja koja zahtijevaju poboljšanja u navodnjavanju. Ovo omogućava efikasnije upravljanje vodnim resursima i smanjenje potrošnje vode (Austin, 2010.).

Prednosti:

Visok domet i vrijeme leta omogućuju fiksnokrilnim vozilima pokrivanje velike proizvodne površine u kratkom vremenu. Brže se kreću u usporedbi s multirotorskim bespilotnim vozilima omogućavajući bržu inspekciju i prikupljanje podataka. Zbog aerodinamičkog dizajna, troše manje energije iz baterije po jedinici pokriveno površine (Austin, 2010.).

Nedostatci:

Fiksnokrilna bespilotna vozila zahtijevaju veću površinu za polijetanje i slijetanje u usporedbi s multirotorskim bespilotnim vozilima. Upravljački sustavi mogu biti složeniji, zahtijevajući veću razinu stručnosti i obuke operatera (Austin, 2010.).



Slika 2. Fiksnokrilno bespilotno vozilo

(Izvor: <https://www.unmannedsystemstechnology.com>)

2.3. Hibridna bespilotna vozila

Kako navodi Austin (2010.) hibridna bespilotna vozila predstavljaju inovativni pristup u primjeni tehnologije bespilotnih vozila u poljoprivredi. Ova vozila kombiniraju karakteristike i prednosti multirotorskih i fiksnokrilnih bespilotnih vozila kako bi pružila optimalno rješenje za različite potrebe u poljoprivredi (Slika 3.)

Karakteristike:

1. Hibridna vozila mogu kombinirati vertikalno polijetanje i slijetanje (kao kod multirotorskih) s mogućnošću dugih letova i brzog pokrivanja velikih proizvodnih površina (kao kod fiksnokrilnih).
2. Zahvaljujući kombinaciji karakteristika multirotorskih i fiksnokrilnih bespilotnih vozila, hibridna vozila pružaju stabilnost tijekom leta, veliku nosivost i manju potrošnju energije iz baterije u usporedbi s tradicionalnim bespilotnim vozilima.
3. Mogu se koristiti za mapiranje, nadgledanje usjeva, analizu tla, apliciranje zaštitnih sredstava ili mineralnih sredstava, kao i za hitne intervencije poput procjene šteta nakon prirodnih nepogoda (Austin, 2010.).

Primjene:

1. Hibridna vozila opremljena visokokvalitetnim kamerama i multispektralnim sensorima omogućuju detaljno mapiranje poljoprivrednih površina i praćenje zdravlja usjeva. Multispektralni podaci koriste se za identifikaciju stresa u biljkama, štetnika ili bolesti.
2. Zahvaljujući svojoj sposobnosti za vertikalno polijetanje i slijetanje, hibridna vozila mogu precizno aplicirati zaštitna ili mineralna sredstva na ciljana područja usjeva, minimizirajući gubitak resursa i smanjujući negativan utjecaj na okoliš.
3. U slučaju prirodnih katastrofa ili nepogoda, hibridna vozila mogu brzo i učinkovito procijeniti štete na poljoprivrednim površinama, pružajući važne podatke za brzu reakciju i sanaciju (Austin, 2010.).

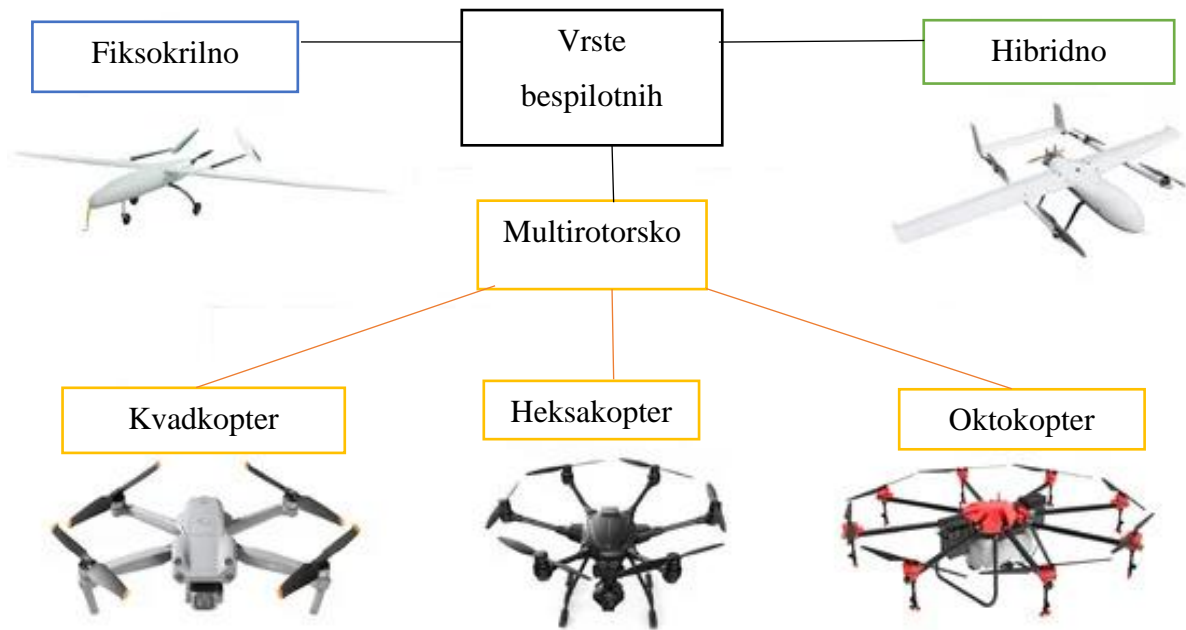
Prednosti:

Hibridna vozila mogu obavljati različite zadatke u poljoprivredi, prilagođavajući se specifičnim potrebama i uvjetima terena. Kombinacija karakteristika multirotorskih i fiksnokrilnih bespilotnih vozila omogućuje visoku učinkovitost u operacijama, smanjenje troškova i optimizaciju resursa. Hibridna vozila pružaju stabilnost tijekom leta i pouzdanost u različitim uvjetima (Austin, 2010.).

Nedostatci:

Integracija i upravljanje hibridnim bespilotnim vozilima zahtijeva napredne tehničke vještine i stručnost operatera. Hibridna vozila mogu biti skuplja od tradicionalnih bespilotnih vozila, što može predstavljati financijski izazov za poljoprivrednike s ograničenim financijskim sredstvima (Austin, 2010.).

Na slici je prikaz vrsta bespilotnih vozila i njihova podjela, te se su vidljive razlike u njihovim izvedbama. Bespilotna vozila dijele se na fiksokrilna, hibridna i multirotorska vozila. Multirotorska vozila dijelimo na kvadkopter, heksakopter i oktokopter.



Slika 3. Vrste bespilotnih vozila
(Izvor: Choi i sur., 2023.)

3. VRSTE SENZORA I TEHNOLOGIJA SNIMANJA KOD BESPILOTNIH VOZILA

Poljoprivredna bespilotna vozila opremljena su raznim sensorima i tehnologijama snimanja prilagođenim specifičnim potrebama praćenja usjeva, precizne poljoprivrede i procjene okoliša u poljoprivrednim aplikacijama. Opis različitih vrsta senzora i tehnologija snimanja navodi Tuğrul (2023.):

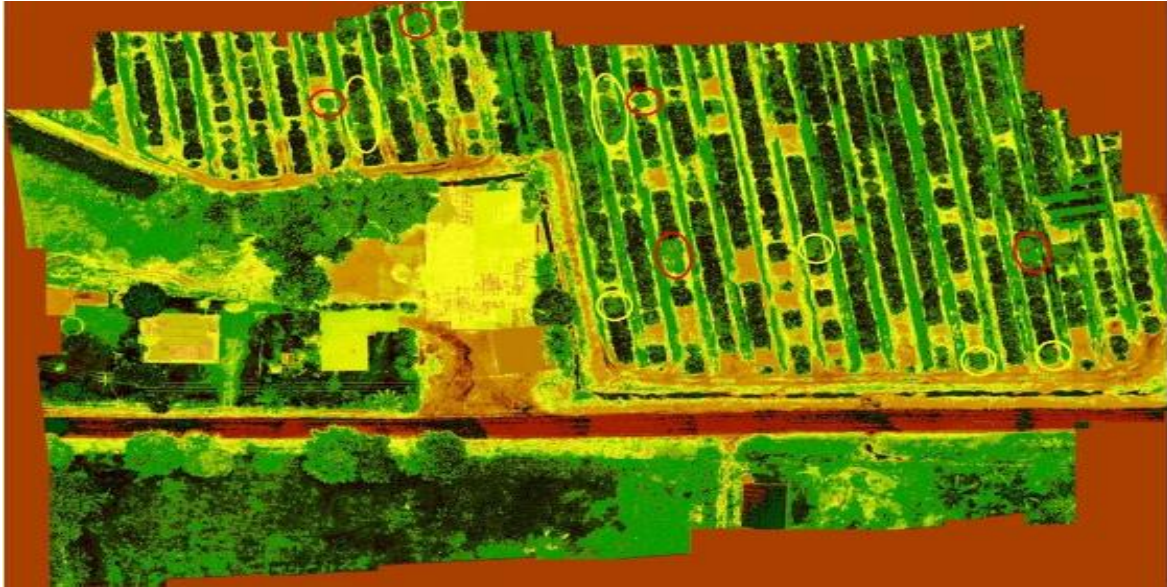
1. RGB kamere snimaju standardne slike u boji slične onima koje vidi ljudsko oko (Slika 4.). Ove kamere pružaju vizualne informacije o zdravlju usjeva, obrascima rasta i uvjetima na polju. RGB slike korisne su za vizualni pregled, mapiranje i općenite zadatke praćenja u poljoprivredi.



Slika 4. Prikaz slike s bojama vidljivim ljudskom oku

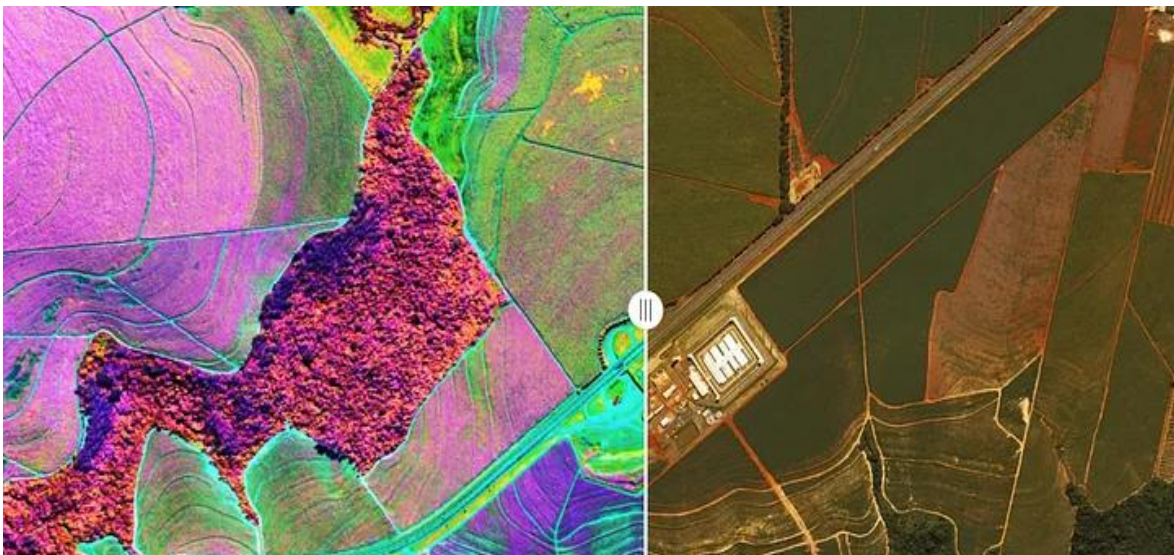
(Izvor: <https://www.equinoxdrones.com>)

2. Multispektralne kamere snimaju slike u više spektralnih pojasa, uključujući vidljive (RGB) i bliske infracrvene (NIR) valne duljine. Multispektralne slike pružaju uvid u zdravlje vegetacije, razine stresa i sadržaj hranjivih tvari (Slika 5.). Multispektralni senzori se obično koriste u preciznoj poljoprivredi za praćenje usjeva, otkrivanje bolesti i procjenu prinosa (Tuğrul, 2023.).



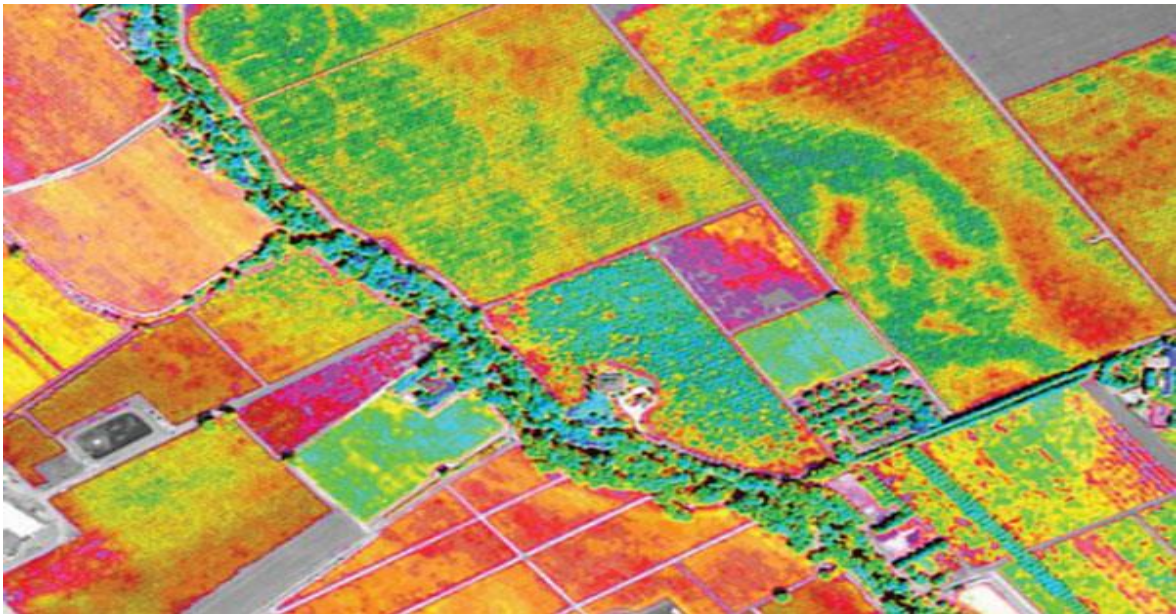
Slika 5. Multispektralna slika
(Izvor: <https://www.uavfordrone.com>)

3. Hiperspektralne kamere snimaju slike kroz stotine uskih i susjednih spektralnih pojaseva, nudeći detaljne spektralne informacije o sastavu i karakteristikama objekata i materijala u sceni. Hiperspektralne slike (Slika 6.) vrijedne su za naprednu analizu zdravlja usjeva, razine hranjivih tvari i svojstava tla u poljoprivredi (Tuğrul, 2023.).



Slika 6. Hiperspektralna slika
(Izvor: <https://medium.com>)

4. Termalne kamere otkrivaju i hvataju toplinsko zračenje koje emitiraju objekti u sceni. Toplinske slike pružaju podatke o temperaturi, omogućujući korisnicima da identificiraju temperaturne varijacije i toplinske anomalije u usjevima i tlu (Slika 7.). Termalne kamere koriste se za praćenje nedostatka vode u usjevima, aktivnosti štetnika i učinkovitosti navodnjavanja u preciznoj poljoprivredi (Tuğrul, 2023.).



Slika 7. Termalna slika

(Izvor: <https://www.uaslogic.com>)

5. GPS (*Global Positioning System*) prijamnici instalirani na poljoprivrednim bespilotnim vozilima daju točne podatke o položaju i navigaciji, omogućujući precizno georeferenciranje slika i podataka prikupljenih tijekom letova. GPS podaci ključni su za izradu točnih karata, anketa i prostornih analiza u poljoprivredi (Keita i sur., 2010.).
6. IMU (Inercijalna mjerna jedinica) senzori mjere orijentaciju, brzinu i ubrzanje bespilotnog vozila s pomoću žiroskopa i akcelerometara. IMU podaci koriste se za stabilizaciju, kontrolu položaja i analizu dinamike leta. IMU-ovi pomažu osigurati stabilne performanse leta i prikupljanje točnih podataka tijekom poljoprivrednih misija (Gautam i sur., 2017.).

7. Neka poljoprivredna bespilotna vozila opremljena su specijaliziranim senzorima dizajniranim za procjenu specifičnih aspekata zdravlja usjeva, kao što su sadržaj klorofila, indeks površine lista (LAI) i temperatura krošnje. Ovi senzori daju ciljane informacije o fiziologiji usjeva i razinama stresa, pomažući u ranom otkrivanju najezde štetočina, nedostataka hranjivih tvari i izbijanja bolesti (Tuğrul, 2023.).
8. Poljoprivredna bespilotna vozila mogu sadržavati prijenos podataka i komunikacijske sustave za prijenos slika i podataka senzora u stvarnom vremenu na zemaljske stanice ili platforme za daljinsko praćenje. Ovi sustavi omogućuju poljoprivrednicima i agronomima praćenje usjeva, analizu podataka i donošenje informiranih odluka u gotovo stvarnom vremenu (Tuğrul, 2023.).

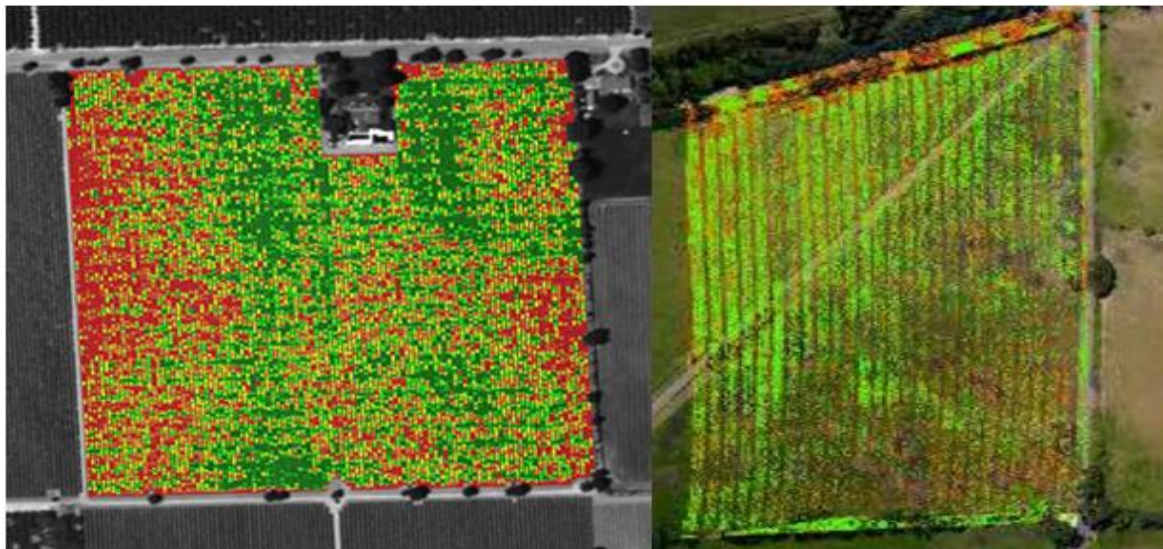
3.1. LiDAR tehnologija

LiDAR (*Light Detection and Ranging*): LiDAR senzori emitiraju laserske impulse i mjere vrijeme koje je potrebno da se impulsi vrte nakon odbijanja od objekata u okruženju. LiDAR podaci koriste se za izradu vrlo preciznih 3D karata terena, struktura i vegetacije (Slika 8). LiDAR je vrijedan za kartiranje terena, modeliranje nadmorske visine, analizu vegetacije te druge svrhe koje zahtijevaju visoku preciznost i detaljnost podataka u poljoprivredi (Hämmerle i sur., 2014.).

Primjena LiDAR tehnologije u bespilotnim vozilima:

1. LiDAR omogućuje stvaranje preciznih digitalnih visinskih modela (DEM) koji su korisni za planiranje navodnjavanja, drenaže i drugih poljoprivrednih aktivnosti koje ovise o topografiji.
2. S pomoću LiDAR-a može se precizno mjeriti visina biljaka, gustoća vegetacije te drugi parametri koji su važni za praćenje zdravlja usjeva i optimizaciju uzgoja.
3. Identifikacija i praćenje štetočinje koje mogu utjecati na usjeve s pomoću detaljnih 3D modela koje omogućuje LiDAR tehnologija.

4. Nakon prirodnih nepogoda poput poplava ili oluja, LIDAR može brzo i precizno procijeniti štetu na poljoprivrednim površinama, što omogućava brže donošenje odluka o sanaciji (Avtar i sur., 2020.).



Slika 8. LiDAR pogled (Izvor: <https://www.agrotechnomarket.com>)

4. PRIMJENA BESPILOTNIH VOZILA U POLJOPRIVREDI

Korištenje bespilotnih vozila u poljoprivredi donosi revoluciju u načinu praćenja i upravljanja usjevima. Napredne tehnologije, omogućuju precizno i učinkovito nadgledanje velikih poljoprivrednih površina, pružajući detaljne podatke koji su ključni za donošenje informiranih odluka. Nekada se poljoprivrednici oslanjali na ručne metode i procjene, dok danas, zahvaljujući bespilotnim vozilima, mogu dobiti točne informacije u stvarnom vremenu. To ne samo da štedi vrijeme i resurse, već i značajno povećava produktivnost i održivost (Zang, 2015.).

4.1. Praćenje usjeva

Bespilotna vozila se koriste za praćenje usjeva različitim metodama i tehnikama, koristeći svoje mogućnosti iz zraka i napredne senzorske tehnologije (Slika 9.) koje nisu vidljive ljudskom oku, navodi Marnane (2020.). Korištenje bespilotnih vozila u poljoprivredi, kako navodi Zhang (2015.):

1. Snimanje iz zraka: Bespilotna vozila snimaju zračne slike poljoprivrednih polja visoke rezolucije s pomoću ugrađenih kamera, multispektralnih senzora ili hiperspektralnih senzora. Ove slike pružaju detaljne vizualne informacije o zdravlju usjeva, uzorcima rasta i uvjetima na polju. Snimanje iz zraka omogućuje poljoprivrednicima praćenje usjeva iz ptičje perspektive, omogućujući sveobuhvatno pokrivanje velikih poljoprivrednih površina i hvatanje podataka u različitim fazama razvoja usjeva.
2. Daljinska detekcija: Bespilotna vozila su opremljena tehnologijama daljinske detekcije, kao što su multispektralni ili hiperspektralni senzori, prikupljaju podatke izvan vidljivog spektra svjetlosti. Ovi senzori hvataju informacije o različitim svojstvima usjeva, uključujući sadržaj klorofila, sadržaj vode u lišću i razine vegetacijskog stresa. Podaci daljinskog očitavanja omogućuju precizniju i kvantitativniju procjenu zdravlja usjeva, omogućujući poljoprivrednicima da otkriju rane znakove stresa, nedostatka hranjivih tvari, najezde štetnika ili bolesti.
3. Toplinsko snimanje: Termo vizijske kamere postavljene na bespilotna vozila bilježe infracrveno zračenje koje emitiraju usjevi i tlo. Toplinska slika pruža dragocjene uvide u temperaturne varijacije na terenu, što može ukazivati na razlike u vodnom stresu

usjeva, razinama vlage u tlu ili aktivnostima štetočina. Toplinska slika pomaže poljoprivrednicima pri identificiranju problematičnih područja i daju prioritet upravljačkim radnjama za rješavanje problema koji utječu na zdravlje i produktivnost usjeva.

4. Mapiranje i mjerenje: Bepilotna vozila generiraju detaljne karte i preglede poljoprivrednih polja koristeći tehnike fotogrametrije. Snimanjem preklapajućih slika terena iz različitih kutova, bepilotna vozila stvaraju ortomozaične karte visoke rezolucije, digitalne modele površine (DSM) i trodimenzionalne (3D) modele krajolika. Ove karte poljoprivrednicima pružaju točne prostorne informacije o topografiji polja, uzorcima odvodnje i karakteristikama tla, olakšavajući donošenje odluka o upravljanju specifičnim za lokaciju i planiranje korištenja zemljišta.
5. Analiza indeksa vegetacije: Bepilotna vozila izračunavaju indekse vegetacije, kao što je NDVI ili normalizirani crveni rub razlike (NDRE), iz multispektralnih ili hiperspektralnih slika. Vegetacijski indeksi kvantificiraju relativno zdravlje i snagu usjeva na temelju njihovih svojstava spektralne refleksije. Analizirajući indekse vegetacije, poljoprivrednici mogu procijeniti stres usjeva, pratiti dinamiku rasta i identificirati područja slabijeg učinka ili varijabilnosti unutar polja.
6. Praćenje u stvarnom vremenu: Bepilotna vozila su opremljena mogućnošću prijenosa videa uživo omogućujući praćenje uvjeta na polju u stvarnom vremenu. Poljoprivrednici mogu upravljati bepilotnim vozilima na daljinu i u stvarnom vremenu pratiti snimke iz zraka putem mobilnih uređaja ili zemaljskih stanica. Praćenje u stvarnom vremenu omogućuje trenutnu procjenu zdravlja usjeva, aktivnosti štetočina, vremenskih promjena ili drugih kritičnih čimbenika koji utječu na rad na polju. Poljoprivrednici mogu donositi brze odluke i pravodobno poduzeti radnje za rješavanje novonastalih problema i optimiziranje praksi upravljanja.
7. Analiza podataka i potpora odlučivanju: Bepilotna vozila generiraju goleme količine podataka s pomoću tehnologija snimanja iz zraka i senzora. Ti se podaci mogu obraditi, analizirati i interpretirati korištenjem naprednih alata i algoritama za analizu podataka. Integriranjem podataka dobivenih bepilotnim vozilom s drugim izvorima kao što su vremenski podaci, uzorci tla i podaci o usjevima, poljoprivrednici mogu dobiti

dragocjene uvide u učinak usjeva, optimizirati korištenje resursa i donijeti odluke na temelju podataka za poboljšanje poljoprivrednih praksi i maksimiziranje prinosa.



Slika 9. Praćenje usjeva različitim metodama i tehnikama

(Izvor: <https://theprint.in>)

4.2. Upravljanje usjevima

Bespilotna vozila igraju značajnu ulogu u upravljanju usjevima pružajući poljoprivrednicima vrijedne podatke i uvide u optimizaciju različitih aspekata poljoprivrednih operacija (Slika 10.). Ključne uloge po navodu Zhang (2015.) u upravljanju usjevima:

1. Praćenje usjeva: Koriste za praćenje zdravlja, rasta i razvoja usjeva tijekom vegetacijske sezone. Opremljeni kamerama i senzorima, bespilotna vozila snimaju slike iz zraka visoke rezolucije koje pružaju detaljne informacije o stanju usjeva, statusu hranjivih tvari, nedostatku vode i napadima štetočina. Redovitim praćenjem usjeva odozgo, poljoprivrednici mogu rano identificirati probleme, pravovremeno intervenirati i optimizirati prakse upravljanja kako bi maksimizirali prinos i kvalitetu.
2. Kartiranje i mjerenje polja: Koriste za izradu točnih karata i istraživanja poljoprivrednih polja. Koristeći tehnike fotogrametrije, bespilotna vozila snimaju slike terena koje se

preklapaju, a zatim se obrađuju za generiranje ortomozaičnih karata, digitalnih površinskih modela (DSM) i 3D modela krajolika. Ove karte poljoprivrednicima pružaju vrijedne prostorne informacije o granicama polja, topografiji, obrascima odvodnje i karakteristikama tla, olakšavajući precizno upravljanje zemljištem i raspodjelu resursa.

3. Precizna poljoprivreda: Omogućuju precizne poljoprivredne prakse pružajući poljoprivrednicima detaljne prostorne podatke za donošenje odluka o upravljanju specifičnim za lokaciju. Analizirajući snimke iz zraka i podatke senzora, poljoprivrednici mogu identificirati varijabilnost unutar polja i implementirati ciljane intervencije prilagođene specifičnim potrebama različitih područja. To uključuje varijabilnu primjenu inputa kao što su voda za navodnjavanje, mineralna i zaštitna sredstva na temelju čimbenika kao što su plodnost tla, zdravlje usjeva i uvjeti okoliša. Precizna poljoprivreda optimizira korištenje resursa, minimizira ulazne troškove i maksimizira prinos i kvalitetu usjeva.
4. Aplikiranje usjeva: Opremljeni sustavima za aplikiranje koriste se za preciznu primjenu agrokemikalija, kao što su mineralna i zaštitna sredstva. Preciznim ciljanjem područja koja trebaju tretman, bespilotna vozila smanjuju upotrebu zaštitnih sredstava, smanjuju utjecaj na okoliš i optimiziraju kontrolu štetočina i korova. Osim toga, bespilotna vozila mogu pristupiti zahtjevnim ili nepristupačnim terenima, omogućujući učinkovitu primjenu na strmim ili neravnim terenima gdje poljoprivredna tehnika ne može pristupiti u cijelosti.
5. Upravljanje navodnjavanjem: Pomažu u upravljanju navodnjavanjem pružanjem uvida u razine vlage u tlu i nedostatak vode u usjevima. Termovizijski i multispektralni senzori mogu detektirati varijacije u temperaturi usjeva i refleksiji povezani s nedostatkom vode, omogućujući poljoprivrednicima da identificiraju područja koja trebaju navodnjavanje i prilagode rasporede navodnjavanja u skladu s tim. Optimiziranjem navodnjavanjem poljoprivrednici mogu sačuvati vodu, poboljšati učinkovitost korištenja vode i održati zdravlje i produktivnost usjeva.
6. Praćenje i predviđanje prinosa: Koriste za praćenje prinosa usjeva i predviđanje ishoda žetve snimanjem slika i podataka tijekom vegetacijske sezone. Analizirajući pokazatelje

zdravlja usjeva i vegetacijske indekse izvedene iz snimaka iz zraka, poljoprivrednici mogu procijeniti potencijal prinosa, identificirati područja slabijeg učinka i donijeti informirane odluke u vezi s vremenom žetve i logistikom. Praćenje prinosa pomaže poljoprivrednicima optimizirati žetvu, planirati skladištenje i transport te povećati profitabilnost poljoprivredne proizvodnje.

7. Upravljanje štetocinama i bolestima: Pomažu u suzbijanju štetocina i bolesti olakšavajući rano otkrivanje i ciljane intervencijske mjere. Slike iz zraka i podaci senzora mogu otkriti znakove najezde štetocina, izbijanja bolesti i zaraze korovom, omogućujući poljoprivrednicima poduzimanje proaktivnih mjera za ublažavanje štete i sprječavanje širenja. Primjenom zaštitnih sredstava ili provedbom kulturnih praksi točno tamo gdje je to potrebno, poljoprivrednici mogu minimizirati gubitke usjeva, smanjiti upotrebu kemikalija i održati zdravlje i produktivnost usjeva (Zhang, 2015.).



Slika 10. Upravljanje usjevima
(Izvor: <https://www.remoteflyer.com>)

5. PREDNOSTI I NEDOSTATCI BESPILOTNIH VOZILA

Kako navode Schimmelpfennig i sur., (2016.) korištenje bespilotnih vozila u poljoprivredi brzo postaje standardna praksa zbog brojnih prednosti koje donosi. Ove letjelice omogućuju precizno praćenje usjeva, optimizaciju resursa i povećanje učinkovitosti rada na polju. Ipak, uz prednosti dolaze i određeni nedostaci, uključujući tehničke izazove i visoke početne troškove. Također, bespilotna vozila imaju značajan ekološki utjecaj, s pozitivnim aspektima kao što su smanjenje upotrebe kemikalija i vode, ali i potencijalnim negativnim posljedicama poput elektroničkog otpada. Kroz razumijevanje prednosti, nedostataka i ekološkog utjecaja, možemo bolje procijeniti kako integrirati ovu tehnologiju u održivu poljoprivredu.

5.1. Prednosti korištenja bespilotnih vozila

Korištenjem bespilotnih vozila, poljoprivrednici mogu značajno povećati produktivnost, smanjiti troškove i unaprijediti održivost svojih operacija, čime se postavlja temelj za modernu i tehnološki naprednu poljoprivredu. Prilikom analize videozapisa (<https://www.youtube.com/watch?v=P2YPG8PO9JU>) „DJI MG – 1S – Agricultural Wonder Drone“ ističu se prednosti i razne pogodnosti korištenje bespilotnog vozila kao što su:

1. Učinkovitost

Bespilotna vozila mogu brzo i učinkovito pregledati velike površine poljoprivrednog zemljišta. Zahvaljujući svojoj brzini i pokretljivosti, omogućuju poljoprivrednicima da u kratkom vremenu prikupe važne podatke o stanju usjeva, bez potrebe za ručnim obilaskom polja. Bespilotna vozila mogu kontinuirano nadgledati stanje usjeva, pružajući ažurirane informacije u stvarnom vremenu. To omogućuje brzu reakciju na potencijalne probleme, kao što su suša, bolesti ili štetnici, te pomaže u održavanju zdravih i produktivnih usjeva.

2. Preciznost

Korištenjem multispektralnih kamera i drugih senzora, bespilotna vozila mogu pružiti detaljne mape tla i usjeva. Ove informacije omogućuju poljoprivrednicima da precizno identificiraju područja koja zahtijevaju posebnu pažnju, poput onih s niskom plodnošću ili problemima s navodnjavanjem. Bespilotna vozila omogućuju preciznu primjenu zaštitnih i mineralnih sredstava samo na područja koja ih stvarno trebaju. Time se smanjuje količina korištenih zaštitnih sredstava, što je ekološki prihvatljivije i smanjuje troškove. Korištenjem

visoke rezolucije kamera, mogu pružiti detaljne slike usjeva, omogućujući poljoprivrednicima da precizno procijene rast i zdravlje biljaka. Ovo pomaže u optimizaciji vremena žetve i maksimiziranju prinosa

3. Smanjenje troškova

Korištenjem bespilotnih vozila, poljoprivrednici mogu smanjiti broj sati potrebnih za inspekciju i održavanje polja. Bespilotna vozila mogu automatski obaviti mnoge zadatke koji bi inače zahtijevali ručni rad što smanjuje potrebu za radnom snagom. Precizna primjena zaštitnih i mineralnih sredstava smanjuje njihovu ukupnu potrošnju, čime se smanjuju troškovi nabave ovih materijala. Također, precizno navodnjavanje može smanjiti potrošnju vode. Rano otkrivanje problema s usjevima putem bespilotnih vozila može spriječiti velike gubitke u proizvodnji. Pravovremena intervencija smanjuje rizik od propadanja usjeva i pomaže u očuvanju investicija.

5.2. Nedostatci korištenja bespilotnih vozila

Schimmelpfennig i sur., (2016.) ističu da bespilotna vozila mogu dugoročno smanjiti troškove. Nabava kvalitetnih bespilotnih vozila, senzora i softvera može biti skupa, a tu su i troškovi obuke i održavanja opreme. Ovi ulazni troškovi mogu biti prepreka za poljoprivrednike s ograničenim financijskim sredstvima.

Zhang i sur., (2012.) navode da su bespilotna vozila složeni uređaji koji zahtijevaju redovno održavanje i povremene popravke. Problemi poput kvarova senzora, oštećenja zbog loših vremenskih uvjeta ili jednostavnog habanja mogu rezultirati dodatnim troškovima i gubitkom produktivnosti. Održavanje i popravak bespilotnih vozila zahtijeva specijalizirano znanje i opremu, što može predstavljati izazov za poljoprivrednike. Većina softvera i tehničke podrške za bespilotna vozila dostupna je na engleskom jeziku. Poljoprivrednici koji ne govore engleski mogu se suočiti s poteškoćama u razumijevanju i korištenju ovih alata što može značajno ograničiti njihovu sposobnost za učinkovito korištenje bespilotnih vozila. Stariji poljoprivrednici često osjećaju nelagodu ili strah prema novim tehnologijama. Strah od nepoznatog i oprez prema tehnologijama koje ne razumiju mogu rezultirati odbijanjem korištenja bespilotnih vozila. Ova psihološka barijera može spriječiti usvajanje potencijalno korisnih tehnologija u poljoprivredi i ograničiti modernizaciju.

5.3. Ekološki utjecaj

Kako navode Zhang i sur., (2012.) korištenje bespilotnih vozila u poljoprivredi donosi značajne ekološke prednosti, ali i izazove koje je važno razumjeti, također ističu neke prednosti i nedostatke:

Pozitivni ekološki utjecaji:

1. Smanjenje uporabe kemikalija

Jedna od najvećih prednosti bespilotnih vozila u poljoprivredi je precizno apliciranje zaštitnih i mineralnih sredstava. Tradicionalne metode apliciranja često rezultiraju prekomjernom upotrebom kemikalija koje zagađuju tlo i vodene izvore. Bespilotna vozila omogućuju ciljanu primjenu, čime se smanjuje količina potrebnih kemikalija i minimizira negativan utjecaj na okoliš.

2. Poboljšana upravljivost vodom

Bespilotna vozila pomažu u preciznom nadzoru potreba za vodom putem senzora i kamera koje prate vlažnost tla i stanje usjeva. Ova tehnologija omogućuje učinkovitije navodnjavanje, čime se smanjuje potrošnja vode i sprječava erozija tla uzrokovana prekomjernim navodnjavanjem.

3. Smanjenje emisija stakleničkih plinova

Korištenje bespilotnih vozila može smanjiti potrebu za teškom mehanizacijom koja troši fosilna goriva. Manja upotreba traktora i drugih velikih strojeva rezultira nižim emisijama stakleničkih plinova, što doprinosi smanjenju ugljičnog dioksida.

4. Očuvanje biološke raznolikosti

Bespilotna vozila omogućuju poljoprivrednicima brzo i učinkovito praćenje stanja usjeva i okoliša. Brza identifikacija problema kao što su bolesti ili štetnici omogućuje pravovremenu intervenciju, što pomaže u očuvanju zdravih ekosustava i biološke raznolikosti (Zhang i sur., 2012.).

Negativni ekološki utjecaji:

1. Elektronički otpad

Kao i svaka tehnologija, беспilotna vozila imaju svoj životni vijek. Nakon određenog vremena, zastarjeli ili pokvareni dijelovi postaju elektronički otpad. Nepravilno zbrinjavanje ovog otpada može dovesti do zagađenja okoliša.

2. Utjecaj na faunu

Zvuk i prisutnost беспilotnih vozila mogu ometati lokalnu faunu. Ptice i druge životinje mogu biti uznemirene bukom i kretanjem беспilotnih vozila, što može imati negativne posljedice na njihovo ponašanje i stanište.

3. Potrošnja energije

Iako беспilotna vozila smanjuju upotrebu fosilnih goriva, oni sami zahtijevaju energiju za rad. Ako se ta energija dobiva iz neobnovljivih izvora, ukupni ekološki utjecaj može biti negativan. Važno je koristiti obnovljive izvore energije za punjenje беспilotnih vozila kako bi se maksimalno smanjio njihov utjecaj na povećanje ugljičnog dioksida (Zhang i sur., 2012.).

6. REGULACIJA I SIGURNOST

Korištenje bespilotnih vozila u poljoprivredi u Republici Hrvatskoj regulirano je strogim zakonima i propisima kako bi se osigurala sigurnost i zaštita svih uključenih. Operateri bespilotnih vozila moraju biti svjesni pravila koja uređuju njihov rad, kao i sigurnosnih protokola i smjernica koje su im na raspolaganju.

6.1. Zakoni i propisi u Republici Hrvatskoj

Prema hrvatskim zakonima, korištenje bespilotnih vozila regulirano je Zakonom o zračnom prometu i propisima koje donosi Agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA). Svi operateri bespilotnih vozila, uključujući poljoprivrednike, moraju se pridržavati ovih propisa. To uključuje obaveznu registraciju bespilotnih vozila, polaganje ispita za upravljanje bespilotnim vozilima i dobivanje odgovarajućih dozvola za let. Operateri moraju svaki let prethodno prijaviti te čekati dozvolu za rad od CCAA. Također, postoje ograničenja visine leta (do 120 m) i područja u kojima je let zabranjen ili ograničen.

6.2. Sigurnosni protokoli i smjernice za operatere

Sigurnost je ključna komponenta korištenja bespilotnih vozila u poljoprivredi. Operateri moraju proći obuku koja uključuje teoretski dio o zakonima i pravilima, kao i praktični dio o upravljanju letjelicom. Također, operateri moraju redovito održavati svoje letjelice kako bi osigurali njihovu ispravnost.

Smjernice za sigurnost uključuju:

1. Prije svakog leta, operateri moraju provjeriti stanje bespilotnog vozila, uključujući baterije, senzore i motore. Također, trebaju osigurati da je sva oprema pravilno kalibrirana.
2. Tijekom leta, operateri trebaju osigurati sigurnosnu zonu oko područja rada kako bi spriječili ozljede ljudi i životinja. Bespilotna vozila ne smiju letjeti iznad ljudi, vozila ili zgrada bez posebne dozvole.
3. Operateri moraju stalno pratiti let bespilotnog vozila i biti spremni preuzeti ručnu kontrolu ako dođe do problema. Automatski sustavi mogu biti korisni, ali ljudski nadzor je uvijek potreban.

4. Operateri moraju biti upoznati s hitnim protokolima za slučaj da dođe do tehničkog kvara, gubitka signala ili drugih nepredviđenih situacija. To uključuje sigurnosno slijetanje i obavještanje nadležnih tijela.
5. Tijekom snimanja, operateri moraju poštivati privatnost drugih osoba. Snimanje bez pristanka može biti protivno zakonima o zaštiti privatnosti (Agencija za civilno zrakoplovstvo CCAA).

7. ZAKLJUČAK

Primjena bespilotnih vozila u poljoprivredi pokazala se izuzetno korisnom i perspektivnom tehnologijom s mnogim potencijalnim prednostima. Kroz istraživanje različitih vrsta bespilotnih vozila, kao što su multirotorski, fiksno krilni i hibridni sustavi, dokazano je da nude značajne prednosti u pogledu preciznosti, učinkovitosti i smanjenja negativnog utjecaja na okoliš. Jedna od ključnih prednosti bespilotnih vozila je njihova sposobnost za prikupljanje visokokvalitetnih podataka putem različitih senzora kao što su multispektralne kamere, LiDAR tehnologija i termalne kamere. Dobiveni podaci omogućuju poljoprivrednicima precizniju analizu stanja usjeva, otkrivanje bolesti ili štetočina te optimizaciju upotrebe resursa. Također, bespilotna vozila mogu pružiti brzu procjenu šteta nakon nepovoljnih vremenskih uvjeta ili prirodnih katastrofa što je ključno za brzu intervenciju i minimiziranje gubitaka. Međutim, upotreba bespilotnih vozila u poljoprivredi također nosi određene izazove. Troškovi nabavke, održavanja i obuke osoblja mogu biti visoki što može biti prepreka za manje poljoprivredne operacije. Također, postoje i regulatorni izazovi koji trebaju biti pažljivo riješeni kako bi se osigurala sigurna i zakonita upotreba ovih tehnologija. U budućnosti, daljnji razvoj bespilotnih tehnologija omogućit će napredniju funkcionalnost i veću učinkovitost, čime bi se dodatno potaknula njihova integracija u svakodnevne poljoprivredne agrotehničke operacije. Stoga je važno kontinuirano pratiti tehnološke inovacije i istraživanja kako bi se maksimalno iskoristile prednosti bespilotnih vozila u optimizaciji poljoprivredne proizvodnje i održivog upravljanja resursima. U konačnici, bespilotna vozila predstavljaju važan alat za modernizaciju poljoprivredne industrije, pružajući poljoprivrednicima snažan instrument za bolje upravljanje poljoprivrednim resursima i povećanje produktivnosti uz istovremeno smanjenje negativnog utjecaja na okoliš.

8. POPIS LITERATURE

1. Agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA) URL: <https://www.ccaa.hr/letacke-operacije-sustavima-bespilotnih-zrakoplova-18055> (5.7.2024.)
2. Austin, R. (2010). "Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment." Wiley.
3. Avtar, R., & Watanabe, T. (Eds.). (2020). *Unmanned aerial vehicle: Applications in agriculture and environment*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
4. Barnhart, R. K., Hottman, S. B., Marshall, D. M., i Shappee, E. (2012). "Introduction to Unmanned Aircraft Systems." CRC Press.
5. Choi, H. W., Kim, H. J., Kim, S. K., & Na, W. S. (2023). An overview of drone applications in the construction industry. *Drones*, 7(8), 515.
6. DJI MG-1S – Agricultural Wonder Drone. // Youtube 21.03.2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=P2YPG8PO9JU> (4.7.2024.)
7. Gautam, D., Lucieer, A., Malenovský, Z., & Watson, C. (2017). Comparison of MEMS-based and FOG-based IMUs to determine sensor pose on an unmanned aircraft system. *Journal of Surveying Engineering*, 143(4), 04017009.
8. Hämmerle, M., & Höfle, B. (2014). Effects of reduced terrestrial LiDAR point density on high-resolution grain crop surface models in precision agriculture. *Sensors*, 14(12), 24212-24230.
9. Hwang, M. H., Cha, H. R., & Jung, S. Y. (2018). Practical endurance estimation for minimizing energy consumption of multicopter unmanned aerial vehicles. *Energies*, 11(9), 2221.
10. Keita, N., Carfagna, E., & Mu'Ammar, G. (2010, October). Issues and guidelines for the emerging use of GPS and PDAs in agricultural statistics in developing countries. In *The Fifth International Conference on Agricultural Statistics (ICAS V)*, Kampala, Uganda (pp. 12-15).
11. Monitoring Crop Health With Drones / Maryland Farm & Harvest (2020.), URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wUBxcXSM6wc> (4.7.2024.)
12. Schimmelpfennig, D., i Ebel, R. (2016). "On the Doorstep of the Information Age: Recent Adoption of Precision Agriculture". *Economic Research Service Report*, U.S. Department of Agriculture.

13. Tuğrul, Koç Mehmet (2023.): *Drone Technologies and Applications*, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Eskisehir, Eskisehir Osmangazi University, Turkey.
14. Vukadinović, Vladimir. Dronovi u poljoprivredi (2016.) URL: http://tlo-i-biljka.eu/Gnojdba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2016.pdf
15. Zhang, C., i Kovacs, J. M. (2012). "The Application of Small Unmanned Aerial Systems for Precision Agriculture: A Review". *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.
16. Zhang, Qin (2015.): *Precision Agriculture Tehnology for Crop Farming*, CRC Press, Boca Raton, USA.