

Primjena autonomnih sustava u voćarstvu i vinogradarstvu

Kovačev, Neven

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:204:330157>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**PRIMJENA AUTONOMNIH SUSTAVA U VOĆARSTVU I
VINOGRADARSTVU**

DIPLOMSKI RAD

Neven Kovačev

Zagreb, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija

**PRIMJENA AUTONOMNIH SUSTAVA U VOĆARSTVU I
VINOGRADARSTVU**

DIPLOMSKI RAD

Neven Kovačev

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija

Zagreb, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Neven Kovačev**, JMBAG 0130223888, rođen 16. 8. 1987. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

PRIMJENA AUTONOMNIH SUSTAVA U VOĆARSTVU I VINOGRADARSTVU

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Nevena Kovačeva**, JMBAG 0130223888, naslova

PRIMJENA AUTONOMNIH SUSTAVA U VOĆARSTVU I VINOGRADARSTVU

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|--------------------------------------|--------|-------|
| 1. | Izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija | mentor | _____ |
| 2. | Izv. prof. dr. sc. Ante Galić | član | _____ |
| 3. | Izv. prof. dr. sc. Goran Fruk | član | _____ |

Zahvala

Zahvaljujem svima koji su dali svoj doprinos nastanku ovog diplomskog rada – mentorstvom, savjetima, sugestijama, podrškom.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj rada.....	2
2. Poljoprivreda 4.0	3
3. Autonomne robotske platforme.....	4
4. Autonomni sustavi za procjenu prinosa i nadzor	17
5. Autonomni sustavi za prskanje i zaštitu.....	22
6. Autonomni sustavi za plijevljenje korova i košnju.....	24
7. Autonomni sustavi za orezivanje	26
8. Autonomni sustavi za branje voća	29
8.1. Autonomni sustavi za branje jagoda	29
8.2. Autonomni sustavi za branje ostalog voća.....	30
9. Беспilотne letjelice (dronovi).....	36
9.1. Zakonska regulativa upotrebe беспilотnih letjelica u poljoprivredi.....	38
10. Prednosti i nedostaci autonomnih sustava.....	40
11. Zaključak	42
12. Literatura	43
Životopis	49

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Nevena Kovačeva**, naslova

PRIMJENA AUTONOMNIH SUSTAVA U VOĆARSTVU I VINOGRADARSTVU

Automatizacija i robotizacija agrotehničkih zahvata u poljoprivredi omogućava unapređenje proizvodnje povećanjem kvalitete i kvantitete proizvoda uz mogućnost smanjenja troškova. Zahvaljujući napretku tehnike znatno je smanjen udio ljudskog rada u vinogradarstvu i voćarstvu, stoga autonomni sustavi predstavljaju odgovor na globalan nedostatak radne snage u voćarskoj i vinogradarskoj proizvodnji. U radu je – na temelju kako znanstvene literature, tako i internetskih stranica proizvođača komercijalnih strojeva i članaka na specijaliziranim internetskim portalima – dan prikaz najznačajnijih komercijalnih autonomnih sustava koji se koriste u voćarstvu i vinogradarstvu, uz osvrt na nekoliko eksperimentalnih autonomnih sustava te na zakonske propise u vezi s upravljanjem bespilotnim letjelicama i aplikacijom pesticida iz zraka. Na temelju analize trenutnog stanja robotizacije proizvodnih procesa može se zaključiti da će daljnji tehnološki razvoj donijeti još veći stupanj automatizacije te autonomije strojeva u vinogradarskoj i voćarskoj proizvodnji.

Ključne riječi: voćarstvo, vinogradarstvo, autonomni strojevi, bespilotne letjelice.

Summary

Of the master's thesis - student **Neven Kovačev**, entitled

APPLICATION OF AUTONOMOUS SYSTEMS IN FRUIT AND VINE-GROWING

Automation and robotization of agrotechnical operations in agriculture enables the improvement of production by increasing the quality and quantity of products with the possibility of reducing costs. Thanks to the progress of technology, the share of human labour in viticulture and fruit growing has been significantly reduced, therefore autonomous systems represent the answer to the global labor shortage in fruit and viticulture production. The paper gives an overview—on the basis of scientific literature, as well as the websites of manufacturers of commercial autonomous machines and articles on specialized internet portals—of the most important commercial autonomous systems used in fruit growing and viticulture, with an outline of several experimental autonomous systems and of related legal regulations regarding unmanned aerial vehicle control and aerial pesticide application. Based on the analysis of the current state of robotization of production processes, it can be concluded that further technological development will bring an even greater degree of automation and autonomy of machines in viticulture and fruit production.

Keywords: fruit growing, viticulture, autonomous machines, unmanned aerial vehicles

1. Uvod

Premda je izum teških strojeva, poput traktora i kombajna, smanjio potrebu za ljudskim radom u mnogim granama poljoprivrede, neke su grane poljoprivrede, poput vinogradarstva i voćarstva, i dalje vrlo radno intenzivne. Uz to, većina je vinograda smještena na kosim terenima, što povećava količinu posla potrebnog za uspješan rast. Određene radne operacije u vinogradarstvu i voćarstvu, pogotovo ako se obavljaju na kosim terenima, zahtijevaju od radnika veliku fizičku snagu i izdržljivost, te su stoga te radne operacije posebno zanimljive za uvođenje robotskih rješenja (Kapetanović i sur., 2022). Usto, vinogradarstvo i voćarstvo kao radno intenzivne djelatnosti sa sobom donose mogućnost ozljede pri radu – stoga korištenjem mehanizacije, pa tako i automatizacije i robotizacije, smanjimo tu mogućnost (Meyers i sur., 2001).

Automatizacija i robotizacija tehnoloških procesa uvelike su unaprijedili proizvodnju hrane. Autonomni strojevi djeluju samostalno te nisu – niti žicama niti bežično – povezani s kontrolnim sustavom (Ozguven, 2023; *PCMag Encyclopedia*). Kako bi bio potpuno autonoman, robot mora posjedovati sljedeće sposobnosti:

1. sposobnost kontrole pokreta tijekom obavljanja radnog zadatka
2. sposobnost spoznavanja okoline radi izbjegavanja prepreka
3. sposobnost preciznog određivanja svoje pozicije radi provođenja planiranja puta i navigacije (Ozguven, 2023).

Robotskim je sustavima, koje karakteriziraju autonomija, adaptabilnost i usklađenost s ciljevima organske poljoprivrede, moguće nadomjestiti radnike i osloboditi ih naporna rada (Kapetanović i sur., 2022). Na autonomne se strojeve u vinogradarstvu i voćarstvu postavljaju zahtjevi efikasnosti i preciznosti u nestrukturiranom okruženju (dos Santos i sur., 2016). Istraživanja i projekti u vezi s razvojem automatskih samovozećih vozila za upotrebu u poljoprivredi započela su još ranih 1960-ih godina (Tahmasebi i sur., 2022). U poljoprivredi postoje različite verzije robotskih sustava – neke od njih prisutne su na tržištu, dok su druge prisutne tek na istraživačkoj razini (Knežević i sur., 2022).

Budući da je vinova loza visoko izložena mnogim štetnicima i bolestima, konvencionalno vinogradarstvo zahtijeva mnogo zaštitnih kemijskih sredstava. Konvencionalna zaštita zahtijeva mnogo prskanja različitim sredstvima, poput insekticida, fungicida i akaricida. Rezultat je prskanja unošenje znatne količine kemikalija u neposrednu okolinu vinograda. Danas se kemikalije nanose strojevima koji rade na principu puhala te stvaraju oblak kapljica kemijskog sredstva, no pritom mnoge kapljice ne dospiju na lišće. Znatna postotak kemikalija završi na tlu ili u zraku. Te kemikalije mogu imati ozbiljne posljedice po zdravlje poljoprivrednika. Korištenje robota pri prskanju u vinogradu otvara – korištenjem umjetne inteligencije za optimiziranje korištenih kemikalija na njihov potrebni minimum – niz mogućnosti smanjivanja količine kemikalija koje se unose u okoliš (Kapetanović i sur., 2022). Ciljanim prskanjem, omogućenim korištenjem robota, smanjuje se količina kemikalija, smanjuju se troškovi, umanjuje opasnost po čovjekovo zdravlje te povećava održivost (Berenstein i sur., 2010).

Strojni vid temelj je ciljane robotske prskalice. Strojni vid na temelju algoritama prepoznaje razmake između trsova kako bi se smanjilo korištenje pesticida tijekom prskanja listova te prepoznaje točnu lokaciju grozdova kako bi se prskanje usmjerilo prema njima. Robot za prskanje opremljen sposobnostima detekcije lišća i grozdova na temelju algoritama strojnog vida i pomičnom glavom s mlaznicom može prskati selektivno i precizno, štedeći na taj način škropivo i ljudski rad (Berenstein i sur., 2010).

1.1. Cilj rada

Cilj je ovoga rada na temelju dosadašnjih istraživanja dostupnih u domaćoj i stranoj literaturi dati detaljan pregled sadašnjeg stanja razvoja autonomnih sustava koji se primjenjuju u voćarskoj i vinogradarskoj proizvodnji. Ujedno će se dati osvrt na prednosti i nedostatke pojedinih sustava te ukazati na buduću perspektivu razvoja.

2. Poljoprivreda 4.0

Poljoprivredna oruđa koja su vukle životinje glavna su značajka Poljoprivrede 1.0, motor s unutarnjim izgaranjem obilježio je Poljoprivredu 2.0, dok je omogućavanje javne upotrebe GPS signala, tehnologije koja je prvotno bila vojna, otvorilo vrata preciznoj poljoprivredi – glavnom obilježju Poljoprivrede 3.0. Nasuprot tome, sve poljoprivredne aktivnosti Poljoprivrede 4.0 povezane su u oblak (Zambon i sur., 2019). Pojam Poljoprivreda 4.0 (*Agriculture 4.0*) uveden je na stručnom skupu *Club of Bologna 2017. godine* (Schulze Lammers i sur., 2021). Nekoliko godina ranije – 2011. godine – uveden je pojam Industrija 4.0 (*Industry 4.0*), pritom pojam Poljoprivreda 4.0 označava Industriju 4.0 u primarnom gospodarskom sektoru, iz čega se jasno očituje usporednost razvoja i inovacija u industrijskom i poljoprivrednom sektoru – odnosno svojevrsna industrijalizacija poljoprivrede – posljednjih godina (Schulze Lammers i sur., 2021; Zambon i sur., 2019).

Ključno obilježje Poljoprivrede 4.0 prikupljanje je velike količine podataka, koji se potom analiziraju kako bi se donijele učinkovite odluke o daljnjim poljoprivrednim mjerama (Mary i sur., 2022). Napredak robotike omogućio je iznimno visoku razinu automatizacije rada poljoprivrednih strojeva, dok je sve pristupačnija cijena senzora omogućila poljoprivrednicima prikupljanje podataka o usjevima i stoci praktički u stvarnom vremenu. Razvoj informacijske tehnologije omogućio je brzu i kvalitetnu obradu prikupljenih podataka (Weersink i sur., 2018). Kako bi se učinkovito i brzo prikupili i obradili podaci, Poljoprivreda 4.0 koristi tehnologije poput Interneta Stvari (*Internet of Things, IoT*), tehnologije *Big Data*, umjetne inteligencije, oblaka (*cloud*) i robotike (Zambon i sur., 2019; Jellason i sur., 2021; Javaid i sur., 2022). Pritom je cilj da upravo roboti obavljaju sve poljoprivredne zadatke, poput sjetve, navodnjavanja, prihrane, žetve (Javaid i sur., 2022).

Poljoprivreda 4.0 ima i svoju društvenu komponentu. Naime, povećanje svjetskog stanovništva za posljedicu ima povećanu potražnju za hranom, a urbanizacija i postupno globalno povećanje prihoda svjetskog stanovništva rezultira i promjenom prehrambenih navika – povećavanjem potražnje za namirnicama bogatima visokovrijednim bjelančevinama. Prema UN-ovoj Organizaciji za hranu i poljoprivredu (FAO), do 2050. godine na svjetskoj će razini biti potrebno proizvoditi 70 % više hrane. Klimatske promjene također utječu na proizvodnju hrane i predstavljaju izazov za budućnost. Poljoprivreda 4.0 pokušava dati odgovor na navedene izazove proizvodnjom hrane novim i efikasnijim tehnologijama (De Clercq i sur., 2018).

3. Autonomne robotske platforme

Autonomni robotski sustav HEKTOR – razvijen na Fakultetu elektrotehnike i računalstva Sveučilišta u Zagrebu – sastoji se od četiriju robota koji međusobno komuniciraju i surađuju, a primjenjuju se u vinogradarstvu i marikulturi. Pritom se dva robota navedenog sustava primjenjuju u vinogradarstvu – mobilni manipulator za sve terene (slika 3.1) i autonomni zračni robot (slika 3.2). U vinogradarstvu se sustav HEKTOR usredotočuje na nadzor vinograda, prskanje i uklanjanje zaperaka (*Project HEKTOR*; Kapetanović i sur., 2022).



Slika 3.1. Mobilni manipulator za sve terene, robot robotskog sustava HEKTOR

Izvor: *Project HEKTOR* – <https://hektor.fer.hr/en/homepage/> – pristup 27. rujna 2024.

Autonomnim letovima lakog autonomnog zračnog robota stvaraju se različite verzije zemljovida vinograda, ovisno o korištenim senzorima, s ciljem pružanja informacija o stanju

vinograda, ali i stvaranja globalnog tlocrta vinograda, potrebnog za navigaciju mobilnog manipulatora za sve terene. Takva koordinacija lakog autonomnog zračnog robota i mobilnog manipulatora za sve terene doprinosi preciznosti informacija o stanju vinograda. Slike koje je kreirao laki autonomni zračni robot mogu poslužiti i za izradu trodimenzionalnog digitalnog modela visine snimanog terena – laki autonomni zračni robot kreira slike visoke rezolucije, pri čemu svaka slika mora sadržavati otprilike 60 % preklapanja sa susjednim slikama, kao i GNSS koordinate. Takve slike predstavljaju ulazne podatke za proces fotogrametrije, kojim nastaje trodimenzionalni digitalni model terena (Kapetanović i sur., 2022).



Slika 3.2. Autonomni zračni robot, dio robotskog sustava HEKTOR

Izvor: *Project HEKTOR* – <https://hektor.fer.hr/en/homepage/> – pristup 27. rujna 2024.

U sustavu HEKTOR prskanje se obavlja mobilnim manipulatorom za sve terene, opskrbljenim sustavom za prskanje. Mobilni se manipulator mora autonomno kretati kroz

redove vinograda brzinom koju je moguće prilagoditi, koristeći zemljovid i informacije koje je prikupio laki autonomni zračni robot te informacije koje su prikupili njegovi vlastiti senzori. Usto, potrebno je ostvariti najbolji mogući kut prskanja. Mobilni se manipulator kreće u ravnoj liniji uzduž reda vinograda, dok robotska ruka kontrolira relativni položaj mlaznice u odnosu na bazu (Kapetanović i sur., 2022). Cilj je da se mobilni manipulator kreće bez stajanja – ubrzavajući u dijelovima reda gdje nema trsova, a usporavajući u područjima gdje je detektirana velika količina lista (Vatavuk i sur., 2022). Korištenjem dubinske kamere osigurava se svođenje na najmanju mjeru nepotrebnog rasipanja prilikom prskanja, uz istovremeno održavanje zadovoljavajuće pokrivenosti lišća kapljicama kemijskog sredstva (Kapetanović i sur., 2022).

U sustavu HEKTOR uklanjanje zaperaka obavlja mobilni manipulator za sve terene, koji se autonomno kreće kroz vinograd, locira trs, pozicionira se do njega te potom vrši uklanjanje zaperka. Pritom se navigacija mobilnog manipulatora vrši na temelju zemljovida kreiranog putem lakog autonomnog zračnog robota, koji se koristi uz mjerenja koja putem senzora mobilnog manipulatora, kako bi se ostvarila precizna navigacija i točan pristup svakom trsu. Prisutnost žica uz trs znatno otežava uklanjanje zaperaka. Samo uklanjanje može se vršiti na razne načine, od jednostavnih sustava, koji uključuju namjenske gumene mehanizme za vršidbu, do iznimno složenih, koji uključuju dubinske kamere i efektore, sposobnih odrediti oblik debla i položaj žice te kontrolirati kretanje alata za uklanjanje zaperaka. Najsloženiji mogući sustav uključivao bi stvaranje preciznog trodimenzionalnog modela trsa koji bi se koristio za precizno autonomno uklanjanje neželjenih zaperaka, no takvi bi složeni sustavi bili računalno iznimno komplicirani te bi usporili samo uklanjanje do razine na kojoj bi korištenje autonomnog robotskog sustava bilo neisplativo (Kapetanović i sur., 2022).

Robot Bakus francuskog proizvođača Vitibot – člana SAME Deutz Fahr grupe – autonomno je električno vozilo koje radi gotovo cijeli posao u vinogradu. Nakon programiranja robot Bakus, dostupan u dvjema verzijama – S i L – svoje zadatke obavlja autonomno, na baterije koje traju 12 sati. Zbog električnog pogona robot tijekom rada ne proizvodi puno buke. Dostupno je puno nastavaka, koji se lako mijenjaju te obavljaju različite poslove u vinogradima – mehaničko plijevljenje korova, košnju, obradu tla. Usto, internetska stranica proizvođača najavljuje i stavljanje na tržište nastavka za prskanje loze. Robot Bakus opremljen je različitim pozicijskim sensorima te ima osam infracrvenih kamera (Vitibot; Knežević i sur., 2021; Andrić, 2022).

Model S (slika 3.3) robota Bakus prejahivač je namijenjen vinogradima uskih redova, dok je model L (slika 3.4) prejahivač namijenjen vinogradima poluširokih redova. Model S duljine je 3,50 m, širine 1,75 m te visine 2,00 m, mase 2.050 kg. Model L ima istu duljinu kao i model S (3,50 m), širina mu je 1,95 m, visina 2,50 m, a masa 2.400 kg. Oba modela robota koriste pneumatike Michelin Multibib 320/65 R16 s niskim tlakom od 0,9 bara – nizak tlak doprinosi manjem zbijanju tla tijekom rada stroja. Dva real time kinematics GPS uređaja omogućuju robotu preciznost navigacije < 1 cm (Vitibot).



Slika 3.3. Robot Bakus S

Izvor: Vitibot – <https://vitibot.fr/?lang=en> – pristup 16. svibnja 2024.



Slika 3.4. Robot Bakus L

Izvor: Vitibot – <https://vitibot.fr/?lang=en> – pristup 16. svibnja 2024.

Robot Slopehelper (slika 3.5) slovenske tvrtke PeK Automotive d.o.o. autonomna je bazna platforma na električni pogon na koju se mogu priključiti nastavci za široku lepezu radnih operacija u vinogradu, njih ukupno 15 – primjerice malčiranje, orezivanje, košnju trave, gnojidbu, prskanje, branje grožđa itd. Bazna je platforma opremljena gusjenicama koje zbijaju tlo značajno manje u odnosu na traktor s pneumaticima, a imaju izvrstan radni učinak u svim vremenskim uvjetima (slika 3.6). Na vrhu bazne platforme nalazi se teretna platforma,

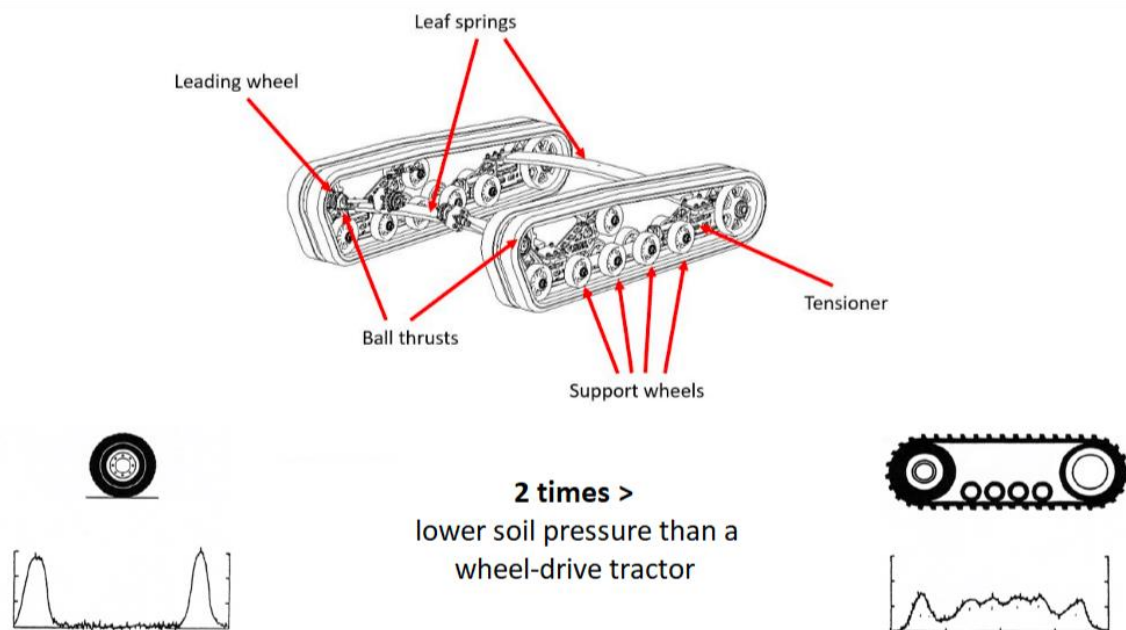
na koju se priključuje različita oprema – oprema se može priključiti s prednje, stražnje ili bočne strane platforme ili na samu platformu. Navedena teretna platforma dizajnirana je tako da na terenima različitih nagiba uvijek ostaje u vodoravnom položaju, što omogućava efikasan rad prskalica, platformi za berbu i slične priključne opreme na kosim terenima.



Slika 3.5. Robot Slopehelper

Izvor: Slopehelper – <https://slopehelper.com/> – pristup 16. svibnja 2024.

Robot Slopehelper opremljen je različitim sensorima koji omogućuju autonomno kretanje stroja, radi bez satelitske navigacije te je neovisan o vremenskim uvjetima, što mu omogućuje kontinuiran rad 24 sata dnevno, sedam dana u tjednu, 365 dana u godini. Programira se za rad tako da se postavi na početak reda u vinogradu te se na sučelju, koje sadrži šest tipki, unese broj redova vinograda, nakon čega se pritisne tipka za start. Aplikacija na pametnom telefonu obavještava vinogradara u stvarnom vremenu o napretku rada (Slopehelper; Jovanović, 2023; Poje, 2023).



Slika 3.6. Gusjenice robota Slopehelper

Izvor: *Slopehelper* – <https://slopehelper.com/> – pristup 27. rujna 2024.

Gusjeničar Agrihelper Grassfighter navedene tvrtke namijenjen je radu u manjim vinogradima. Kao i Slopehelper, radi bez satelitske navigacije te mu nije potrebna internetska veza. Služi za malčiranje grana, rezanje grana (horizontalni i okomiti rezovi) te obradu tla – sadrži tri alata: malčer s bubnjem, roto drljaču te okomiti i vodoravni rezač. Visine je 1760 mm, duljine 3960 mm, širine 1245 mm te mase 1800 kg. Može raditi na nagibima do 38°. Pogonjen je LiFePo baterijom napona 48 V, kapaciteta 28,7 kWh. Ovisno o radnoj operaciji koju robot izvršava, baterija osigurava između 8 i 12 sati autonomije, dok vrijeme punjenja baterije iznosi od 8 do 10 sati. Najmanja je brzina kretanja stroja 0,5 km/h, a najveća 5 km/h (*Agrihelper*; Petrovic, 2024).

Tvrtka Naïo Technologies jedan je od prvih proizvođača komercijalno dostupnih robota (Knežević, 2021). U ponudi ima dva autonomna robota namijenjena vinogradarstvu – model Jo i model Ted, oba u potpunosti na električni pogon. Oba modela opremljena su real time kinematics GPS uređajem.



Slika 3.7. Robot Jo

Izvor: Naïo Technologies – <https://www.naio-technologies.com/en/home/> - pristup 19. kolovoza 2024.

Model Jo (slika 3.7) gusjeničar je mase 850 kg te duljine 68 cm. Pri autonomnom radu dostiže maksimalnu brzinu od 2,2 km/h. Pogonjen je trima baterijama od 200 Ah, koje mu omogućuju autonomnost od više od osam sati rada. Opremljen je odvojivim nosačem alata nosivosti 250 kg te električnim izlazom za priključivanje alata (*Naïo Technologies*). Uz vinogradarstvo, model Jo primjenjiv je i u voćarstvu te u rasadnicima, a obavlja poslove obrade tla i plijevljenja korova (*Petrovic, 2024; Naïo Technologies*).

Robot Trektor (slika 3.8) francuskog proizvođača SITIA hibridni je poljoprivredni stroj koji, uz električni pogon, ima ugrađen i dizelski generator, koji mu omogućava punjenje baterija tijekom rada. Na taj se način smanjuje potrošnja dizelskog goriva od 60 % u odnosu na konvencionalni traktor koji obavlja iste poljoprivredne zadatke. Najveća mu je radna brzina 9 km/h. Namijenjen je obradi tla i plijevljenju korova u različitim poljoprivrednim kulturama hidrauličkim, mehaničkim i električnim alatima; pri radu u vinogradu može raditi kao prejahivač ili međuredno (*Petrovic, 2024; TREKTOR by SITIA*).



Slika 3.8. Robot Trektor

Izvor: TREKTOR by SITIA – <https://www.trektor.fr/en/by-sitia/> – pristup 19. kolovoza 2024.

Robot Traxx francuske tvrtke Exxact Robotics (slika 3.9) autonomni je traktor prejahivač s pogonom na četiri kotača, standardnog klirensa 150 cm / 160 cm, a namijenjen je za rad u uskim vinogradima – obavlja poslove obrade tla i prskanja (Petrovic 2024; *Agtecher*; Traxx by Exxact Robotics, 2024). Predstavljen je 2021. godine (Traxx, 2021). Mase je 1800 kg bez alata. Pogonjen je dizelskim motorom, sa zapremninom spremnika za gorivo 110 l, što mu omogućava od 18 do 20 sati autonomije. Najveća mu je brzina 6 km/h. Može raditi na nagibima do 35 % / 38 % te uz maksimalni bočni nagib do 15 % / 20 % (*Agtecher*).



Slika 3.9. Robot prejahivač Traxx

Izvor: Traxx – <https://www.vitisphere.com/news-95456-traxx-the-compact-high-clearance-robot-makes-its-vineyard-debut.html> – pristup 19. kolovoza 2024.

Tvrtnica Exxact Robotics predstavila je 2023. godine u Toulouseu robot Traxx Concept H2 (slika 3.10) – prvi autonomni vinogradarski traktor s pogonom na vodik (*Agtecher; First vineyard tractor, 2023*). Njegova dva spremnika sadržavaju ukupno do 9 kg vodika. U gorivoj se ćeliji stvara električna energija, koja se potom skladišti u baterijama kapaciteta 35 kW. Na taj je način omogućena autonomija robota do 12 sati. Prednost je ovog robota iznimno tih rad, a nedostatak veća masa robota u odnosu na dizelske traktore (*First vineyard tractor, 2023*).



Slika 3.10. Robot Traxx Concept H2 s pogonom na vodik

Izvor: Traxx – <https://www.vitisphere.com/news-95456-traxx-the-compact-high-clearance-robot-makes-its-vineyard-debut.html> – pristup 19. kolovoza 2024.

Autonomni gusjeničar Black Shire, tip R 3075, talijanske tvrtke Dragone (slika 3.11) razvijen je ponajprije za rad u voćnjacima i vinogradima, no njime se može raditi u na poljima. Opremljen je dizelskim motorom od 70 konjskih snaga, koji pokreće generator koji napaja gusjenice i radne strojeve. Radni strojevi ne pokreću se preko priključnog vratila, već kablovima. Kada stroj prvi put dođe na parcelu, potrebno ga je ručno „podučiti“ putem daljinskog upravljača, nakon čega stroj može autonomno obavljati svoje zadatke (Van Hattum, 2021).



Slika 3.11. Robot Black Shire, tip R 3075

Izvor: *Future Farming* – <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/dragone-black-shire-italian-robotic-tractor-for-heavy-work/> – pristup 19. kolovoza 2024.

Robot Modular-E portugalskog instituta INESC TEC električni je modularni robot prilagođen nagnutim terenima na koji se mogu priključiti alati za obavljanje različitih radova kod drvenastih kultura, primjerice za praćenje tla, uklanjanje korova, prskanje i – zahvaljujući tehnologiji promjenjivog doziranja i senzorima NPK – za gnojidbu. Platforma se sastoji od sustava s dvama kotačima s diferencijalnom vučom s prikolicom na dvama kotačima – s vučom ili bez nje. Može raditi s GNSS signalima ili bez njih (Petrovic, 2024; *World FIRA – Modular E*) Opremljen je kamerama, LIDAR-om i GPS antenama (*World FIRA – Modular E*).

Projekt SCORPION navedenog instituta imao je za cilj kreirati autonoman robot za precizno prskanje u obliku robotske platforme, namijenjen prvenstveno vinogradima na kosim terenima, no s mogućnošću korištenja i u ostalim trajnim nasadima – voćnjacima i maslinicima. Na temelju navedenog projekta nastao je robot Weta (slika 3.12) (*INESC TEC*). Weta je autonomna platforma za sve terene namijenjena za korištenje u poljoprivredi i šumarstvu, na koju se mogu priključiti alati za nadzor, orezivanje, berbu usjeva itd. (*IF DESIGN – Weta – Agro Robot*).



Slika 3.12. Robot Weta

Izvor: *iF DESIGN* – Weta – Agro Robot –

<https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/weta-agro-robot/344093> – pristup 21. kolovoza 2024.

Autonomni gusjeničar YV01 (slika 3.13) francuske tvrtke Yanmar Vineyard Solutions – podružnice japanske tvrtke Yanmar – koristi se u vinogradarstvu za prskanje loze i obradu zemlje. Namijenjen je vinogradima uskih redova i nisko formiranih loza. Autonomno kretanje omogućuje mu RTK GPS (Petrovic, 2024; Yanmar; Schmitt, 2024). Pogonjen je 4-cilindričnim Hondinim benzinskim motorom. Zapremnina spremnika benzina iznosi 19 l, dok zapremnina spremnika škropiva iznosi 200 l. Mase je 1 t, a postiže brzinu do 4 km/h. Radi na nagibima do 45 % te uz maksimalni bočni nagib do 19 % (Yanmar).



Slika 3.13. Robot YV01

Izvor: Yanmar – <https://www.yanmar.com> – pristup 19. kolovoza 2024.

Vinogradarski robot Rovitis (slika 3.14) talijanske tvrtke Azienda Agricola Pantano prošao je u svojem razvoju više verzija, od kojih je najrecentnija Rovitis 4.0. Obavlja sve radne zadatke koje tradicionalno obavlja vinogradar na traktoru, poput košnje, prskanja i obrade tla (*Azienda Agricola Pantano*; Baiju, 2024).



Slika 3.14. Robot Rovitis

Izvor: Azienda Agricola Pantano – <https://www.pantano.io/> – pristup 24. kolovoza 2024.

Vinogradarski robot MYCE Vigne Arbo francuske tvrtke Wall-Ye obavlja poslove orezivanja, plijevljenja, košnje, okopavanja. Pokretan je solarnom energijom – solarni paneli pune baterije i omogućuju robotu 24 sata autonomije. Baterije se mogu zamijeniti u dvije minute. Zahvaljujući svojoj masi od 100 kg, ne zbija tlo. Može savladati nagibe do 40 %. Tijekom rezidbe kamera precizno mjeri veličinu grana, analizira i zdravstveno stanje svakog trsa, a prije berbe precizno izračunava urod i zrelost grozdova (*Wall-Ye*).

4. Autonomni sustavi za procjenu prinosa i nadzor

Budući da procjena prinosa vinograda može biti od koristi u vinogradarstvu, postoji velika potreba za brzim i pouzdanim metodama procjene prinosa. U vinogradarstvu je prinos vrlo varijabilno svojstvo, s različitim uzrocima. Kvantifikacija te varijabilnosti ključna je za cijeli proizvodni lanac – ona omogućuje planiranje potreba za prorjeđivanjem kako bi se izbjegla pretjerana proizvodnja i posljedična slaba kvaliteta vina, planiranje i organizaciju berbe, planiranje kapaciteta podrma, planiranje kupnje ili prodaje grožđa, kreiranje marketinške strategije i slično (Lopes i sur., 2016).

Postoje različite metode određivanja procjene prinosa vinograda, a najčešće su one temeljene na procjeni komponenata prinosa. One omogućuju procjenu prinosa u različitim fenološkim stadijima, od pupanja do berbe, no iziskuju puno vremena te njihova procjena ponekad nije vrlo precizna. Alati za procjenu na temelju te metode uključuju različite tipove senzora instalirane na različita vozila – bilo autonomna, bilo neautonomna. Primjerice, projekt VINBOT razvija autonomni mobilni robot za sve terene sa setom senzora sposobnih kreirati i analizirati slike vinograda i 3D podatke putem aplikacija računalnih oblaka kako bi se dobili zemljovidi prinosa na kojima se očituje prostorna varijabilnost vinograda. Sve veća važnost prognoze prinosa dovela je do automatiziranih rješenja za prikupljanje podataka i omogućila prve primjene robotike u vinogradarstvu (Lopes i sur., 2016; *Robotnik*).



Slika 4.1. Robot VINBOT

Izvor: *Robotnik* – <https://robotnik.eu/projects/vinbot-en/> – pristup 16. svibnja 2024.

Robot VINBOT (slika 4.1) sastoji se od komercijalne mobilne robotske platforme nosivosti do 65 kg te kamera u boji i u bliskom infracrvenom spektru za kreiranje fotografija loze visoke preciznosti, 3D daljinomjera za navigaciju terenom i određivanje oblika krošnji, malog kompjutera s osnovnim računalnim funkcijama povezanog s komunikacijskim modulom itd. (Lopes i sur., 2016).

Projekt VineRobot trajao je od 2014. do 2017. godine te bio financiran od strane Europske unije, a vodio ga je konzorcij nekoliko sveučilišta – uključujući Politehničko sveučilište u Valenciji (Universitat Politècnica de Valencia) – i malih i srednjih tvrtki (Rovira-Más i sur., 2015; Saiz-Rubio i sur., 2017). U sklopu projekta nastala su dva prototipa vinogradarskog robota VineRobot. Roboti su namijenjeni prikupljanju podataka, primjerice podataka o razvoju bolesti u vinogradu – konkretnije, namijenjeni su autonomnom i neinvazivnom izračivanju karata vinograda koje prikazuju dva temeljna parametra – omjer rasta loze procijenjen putem sadržaja dušika u lišću te razinu antocijanina u crvenom grožđu koje dozrijeva, pri čemu je razina antocijanina indikator zrelosti grožđa (Rovira-Más i sur., 2015).

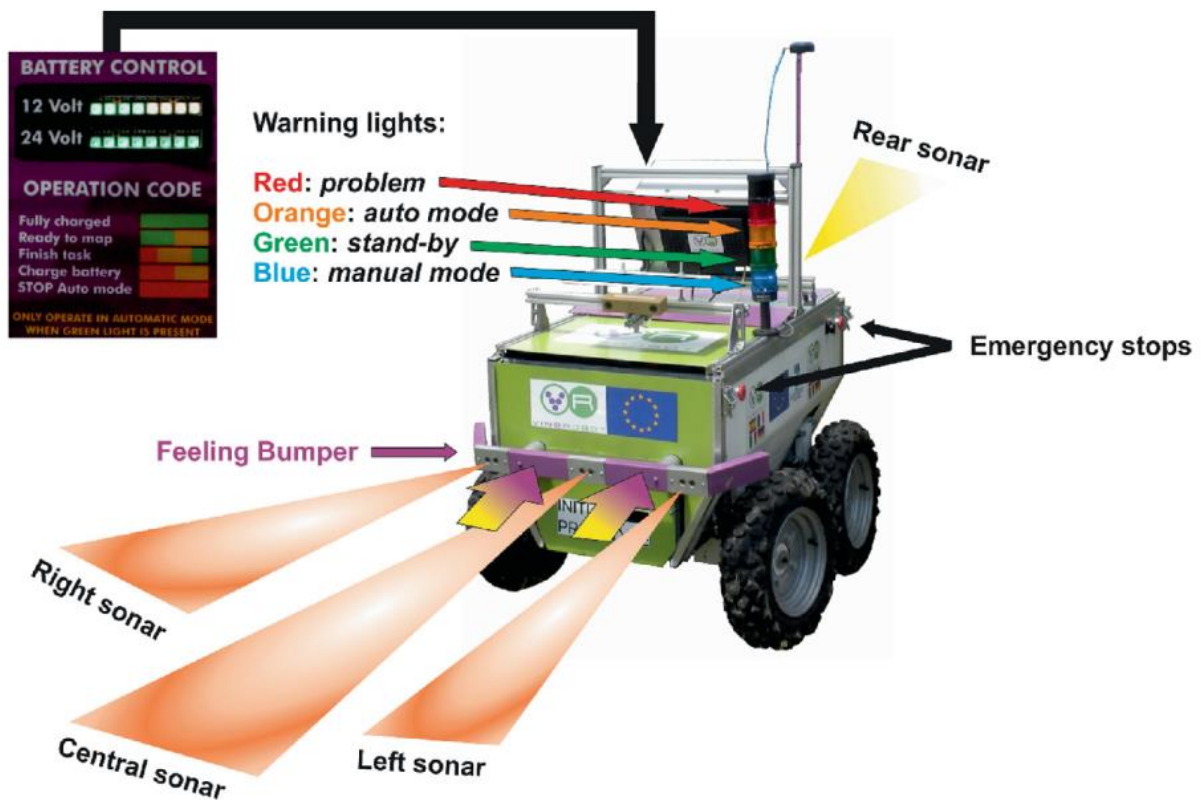
Prvi prototip (slika 4.2) ukupne je mase 90 kg te sadrži pet elektromotora – jedan za upravljanje, a četiri za pokretanje kotača – svaki od četiriju potonjih motora za pokretanje jednog od četiriju kotača. Navedene elektromotore, kao i jarbol sa svjetlosnim upozorenjima, napaja baterija napona 24 V. Druga baterija, napona 12 V, neovisna o prvoj, napaja „inteligentni“ sustav robota – kompjutor, stereo kameru monitor, kontroler i GPS (Rovira-Más i sur., 2015).



Slika 4.2. Prvi prototip robota VineRobot

Izvor: VineScout – <http://vinescout.eu/web/> – pristup 19. kolovoza 2024.

Sigurnosni sustav prvog prototipa sastoji se od četiriju tipki za hitne slučajeve te osjetilnog branika, postavljenog sprijeda. Kada se god aktivira bilo branik bilo neka od četiriju tipki za hitne slučajeve, zasvijetli crveno svjetlo na vrhu jarbola, emitira se zvučni signal, a protok struje u 24-voltnom krugu zaustavi se, čime se robot zaustavlja, no istovremeno senzori i procesori, koji su dio 12-voltnog kruga, nastavljaju raditi (slika 4.3) (Rovira-Más i sur., 2015; Rovira-Más i sur., 2021).



Slika 4.3. Sigurnosni sustav prvog prototipa robota VineRobot

Izvor: Rovira-Más i Saiz-Rubio (2021)

Nedostatke i manjkavosti prvog prototipa pokušalo se ispraviti kreiranjem drugog prototipa (slika 4.4). Tako je prvi prototip širok 0,85 m, dugačak 1,2 m i visok 1,3 m, dok je drugi robot širi (1,04 m), dulji (1,4 m) i niži (1,2 m). Promjer kotača povećan je s 0,47 m na 0,50 m, a povećan je i međuosovinski razmak – s 0,55 m na 0,95 m. Promijenjena je i geometrija ovjesa – opruge u ovjesu drugog prototipa imaju manju konstantu elastičnosti nego opruge u prvom prototipu. Dvije solarne ploče snage 128 W po ploči pružaju drugom prototipu dodatno napajanje (Saiz-Rubio i sur., 2017).



Slika 4.4. Drugi prototip robota VineRobot

Izvor: VineScout – <http://vinescout.eu/web/> – pristup 19. kolovoza 2024.

Robot VineScout (slika 4.5) razvijen je u razdoblju od 2016. do 2019. godine od strane konzorcija četiriju pravnih osoba iz Španjolske, Francuske i Portugala – dvaju sveučilišta i dviju tvrtki (*VineScout*). Projekt unutar kojeg je razvijen robot VineScout zapravo je nastavak projekta VineRobot – cilj projekta VineScout bio je razviti do 2020. godine komercijalni autonomni robot namijenjen vinogradarstvu (Saiz-Rubio i sur., 2017). Kao i prototipovi VineRobot, i robot VineScout namijenjen je nadzoru vinograda i prikupljanju podataka poput dostupnosti vode, temperature lišća ili varijacija u razvijenosti trsova – primjerice, podaci koje prikupi VineScout koriste se u identifikaciji homogenih zona dozrelosti grožđa (Kravitz, 2023; *Symington Family Estates*; Marr). Robot je autonoman te pogonjen električnom energijom. Korištenje GPS-a i senzora omogućuje mu navigaciju kroz vinograd bez ljudske pomoći (*Symington Family Estates*).



Slika 4.5. Robot VineScout

Izvor: *VineScout* – <http://vinescout.eu/web/> – pristup 16. svibnja 2024.

Autonomni modularni robot RoMoVi spomenutog portugalskog instituta INESC TEC također je namijenjen nadzoru, i to brdovitim terena, primjerice vinograda (*INESC TEC*).

5. Autonomni sustavi za prskanje i zaštitu

Slovenska tvrtka PeK Automotive d.o.o. najavila je za 2024. godinu izlazak autonomnog gusjeničara Agrihelper Sprayer, namijenjenog prskanju. Radi se o robotu visine 1750 mm, duljine 3840 mm, širine 1245 mm te mase 1400 kg. Kao i model Grassfighter, model Sprayer bit će pogonjen LiFePo baterijom napona 48 V, kapaciteta 28,7 kWh, koja će mu omogućavati između 8 i 12 sati autonomije, uz vrijeme punjenja baterije od 8 do 10 sati. Kao i model Grassfighter, moći će raditi na nagibima do 38°. Najmanja brzina kretanja modela Sprayer iznosit će 0,5 km/h, a najveća 4 km/h (*Agrihelper*).

Robot ICARO X4 (slika 5.1) talijanske tvrtke Maschio Gaspardo – Free Green Nature namijenjen je za aktivnu zaštitu vinograda od napada gljivica i mikroorganizama. Najveća površina koju jedan robot može pokriti iznosi 10 ha, a ovisi o više čimbenika, primjerice nagibu terena i vrsti tla (*Free Green Nature*). Ploče robota – smještene bočno, između osovina – emitiraju UV-C zrake određene valne duljine prolazeći nekoliko centimetara od listova biljke, čime se u biljci aktivira biološki mehanizam koji potiče imunološku obranu biljke. UV-C zrake usto uništavaju DNK određenih patogena, onemogućujući im tako da se razvijaju na biljci (Petrovic, 2024).



Slika 5.1. Robot ICARO X4

Izvor: *Free Green Nature* – <https://www.freegreen-nature.it/en/i-nostri-vini/> – pristup 21. kolovoza 2024.

Ploče se mogu širiti i sklapati poput krila. Robot je pogonjen malim dvocilindričnim dizelskim motorom s generatorom koji napaja baterije. Zahvaljujući spremniku dizela zapremnine 70 litara, može neprestano raditi 24 sata dnevno tri uzastopna dana. Navigaciju omogućuju RTK-GNSS i 3D senzori (Hekkert, 2024).

6. Autonomni sustavi za plijevljenje korova i košnju

Model Ted (slika 6.1) spomenute francuske tvrtke Naïo Technologies prejahivač je duljine 450 cm, širine prilagodljive u rasponu od 142 cm do 185 cm, prilagodljive visine 200 cm +/- 30 cm te mase 2,1 t. Brzine je do 6 km/h, autonomije do osam sati, a dnevno može obraditi do 5 hektara. Pogodan je za rad na kosinama do 30 %. Namijenjen je mehaničkom plijevljenju, čime se smanjuje upotreba herbicida (*Naïo Technologies*).



Slika 6.1. Robot Ted

Izvor: *Naïo Technologies* – <https://www.naio-technologies.com/en/home/> – pristup 19. kolovoza 2024.

Robot AIGRO UP (slika 6.2) nizozemskog proizvođača Aigro BV autonomni je nosač alata namijenjen plijevljenju korova i košnji. Širine je 55 cm, duljine 135 – 155 cm, visine 61 cm te mase 75 kg. Pogonjen je dvjema zamjenjivim litij-ionskim baterijama, koje mu – ovisno o uvjetima – omogućuju od 8 do 10 sati rada. Za promjenu baterija dovoljna je jedna minuta, a vrijeme punjenja baterije iznosi 4 sata. Autonomno kretanje omogućuju mu Dual RTK GPS i senzori blizine (Petrovic, 2024; *AIGRO: Smart Robotics for Sustainable Framing*). Najveća mu je brzina 3,6 km/h.



Slika 6.2. Robot AIGRO UP

Izvor: AIGRO: *Smart Robotics for Sustainable Farming* – https://www.aigro.nl/index_en.html – pristup 19. kolovoza 2024.

Robot Vitirover Outdoor (slika 6.3) francuske tvrtke Vitirover autonomna je kosilica namijenjena košnji u voćnjacima, vinogradima, fotonaponskim postrojenjima, te uz pruge i autoceste. Pokreće ju solarna energija – solarne ploče. Duljine je 75 cm, širine 40 cm, visine 30 cm te mase 27 kg. Ima pogon na sva četiri kotača (ukupno četiri elektromotora na istosmjernu struju – jedan elektromotor po kotaču), a najveća mu je brzina 900 m/h. Ovisno o vrsti tla, može raditi na nagibu i do 15 do 20 %. Opremljen je dvjema prednjim RGB kamerama. Dva rotirajuća noža kose travu na visinu od 5 do 10 cm uz širinu zahvata 30 cm. Korištenjem Robota Vitirover Outdoor upotreba pesticida poput glifosata postaje nepotrebna; usto, zahvaljujući maloj masi robota ne dolazi do značajnijeg sabijanja tla (Vitirover; Vassaux).



Slika 6.3. Robot Vitirover Outdoor

Izvor: Vitirover – <https://www.vitirover.fr/home-eng> – pristup 24. kolovoza 2024.

7. Autonomni sustavi za orezivanje

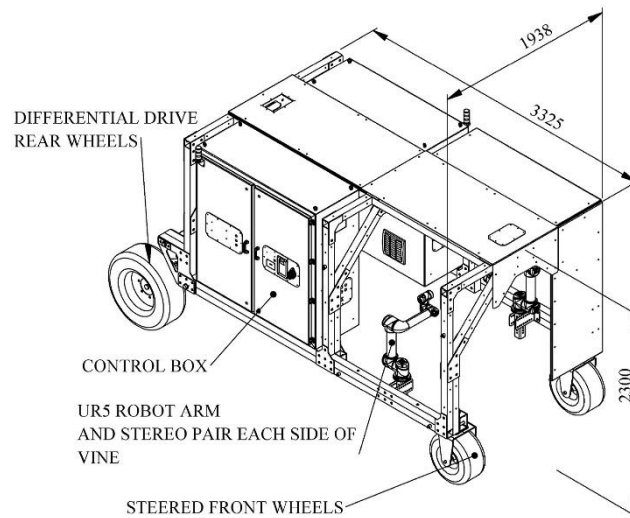
Robot Robotrim španjolske tvrtke ATRIA prejahivač je koji obavlja poslove autonomnog orezivanja vinove loze. Kreće se duž reda loze, a njegov sustav vida, koji koristi algoritme obrade slike, određuje mjesta na kojima je potrebno orezati lozu. Škare koje orežu lozu nalaze se na kraju robotske ruke, koja je dovoljno dugačka da može dosegnuti sve pozicije potrebne za orezivanje. Robotski sustav vida trodimenzionalno locira mjesta na kojima je potrebno orezati lozu te potom šalje koordinate robotskoj ruci (ROBOTRIM, 2021).



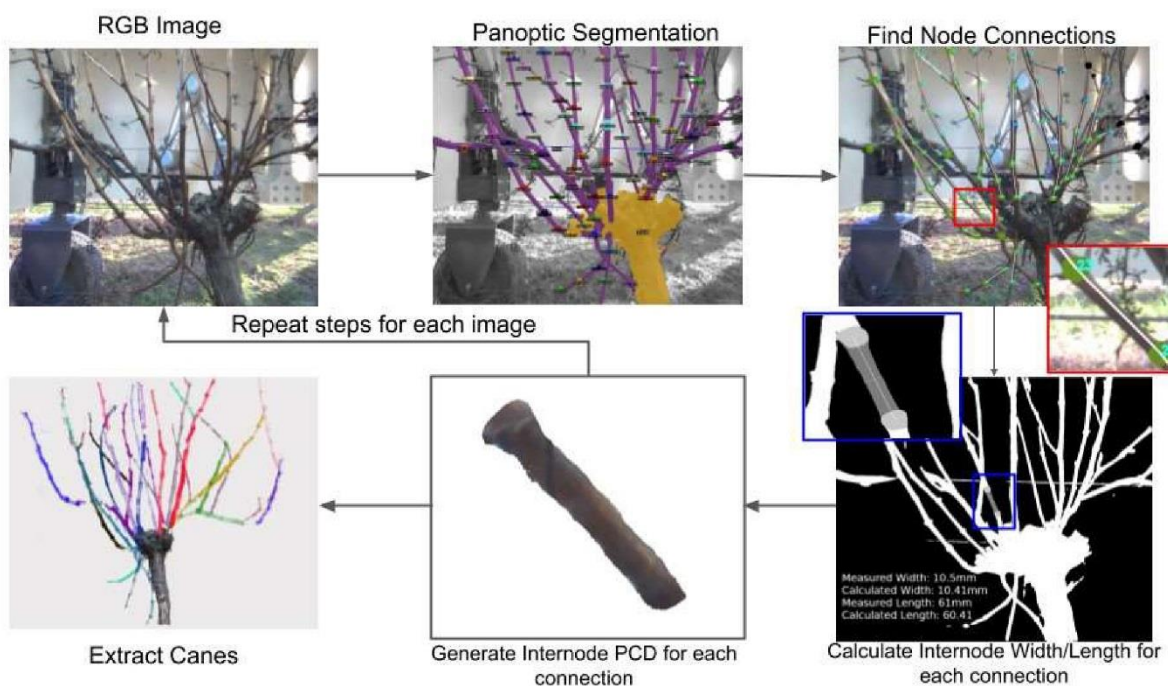
Slika 7.1. Eksperimentalna robotska platforma Archie Jnr
Izvor: Williams i sur. (2023)

Eksperimentalnu robotsku platformu Archie Jnr (slika 7.1), namijenjenu orezivanju vinove loze, razvili su znanstvenici sa Sveučilišta u Aucklandu (*University of Auckland*).

Platforma, koja prejahuje vinovu lozu, opremljena je stereo kamerama s objiju strana platforme (slika 7.2), a u budućnosti se planira i dodavanje alata za orezivanje. Platforma je dugačka 3325 mm, široka 1938 mm, a visoka 2300 mm. Kamere snimaju lozu, na temelju čega se izrađuje 3D model loze, koji je polazište za strojno donošenje odluke o tome koje će se grane orezati (slika 7.3). Prejahivač kao oblik robota odabran je kako bi se pri snimanju loze uklonili nepovoljni svjetlosni uvjeti i utjecaj vjetra.



Slika 7.2. Strukturni prikaz eksperimentalne robotske platforme Archie Jr
Izvor: Williams i sur. (2023)



Slika 7.3. Prikaz postupka generiranja trodimenzionalnog modela kod eksperimentalne robotske platforme Archie Jr
Izvor: Williams i sur. (2023)

Naime, sunce koje je nisko na nebu može sjati točno u kameru i time, uzrokujući blještavilo, znatno smanjivati njezin učinak. Usto, prejahivač može – uz unutrašnje osvjetljenje – raditi i po noći. Uklanjanje utjecaja vjetra bilo je potrebno zbog toga što vjetar trese lozu i time onemogućuje uspješno kreiranje 3D modela. Kamere se nalaze s obje strane platforme, budući da postoji mogućnost da samo jedna kamera – postavljena s jedne strane loze – neće uspjeti snimiti sve grane na trsu, što je još jedan razlog zašto je odabran robot prejahivač (Williams i sur., 2023).

8. Autonomni sustavi za branje voća

8.1. Autonomni sustavi za branje jagoda

Robot Berry njemačke tvrtke Organifarms, osnovane 2021. godine, robot je za autonomno branje jagoda u staklenicima (slika 8.1). Jagode ubire ne dirajući same plodove, već režući njihovu peteljku (*Organifarms*). U staklenicima plodovi jagoda vise te najčešće nisu prekriveni lišćem, što olakšava njihovu detekciju i ubiranje (Tituaña i sur., 2024). Ubrane jagode robot smješta u košarice, u kojima se jagode i prodaju – na taj je način jagoda spremna za prodaju odmah po ubiranju. Nosivost je robota 20 kg ubranih plodova – po doseganju 20 kg tereta robot je potrebno isprazniti. Zahvaljujući sustavu prepoznavanja slike moguće je precizno odrediti kvalitetu i stupanj zrelosti; željeni stupanj zrelosti i masa napunjene košarice mogu se podesiti. Kada se dosegne željena masa napunjene košarice, robot odmah prelazi na drugu košaricu. Robot radi 24 sata na dan, a pokreću ga baterije (*Organifarms*).



Slika 8.1. Robot Berry

Izvor: *Organifarms* – <https://www.organifarms.de/product> – pristup 16. rujna 2024.

Autonomni robot američke tvrtke Harvest CROO (slika 8.2) namijenjen je branju jagoda. Opremljen je sustavom LiDAR, koji mu pruža trodimenzionalni i 360-stupanjski

pregled polja, čime se omogućuje precizna navigacija kroz redove jagoda te izbjegavanje prepreka. Svaki stroj opremljen je sa 16 nezavisnih robota koji ubiru jagode dok se stroj autonomno kreće kroz nasad. Robotski sustav vida, koji radi na principu umjetne inteligencije i strojnog učenja, skenira svaki plod te određuje je li zreo, zdrav i spreman za ubiranje, nakon čega stroj ubire jagodu, a da ju pritom ne oštećuje (*Harvest CROO Robotics*). Premda robot može raditi 24 sata dnevno, proizvođač navodi da je veću količinu jagoda potrebno ubrati noću, kada su jagode hladnije i time manje podložne pucanju pri ubiranju. Na taj se način smanjuje i utrošak energije potrebne za hlađenje ubranih plodova (Pullano, 2019).

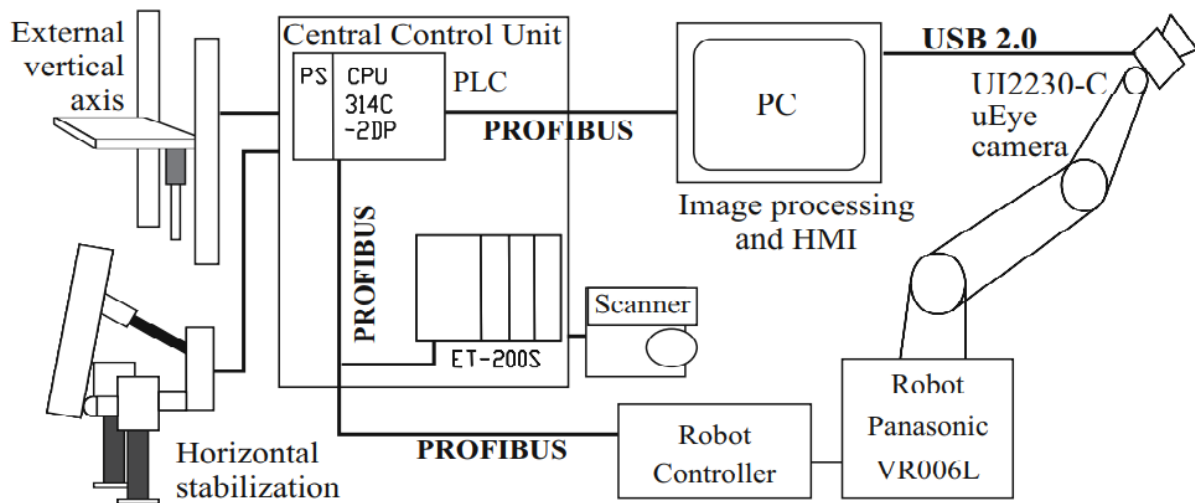


Slika 8.2. Berač jagoda tvrtke Harvest CROO

Izvor: *Fruit Growers News* – <https://fruitgrowersnews.com/article/harvest-croo-robotics-strawberry-harvester-nears-fruiton/> – pristup 17. rujna 2024.

8.2. Autonomni sustavi za branje ostalog voća

Belgijski znanstvenici s Fakulteta industrijskih znanosti i tehnologije Katoličkog sveučilišta u Limburgu razvili su 2008. godine prototip autonomnog robotskog berača jabuka (Baeten i sur, 2008; Jia i sur., 2020), čiju funkcionalnu shemu prikazuje slika 8.3. Stroj nije imao autonomnu navigaciju, iako su ranija istraživanja u tom smjeru na navedenom sveučilištu postojala, već je izgrađen na platformi postavljenoj na stražnju stranu traktora. Kao robotska ruka odabran je industrijski robot Panasonic VR006L. Berač se, između ostaloga, sastojao od generatora za napajanje, kojeg je pokretao traktor, nadstrešnice i zastora, koji su služili ujednačavanju svjetlosnih uvjeta, te hvataljke za voće, dizajnirane posebno za navedeni projekt. U središtu hvataljke nalazila se kamera. Hvataljka u obliku lijevka svojom je fleksibilnošću osiguravala čvrst zahvat bez oštećenja ploda, a radila je na principu usisavača (Baeten i sur, 2008).

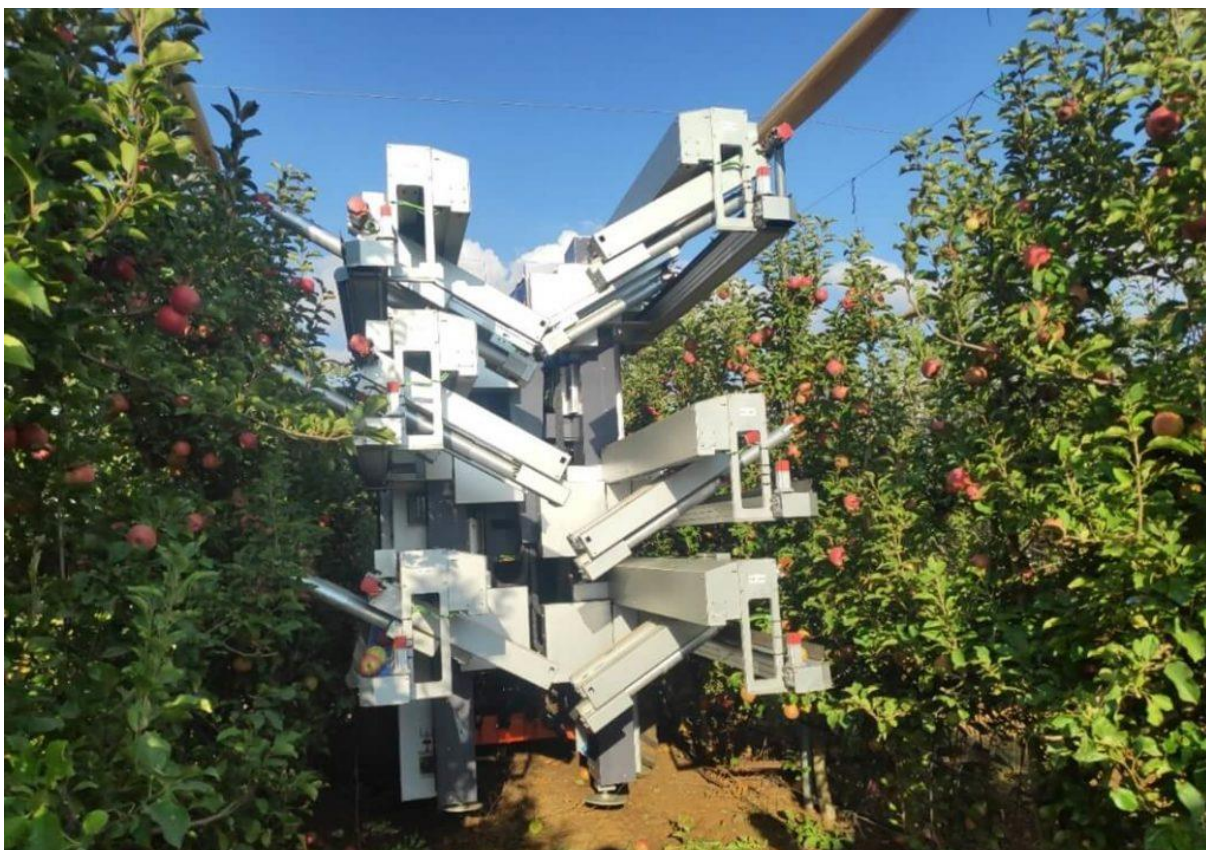


Slika 8.3. Funkcionalna shema belgijskog prototipa autonomnog berača jabuka

Izvor: Baeten i sur. (2008)

Poljski pokusi pokazali su da berač zahvaljujući nadstrešnici i zastoru može raditi i u lošim vremenskim uvjetima te da sustav stabilizacije stroja nema poteškoća pri mogućem brzom kretanju berača. Robot je detektirao i ubrao oko 80 % jabuka (promjera od 6 cm do 11 cm), a jabuke koje nisu ubrane robotski sustav vida nije uspio otkriti ili su bile nedohvatljive robotskoj ruci. Vrijeme ubiranja jedne jabuke bilo je između 8 i 10 sekundi (Baeten i sur, 2008).

Autonomni berač voća FFRobot izraelske tvrtke Fresh Fruit Robotics (slika 8.4) robotska je platforma koja oponaša ljudsko branje voća rukom kako bi se postiglo efikasno i isplativo ubiranje voća bez oštećenja. Internetska stranica tvrtke navodi da FFRobot bere plodove deset puta brže od prosječnog berača – čovjeka (*FFRobotics*). Usto, robot prikuplja podatke o ukupnom broju plodova te broju ubranih plodova po stablu, redu, jedinici površine i voćnjaku (Kahani i Kober, 2022; *FFRobotics*).



Slika 8.4. Autonomni berač voća FFRobot

Izvor: Agromillora – <https://www.agromillora.com/olint/en/a-dream-come-true-the-fresh-fruit-picking-robot/>
– pristup 17. rujna 2024.

Sastoji se od ukupno 12 nezavisnih robotskih ruku (slika 8.5) – po šest na svakoj strani. Na kraju svake robotske ruke nalazi se hvataljka, koja dohvaća plod te ga rotira ili mu reže peteljku – ovisno o vrsti voća. Hvataljku navodi sustav kamera pomoću sofisticirane obrade slike i umjetne inteligencije. Robot snima fotografije stabala s obiju svojih bočnih strana, analizira ih, identificira lokacije plodova na stablima, procjenjuje moguće prepreke koje bi mogle spriječiti uspješno branje ploda, određuje veličinu i boju ploda na temelju kriterija prethodno unesenih u robotski računalni sustav, odabire – na temelju tih kriterija – plodove koje treba ubrati te pokreće robotsku ruku koja će ubrati plod. Ubrani se plod nježno spušta na pokretnu traku, koja odvodi plod do kante u dnu platforme. Platforma nosi tri kante, a kad se jedna od njih napuni, platforma ju odlaže na tlo iza sebe te uzima novu, praznu kantu (Kahani i Kober, 2022).

Robot može ubrati 9000 plodova po satu, što – primjerice – odgovara 1,4 – 1,5 tona jabuka po satu. Može raditi 20 sati dnevno – radeći po noći pod umjetnom rasvjetom koja se može postaviti na njega – što znači da dnevno može ubrati oko 30 tona voća. Kod voćnjaka konfiguriranih u obliku *voćnog zida* robot obično dosegne oko 90 % plodova na pojedinom stablu, uz relativno nizak postotak (5 %) štete na plodovima (Kahani i Kober, 2022).



Slika 8.5. Hvataljka i robotska ruka autonomnog berača voća FFRobot

Izvor: Agromillora – <https://www.agromillora.com/olint/en/a-dream-come-true-the-fresh-fruit-picking-robot/>
– pristup 17. rujna 2024.

Kalifornijska tvrtka Advanced Farm predstavila je svoj robotski berač jabuka (slika 8.6) u jesen 2022. godine. Robot ima šest robotskih ruku – na kraju svake ruke nalazi se usisna šalica, kako se jabuke tijekom branja ne bi oštećivale. Stereo kamere lociraju pojedinu jabuku i procjenjuju je li dovoljno zrela za branje. Nakon što su pobrane sve jabuke u doseg robotskih ruku, robot se pomiče naprijed, a postupak se branja ponavlja. Robot odlaže jabuke na transportni sustav, koji dovodi jabuke do radnika koji ručno uklanja peteljke kako se jabuke pri pakiranju i transportu ne bi oštetile – roboti još uvijek ne mogu uklanjati peteljke (Thomas, 2023; *Advanced Farm*).

Izraelska tvrtka Tevel Aerobotics Technologies, osnovana 2016. godine, predstavila je 2020. godine autonomni dron koji pomoću računalnog vida i umjetne inteligencije identificira i robotskom rukom ubire zrele plodove voća (slike 8.7 i 8.8). Do šest dronova povezano je na središnju jedinicu, koja se nalazi na tlu, te tako može raditi 24 sata dnevno. Može ubirati voće poput jabuka, krušaka i avokada. Više autonomnih dronova može raditi istovremeno, ne ometajući se pritom međusobno – zahvaljujući autonomnoj digitalnoj središnjoj jedinici, koja se kreće kroz voćnjak te koja služi kao naponska jedinica, računalna podrška dronovima te platforma na kojoj se nalaze spremnici u koje se odlažu ubrani plodovi (Prusina, 2020; Malewar, 2021; Lemić i sur., 2021; Oitzman).



Slika 8.6. Robotski berač jabuka tvrtke Advanced Farm

Izvor: *Oregon Public Broadcasting* – <https://www.opb.org/article/2023/04/06/northwest-oregon-apple-washington-farm-harvest-robots-robotics-orchards-agriculture-technology/> – pristup 17. rujna 2024.

Ubirući plodove, dronovi istovremeno prikupljaju podatke, primjerice ukupnu količinu ubranog voća, masu i veličinu pojedinog ploda, boju, eventualnu pojavu bolesti te vrijeme i lokaciju ubiranja (*Tevel*). Navedeni robot osvojio je 2020. godine nagradu međunarodnog stručnog žirija za najbolji terenski robot *Best Field Robot Concept 2020* na međunarodnom forumu poljoprivrednih robota FIRA (Prusina, 2020).



Slika 8.7. Autonomni dron Tevel Aerobotics Technologies

Izvor: *Inceptive Mind* – <https://www.inceptivemind.com/flying-autonomous-robot-far-spot-pick-ripe-fruit/17770/> – pristup 17. rujna 2024.



Slika 8.8. Autonomni dronovi Tevel Aerobotics Technologies s pripadajućom autonomnom platformom

Izvor: *Agroklub* – <https://www.agroklub.com/vocarstvo/dron-za-berbu-voca-je-najbolji-terenski-robot/65102/>
– pristup 18. rujna 2024.

9. Беспилотне летјелце (дронови)

U preciznoj se poljoprivredi sve češće upotrebljavaju беспилотне летјелце (дронови), zahvaljujući tome što je na njih moguće postaviti različite uređaje, primjerice razne vrste kamera, GPS uređaje itd. (Lemić i sur., 2021). Ti se uređaji mogu podijeliti na senzore i aktuatore. U oblasti precizne poljoprivrede kao dva se najčešća tipa uređaja izdvajaju senzori i sustav za prskanje (Brunetti, 2022). Kamere i senzori postavljeni na беспилотне летјелце daju veću prostornu razlučivost od satelitskih snimaka, a prednost je беспилотnih летјелца i u tome što, za razliku od satelita, mogu raditi i za oblačnih dana (Lemić i sur., 2021; Brunetti, 2022). Prema načinu upravljanja, odnosno autonomiji, razlikujemo daljinski upravljane летјелце, poluautonomne летјелце i autonomne летјелце (del Cerro i sur., 2021; Brunetti, 2022).

Upotreba беспилотnih летјелца najčešća je u uzgoju žitarica i mahunarki – dakle kod biljaka gustog sklopa, kod kojih je prolazak traktorom otežan – te u maslinarstvu i vinogradarstvu kao visoko vrijednim poljoprivrednim granama, kod kojih se visoko početno ulaganje isplati nešto brže, dok se беспилотне летјелце nešto rjeđe koriste u voćarstvu. Беспилотне се летјелце u vinogradarstvu koriste i zbog nagnutog terena, često nepristupačnog strojevima na tlu (Brunetti, 2022).

U vinogradarstvu i voćarstvu беспилотне летјелце nalaze svoju primjenu kod redovitog nadzora vinograda u cilju pravovremenog otkrivanja pojave štetnika i bolesti. Tako Sito i suradnici (2015) koriste autonomnu беспилотnu летјелцу *eBee Ag* švicarske tvrtke *senseFly* (slika 9.1) za pokusna snimanja dvaju vinograda i jednog voćnjaka u Hrvatskoj i Sloveniji tijekom 2015. godine u sklopu istraživačkog projekta „Primjena беспилотnih летјелца u hortikulturnoj proizvodnji“. Radi se o autonomnoj беспилотноj летјелци s nepokretnim krilima, mase 710 g, pogonjenoj litij-polimer baterijom. Autonomija leta iznosi do 45 min, normalna je brzina letenja od 40 do 90 km/h, a visina 50 – 300 m iznad tla. Летјелца može u jednom letu snimiti područje površine do 1000 ha (Sito i sur., 2015; Sito, 2016). Podaci su prikupljeni dvjema kamerama – NIR kamerom Canon S110 NIR i RGB kamerom Sony WX – a dobiveni podaci korišteni su za izradu karte vegetacijskog indeksa, koja daje uvid u kvalitetu vegetacije nasada (Sito i sur., 2015).

Autonomne беспилотне летјелце koriste i Zarco-Tejada i sur. (2013) pri određivanju sadržaja karotenoida u listu vinove loze 2009., 2010. i 2011. godine. Koriste se dvjema autonomnim беспилотnim летјелicama – platformama na koje je moguće postaviti termalne, multispektralne i hiperspektralne kamere. Prva, manja autonomna беспилотna platforma ima nepokretna krila raspona 2 m, autonomiju leta do 1 sata te maksimalnu ukupnu masu 5,8 kg, dok druga, veća, ima nepokretna krila raspona 5 m, autonomiju leta 3 sata te maksimalnu ukupnu masu 13,5 kg. Obje platforme razvila je španjolska tvrtka Elimco (Zarco-Tejada i sur., 2013).



Slika 9.1. Autonomna bespilotna letjelica eBee Ag
Izvor: AgEagle – <https://ageagle.com/drones/ebee-x/> – pristup 18. rujna 2024.

Iskoristivost škropiva pri prskanju pomoću bespilotnih letjelica ovisi o više čimbenika, primjerice o korištenim mlaznicama, brzini leta, smjeru leta u odnosu na redove vinograda. Iskoristivost škropiva ekonomsko je, ali i ekološko pitanje zbog većeg zanošenja škropiva pri prskanju iz zraka. Biglia i sur. (2022) istražuju pokrivenost lista vinove loze škropivom pri korištenju različitih mlaznica i brzina leta bespilotne letjelice, koristeći pritom bespilotnu letjelicu DJI Matrice 600 Pro s prilagođenom prskalicom (slika 9.2). Najbolju pokrivenost lista loze škropivom dobivaju koristeći konvencionalne mlaznice s manjim kutom mlaza pri brzem (3 m/s) letu bespilotne letjelice usporedno s redovima vinograda. Korištenjem injektorskih mlaznica zanošenje kapljica škropiva bilo je manje no pri korištenju konvencionalnih mlaznica, no uz istovremenu manju prekrivenost ciljane površine (Biglia i sur., 2022).



Slika 9.2. Беспилотна летјелица DJI Matrice 600 Pro s prilagoђenom prskalicom
Izvor: Biglia i sur. (2022)

9.1. Zakonska regulativa upotrebe беспилотних летјелица u пољопривреди

U Republici Hrvatskoj uvjeti za sigurnu uporabu беспилотних летјелица масе до и укључујући 150 kg те uvjeti kojima moraju udovoljavati особе које судјелују u извођенју летова тим летјелицама били су прописани Правилником о системима беспилотних зракоплова (NN 104/2018). Правилник дефинира беспилотни зракоплов као зракоплов намењен извођенју лета без пилота u зракоплову, који је даљински управљан или програмiran и аутономан. Претходно наведени Правилник о системима беспилотних зракоплова (NN 104/2018) је престао важити од 1. сijeчња 2021. године, када су се погле примјенјивати делегирана Уредба (EU) 2019/947 о правилима и поступцима за рад беспилотних зракоплова и проведбена Уредба (EU) 2019/945 о системима беспилотних зракоплова и о операторима система беспилотних зракоплова из трећих земаља (*Službeni list Europske unije, L 152/45, L 152/1*). Агенција Европске уније за сигурност зрачног промета (*European Union Aviation Safety Agency – EASA*) објавила је примјенјива правила и поступке за употребу беспилотних летјелица u документу *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems*, који укључује досадашње измјене до сrпња 2024. (*Regulations (EU), 2019/947, 2019/945*). Хрватска агенција за цивилно зракопловство (HACZ) представља

„produženu ruku“ EASA-e u implementaciji zakonodavstva Europske unije u području civilnog zrakoplovstva u Republici Hrvatskoj.

Za korištenje bespilotnih letjelica u poljoprivredi primjenjuju se i odredbe Uredbe o snimanju iz zraka (NN 77/2020), čijim se odredbama uređuje snimanje iz zraka državnog područja Republike Hrvatske. Državne su institucije Republike Hrvatske nadležne za korištenje bespilotnih letjelica Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (za odobrenje letova), Hrvatska kontrola zračne plovidbe (za rezervacije zračnog prostora u slučaju da se let bespilotnom letjelicom odvija u kontroliranom zračnom prostoru ili na bilo koji način utječe na kontrolirani zračni prostor) i Državna geodetska uprava (za snimanje iz zraka i naknadno korištenje snimljenog materijala) (Krevh, 2018).

Budući da je primjena sredstava za zaštitu bilja iz zraka – avionom, helikopterom ili bespilotnom letjelicom – obično manje precizna od drugih načina primjene te tako može negativno utjecati na okoliš i zdravlje ljudi, posebice zbog zanošenja škropiva, Europska je unija 21. listopada 2009. godine svojom Direktivom 2009/128/EC zabranila prskanje iz zraka, ostavljajući mogućnost njegove primjene u posebnim slučajevima, pri čemu trebaju biti ispunjeni uvjeti navedeni u Direktivi (Zwetsloot i sur., 2018).

U Republici Hrvatsko na snazi je Zakon o održivoj uporabi pesticida (NN 46/2022), u čijoj se Glavi VII., u Članku 65. navodi da primjena pesticida iz zraka nije dopuštena, no da se primjena može dopustiti samo u posebnim slučajevima koji su navedeni u Članku 66. u Uvjetima za izdavanje odobrenja.

Usvajanjem Direktive 2009/128/EC države članice bile su obavezne izraditi Nacionalne akcijske planove za postizanje održive uporabe pesticida (NAP-ove). Prskanje iz zraka zabranjeno je uz odstupanja u hitnim situacijama ili je ograničeno uz posebne uvjete. Na primjer, u njemačkom NAP-u (NAP, 2013) navode se moguća odstupanja od zabrane prskanja iz zraka, koja moraju biti sukladna sa Zakonom o zaštiti bilja (*PflSchG*, 2012), kao što je primjena u vinogradima na strmim padinama i u krošnjama šuma.

Primjena pesticida s manjim bespilotnim letjelicama značajnije se koristi u državama istočne, južne i jugoistočne Azije, gdje je riža glavni usjev. Svjetsko tržište poljoprivrednih dronova povećat će se prema izvješću *Fortune Business Insights-a* (2023) s 4,98 milijardi dolara u 2023. na 23,78 milijarde dolara do 2032.

10. Prednosti i nedostaci autonomnih sustava

Korištenje autonomnih sustava povećava produktivnost, efikasnost i sigurnost voćarske i vinogradarske proizvodnje te kvalitetu voća. Autonomni sustavi mogu raditi kontinuirano i s vrlo velikom preciznošću – i u okolišnim uvjetima nepogodnima za čovjeka, primjerice noću, u uvjetima buke ili velike vrućine (Ozguven, 2023). Na taj način autonomni sustavi predstavljaju odgovor na globalan nedostatak radne snage u voćarskoj i vinogradarskoj proizvodnji (Rovira-Más i Saiz-Rubio, 2021).

Međutim, autonomni sustavi još uvijek nisu široko zastupljeni u vinogradima i voćnjacima, što je pokazatelj određenih poteškoća s kojima se najsuvremenija poljoprivredna mehanizacija susreće na praktičnoj i komercijalnoj razini. Pri razvoju autonomnih sustava koristi se najsuvremenija tehnologija, što rezultira i njihovom visokom nabavnom cijenom, zbog čega takvi sustavi nisu konkurentni na tržištu (Rovira-Más i Saiz-Rubio, 2021; Ozguven, 2023). Usto, autonomni se strojevi susreću i s tehničkim izazovima osiguravanja pouzdanosti i sigurnosti pri dugotrajnom radu bez ljudske intervencije (Rovira-Más i Saiz-Rubio, 2021).

Uključivanje novih tehnologija u svakodnevne poljoprivredne radove često nailazi na psihološke barijere kod poljoprivrednika (Javaid i sur., 2022). Međutim, moderne tehnologije privlačne su mlađoj populaciji, a prosječna životna dob poljoprivrednika u razvijenom je svijetu vrlo blizu dobu za odlazak u mirovinu. Za pretpostaviti je da će privlačnost novih, modernih tehnologija privući mlade u poljoprivredu, čime bi se prosječna životna dob poljoprivrednika u razvijenom svijetu približila prosječnoj životnoj dobi općeg stanovništva (Rovira-Más i Saiz-Rubio, 2021).

Brojne su prednosti sustava koji uključuju više manjih robota. Naime, površina zemljišta na kojoj je potrebno odraditi neki poljoprivredni zadatak često je vrlo velika, a i sam zadatak često je vrlo kompleksan, što može pogodovati korištenju više specijaliziranih poljoprivrednih strojeva. Usto, istovremeno korištenje više robota ubrzava izvršavanje poljoprivrednog zadatka. Redundancija do koje dolazi upotrebom više robota za posljedicu ima bolju otpornost sustava pri pojavi mogućih kvarova – u slučaju kvara velikog robota izvršavanje cijelog poljoprivrednog zadatka prekinuto je sve dok se kvar ne otkloni, dok kvar jednog robota u floti manjih robota nema toliki utjecaj na izvršavanje zadatka (Parker, 2008; Ribeiro i Conesa-Muñoz, 2021). U slučaju kvara, veliki poljoprivredni robot može predstavljati sigurnosni problem, dok su manji roboti ili roboti srednje veličine pogodniji za sigurnu interakciju s operaterom. Nadalje, veliki roboti imaju veliku masu, što za sobom povlači veće zbijanje tla, dok roboti manje mase i manjih dimenzija manje zbijaju tlo kojim prolaze te su prikladniji za izvršavanje iznimno preciznih pokreta (Ribeiro i Conesa-Muñoz, 2021).

Gomilanje senzora u autonomnim poljoprivrednim sustavima često je rezultiralo slabim rješenjima, koja nisu bila funkcionalna u kompleksnim uvjetima vinograda ili voćnjaka pri duljem radu. Odnos između složenosti sustava i njegove pouzdanosti ključan je, stoga je potrebno pažljivo procijeniti opravdanost dodavanja nove komponente – primjerice novog

senzora – u sustav, budući da dodavanje nove komponente povećava složenost sustava, a time i mogućnost kvara (Rovira-Más i Saiz-Rubio, 2021).

11. Zaključak

Zahvaljujući napretku tehnike i mehanizacije u vinogradarstvu i voćarstvu, znatno je smanjen udio ljudskog rada. To je ponajviše vidljivo u domeni autonomnih strojeva, gdje se, kao što smo vidjeli, ljudski rad ponekad svodi na programiranje vinogradarskog, odnosno voćarskog stroja i nadzor putem aplikacije na pametnom telefonu. Smanjen je udio napornog fizičkog rada, a time i mogućnost ozljeđivanja, pogotovo u vinogradarstvu kao radno vrlo intenzivnoj grani poljoprivrede. Istovremeno se zahvaljujući automatizaciji povećala sigurnost proizvodnje, koja više nije toliko ovisna o primjerice meteorološkim uvjetima. Daljnji tehnološki razvoj donijet će još veći stupanj automatizacije te autonomije strojeva u vinogradarskoj i voćarskoj proizvodnji.

12. Literatura

1. Baeten J., Donné K., Boedrij S., Beckers W., Claesen E. (2008). Autonomous Fruit Picking Machine: A Robotic Apple Harvester. *Field and Service Robotics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag: 531 – 539.
2. Berenstein R., Shahar O. B., Shapiro A., Edan Y. (2010). Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer. *Intel Serv Robotics* 3: 233 – 243.
3. Biglia A., Grella M., Bloise N., Comba L., Mozzanini E., Sopegno A., Pittarello M., Dicembrini E., Eloi Alcatrão L., Guglieri G., Balsari P., Ricauda Aimonino D., Gay. P. (2022). UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses. *Science of Total Environment*. 845, 157292.
4. Brunetti S. (2022). The agricultural innovation in the Italian landscape: drones adoption. *Magistarski rad*. Milano: Politecnico Milano 1863 – Scuola di ingegneria industriale e dell'informazione.
5. del Cerro J., Cruz Ulloa C., Barrientos A., de León Rivas J. (2021). Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Survey. *Agronomy* 11, 203.
6. dos Santos F. N., Sobreira H., Campos D., Morais R., Moreira A. P., Contente O. (2016). Towards a Reliable Robot for Steep Slope Vineyards Monitoring. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* 83: 429 – 444.
7. Javaid M., Haleem A., Singh R. P., Suman R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. 3: 150 – 164.
8. Jellason N. P., Robinson E. J. Z., Ogbaga C. C. (2021). Agriculture 4.0: Is Sub-Saharan Africa Ready? *Appl. Sci.* 11, 5750.
9. Jia W., Zhang Y., Lian J., Zheng Y., Zhao D., Li C. (2020). Apple harvesting robot under information technology: A review. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. (May – June): 1 – 16.
10. Kapetanović N., Goričanec J., Vatauvuk I., Hrabar I., Stuhne D., Vasiljević G., Kovačić Z., Mišković N., Antolović N., Anić M., Kozina B. (2022). Heterogeneous Autonomous Robotic System in Viticulture and Mariculture: Vehicles Development and Systems Integration. *Sensors*. 22, 2961.
11. Knežević B. Z., Gojković A., Gajić Z., Mitrić S. (2021). A new concept of robotic plant protection in greenhouses. *Demi 2021. 15th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering*, Banja Luka, 28. – 29. svibnja 2021., 313 – 319.
12. Krevh V. (2018). Primjena bespilotnih letjelica u poljoprivredi. *Diplomski rad*. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
13. Lemić D., Radanović R., Orešković M., Genda M., Kapor K., Virić Gašparić H. (2021). Dronovi kao moderan alat za suvremenu poljoprivredu. *Glasilo biljne zaštite*. 21, br. 4: 476 – 491.

14. Lopes C. M., Graça J., Sastre J., Reyes M., Guzmán R., Braga R., Monteiro A., Pinto, P. A. (2016). Vineyard Yield Estimation by VINBOT Robot – Preliminary Results with the White Variety Viosinho. Proceedings 11th International Terroir Congress. Southern Oregon University. Ashland, OR, 458 – 463.
15. Mary A., Mani K., Raimond K., Johnson I., Dinesh Kumar P. (2022). Enabling Technologies for Future Robotic Agriculture Systems: A Case Study in Indian Scenario. The Digital Agricultural Revolution: Innovations and Challenges in Agriculture through Technology Disruptions. Scrivener Publishing.
16. Meyers J. M., Miles J. A., Faucett J., Janowitz I., Tejeda D. G., Weber E., Smith, R., Garcia, L. (2001). Priority Risk Factors for Back Injury in Agricultural Field Work: Vineyard Ergonomics. Journal of Agromedicine. 8, 1: 39 – 54.
17. Ozguven M. M. (2023). The Digital Age in Agriculture. CRC Press. Boca Raton, London, New York.
18. Parker L. E. (2008). Multiple Mobile Robot Systems. Springer Handbook of Robotics. Springer. Berlin, Heidelberg.
19. Poje T. (2023). Dan sadjarsko-vinogradniške tehnike. Kmetovalec. 8: 12 – 14.
20. Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova, Narodne novine 104/2018 (28. studenog 2018.).
21. Ribeiro A., Conesa-Muñoz J. (2021). Multi-robot Systems for Precision Agriculture. Innovation in Agricultural Robotics for Precision Agriculture. Springer. Cham.
22. Rovira-Más F., Millot C., Saiz-Rubio V. (2015). Navigation Strategies for a Vineyard Robot. 2015 ASABE Annual International Meeting, New Orleans, Louisiana, July 26 – 29, 2015.
23. Rovira-Más F., Saiz-Rubio V. (2021). Robotics for Precision Viticulture. Innovation in Agricultural Robotics for Precision Agriculture. Springer. Cham.
24. Saiz-Rubio V., Rovira-Más F., Millot C. (2017). Performance Improvement of a Vineyard Robot through its Mechanical Design. 2017 ASABE Annual International Meeting, Spokane, Washington, July 16–19, 2017.
25. Schulze Lammers P., Martinov M., Gronauer A., Košutić S. (2021). Agriculture 4.0 – Challenge for Agricultural and Biosystems Engineering. Proceedings of the 48th International Symposium Actual Tasks on Agricultural Engineering. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za mehanizaciju poljoprivrede. Zagreb, 11 – 17.
26. Sito S., Kovačić F., Krznarić K., Šket B., Šimunović V., Grubor M., Koren M., Šket M. (2015). Primjena bespilotnih sustava u zaštiti trajnih nasada. Glasnik zaštite bilja. 38, br. 4: 39 – 50.
27. Tahmasebi M., Gohari M., Emami A. (2022). An Autonomous Pesticide Sprayer Robot with a Color-based Vision System. International Journal of Robotics and Control Systems. 2, br. 1: 115 – 123.
28. Tituaña L., Gholami A., He Z., Xu Y., Karkee M., Ehsani R. (2024). A small autonomous field robot for strawberry harvesting. Smart Agricultural Technology. 8, 100454.
29. Uredba o snimanju iz zraka, Narodne novine 77/2020 (3. srpnja 2020.).

30. Vataavuk I., Vasiljević G., Kovačić Z. (2022). Task Space Model Predictive Control for Vineyard Spraying with a Mobile Manipulator. *Agriculture*. 12, 381.
31. Weersink A., Fraser E., Pannell D., Duncan E., Rotz S. (2018). Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 10: 19 – 37.
32. Williams H., Smith D., Shahabi J., Gee T., Nejati M., McGuinness B., Black K., Tobias J., Jangali R., Lim H., Duke M., Bachelor O., McCulloch J., Green R., O'Connor M., Gounder S., Ndaka A., Burch K., Fourie J., Hsaio J., Werner A., Agnew R., Oliver R., MacDonald B. A. (2023). Modelling wine grapevines for autonomous robotic cane pruning. *Biosystems Engineering*. 235: 31 – 49.
33. Zakon o održivoj uporabi pesticida, Narodne novine 46/2022 (23. travnja 2022.).
34. Zambon I., Cecchini M., Egidi G., Saporito M. G., Colantoni A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. *Processes*. 7 (1), 36.
35. Zarco-Tejada P. J., Gullén-Climent M. L., Hernández-Clemente R., Catalina A., González M. R., Martín P. (2013). Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and Forest Meteorology*. 171 – 172: 281 – 294.
36. Zwetsloot H. M., Nikol L., Jansen K. (2018). The General Ban on Aerial Spraying of Pesticides of the European Union: The Policy-Making Process Between 1993-2009. Wageningen University. Wageningen.

Popis korištenih izvora – poveznica:

Advanced Farm – <https://advanced.farm/> – pristup 17. rujna 2024.

AgEagle – <https://ageagle.com/drones/ebec-x/> – pristup 18. rujna 2024.

Agrihelper – <https://ahelper.eu/> – pristup 16. svibnja 2024.

Agtecher – <https://agtecher.com/product/exact-robotics-traxx/> – pristup 19. kolovoza 2024.

AIGRO: Smart Robotics for Sustainable Framing – https://www.aigro.nl/index_en.html – pristup 19. kolovoza 2024.

Andrić D. (2022). Jedan poljoprivredni stroj koji sve može i košta kao S klasa: Autonomni robot održava cijeli vinograd! *Revija HAK* – <https://revijahak.hr/2022/07/31/jedan-poljoprivredni-stroj-koji-sve-moze-i-kosta-kao-s-klasa-autonomni-robot-odrzava-cijeli-vinograd/>. Objavljeno 31. srpnja 2022. Pristup 14. svibnja 2024.

Azienda Agricola Pantano – <https://www.pantano.io/> – pristup 20. kolovoza 2024.

Baiju N. T. (2024). Top agricultural robots for vineyard applications. *RoboticsBiz* – <https://roboticsbiz.com/top-12-agricultural-robots-for-vineyard-applications/>. Objavljeno 8. lipnja 2024. Pristup 20. kolovoza 2024.

De Clercq M., Vats A., Biel A. (2018). Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. Oliver Wyman – <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2021/apr/agriculture-4-0-the-future-of-farming-technology.pdf>
Objavljeno veljača 2018. Pristup 9. rujna 2024.

FFRobotics – <https://www.ffrobotics.com/> – pristup 17. rujna 2024.

First vineyard tractor with hydrogen drive presented. (2023). wein.plus – <https://magazine.wein.plus/news/first-vineyard-tractor-with-hydrogen-drive-presented-traxx-concept-h2-up-to-twelve-hours-of-emission-free-running-time>. Objavljeno 27. ožujka 2023 – pristup 18. kolovoza 2024.

Fortune Business Insights. (2023). – <https://www.fortunebusinessinsights.com/agriculture-drones-market-102589> – pristup 25. rujna 2024.

Free Green Nature – www.freegreen-nature.it – pristup 21. kolovoza 2024.

Harvest CROO Robotics – <https://www.harvestcroorobotics.com/> – pristup 17. rujna 2024.

Hekkert G. (2024). Italian ICARO X4 Robot decides when to combat fungi in vineyards. Future Farming – <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/italian-icaro-x4-robot-decides-when-to-combat-fungi-in-vineyards/>. Objavljeno 9. veljače 2024. Pristup 19. kolovoza 2024.

iF DESIGN – Weta – Agro Robot – <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/weta-agro-robot/344093> – pristup 21. kolovoza 2024.

INESC TEC – www.inesctec.pt – pristup 19. kolovoza 2024.

Jovanović T. (2023). Slopehelper – robot sadašnjosti. Gospodarski list online – <https://gospodarski.hr/rubrike/mehanizacija/slopehelper-robot-sadasnjosti/>. Objavljeno 4. srpnja 2023. Pristup 14. svibnja 2024.

Kahani A., Kober G. (2022). A dream come true: the fresh fruit picking robot. Agromillora – <https://www.agromillora.com/olint/en/a-dream-come-true-the-fresh-fruit-picking-robot/>. Objavljeno 4. kolovoza 2022. Pristup 17. rujna 2024.

Kravitz M. (2023). How Robots are Taking Over Vineyards. WineEnthusiast – <https://www.wineenthusiast.com/culture/wine/robots-taking-over-vineyards/>. Objavljeno 5. svibnja 2023. Pristup 16. svibnja 2024.

Malewar A. (2021). Flying autonomous robot can spot and pick ripe fruit. Inceptive Mind – <https://www.inceptivemind.com/flying-autonomous-robot-far-spot-pick-ripe-fruit/17770/>. Objavljeno 21. veljače 2021. Pristup 17. rujna 2024.

Marr B. Drones and Robots in the Vineyard: Revolutionizing Viticulture Through Technology. BM Wine Cellar – <https://bmwinecellar.com/drones-and-robots-in-the-vineyard-revolutionizing-viticulture-through-technology/> – pristup 16. svibnja 2024.

Naïo Technologies – <https://www.naio-technologies.com/en/home/> – pristup 14. svibnja 2024.

NAP (2013), Germany National Action Plan on Sustainable Use of Plant Protection Products – <https://food.ec.europa.eu/document/download/c6e4d845-2329-497a-8b00->

[c84904d28331_en?filename=pesticides_sup_nap_deu_en.pdf](#) – Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection. – pristup 25. rujna 2024.

Oitzman M. Tevel Aerobotics Gets Off Ground to Help Orchard Owners Pick Ripe Fruit. The Robot Report – <https://www.therobotreport.com/rbr50-company-2021/tevel-aerobotics-technologies/> – pristup 17. rujna 2024.

Organifarms – <https://www.organifarms.de/product> – pristup 16. rujna 2024.

PCMag Encyclopedia – <https://www.pcmag.com/encyclopedia> – pristup 14. svibnja 2024.

Petrovic K. (2024). Robots are Ready for the Vineyards. GOFAR: Global Organization For Agricultural Robotics – <https://www.agricultural-robotics.com/news/robots-are-ready-for-the-vineyards>. Objavljeno 26. ožujka 2024. Pristup 18. kolovoza 2024.

PflSchG (2012), Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG) – <https://www.buzer.de/gesetz/10080/a175092.htm> - Abschnitt 4 Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, § 18 Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen – pristup 25. rujna 2024.

Project HEKTOR – <https://hektor.fer.hr/en/homepage/> – pristup 16. svibnja 2024.

Prusina, R. (2020). Dron za berbu voća je najbolji terenski robot. Agroklub – <https://www.agroklub.com/vocarstvo/dron-za-berbu-voca-je-najbolji-terenski-robot/65102/>. Objavljeno 21. prosinca 2020. Pristup 18. rujna 2024.

Pullano G. (2019). Harvest CROO Robotics strawberry harvester nears fruition. Fruit Growers News – <https://fruitgrowersnews.com/article/harvest-croo-robotics-strawberry-harvester-nears-fruition/>. Objavljeno 26. ožujka 2019. Pristup 17. rujna 2024.

Regulations (EU) – <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu> Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (2019/947 and 2019/945) Revision from July 2024 — pristup 25. rujna 2024.

Robotnik – <https://robotnik.eu/projects/vinbot-en/> – pristup 16. svibnja 2024.

ROBOTRIM the automatic pruning system for vines. (2021). ATRIA Innovation – <https://atriainnovation.com/en/blog/robotrim-the-automatic-pruning-system-for-vines/>. Objavljeno 16. ožujka 2021. Pristup 16. rujna 2024.

Schmitt P. (2024). Moët backs robots to manage vineyards in Champagne. The Drinks Business – <https://www.thedrinksbusiness.com/2024/05/moet-backs-robots-to-manage-vineyards-in-champagne/>. Objavljeno 1. svibnja 2024. Pristup 19. kolovoza 2024.

Sito S. (2016). Iskustva s bespilotnim letjelicama u poljoprivrednoj proizvodnji. Gospodarski list – <https://gospodarski.hr/rubrike/mehanizacija/iskustva-s-bespilotnim-letjelicama-u-poljoprivrednoj-proizvodnji/>. Objavljeno 26. svibnja 2016. Pristup 22. rujna 2024.

Slopehelper – <https://slopehelper.com/> – pristup 16. svibnja 2024.

Službeni list Europske unije – <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945> Delegirana uredba komisije (EU) 2019/945 od 12. ožujka 2019. o sustavima

bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja, 11. 6. 2019. L 152/1. – pristup 25. rujna 2024.

Službeni list Europske unije – https://www.gesetze-im-internet.de/pflschg_2012/BJNR014810012.html Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947 od 24. svibnja 2019. o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova, 11. 6. 2019. L 152/45. – pristup 25. rujna 2024.

Symington Family Estates – <https://www.symington.com/innovation/vinescout> – pristup 16. svibnja 2024.

Tevel – <https://www.tevel-tech.com/> – pristup 17. rujna 2024.

Thomas N. (2023). The robots are coming – to pick Northwest apples. Oregon Public Broadcasting – <https://www.opb.org/article/2023/04/06/northwest-oregon-apple-washington-farm-harvest-robots-robotics-orchards-agriculture-technology/>. Objavljeno 6. travnja 2023. Pristup 17. rujna 2024.

Traxx by Exxact Robotics. (2024). GOFAR: Global Organization For Agricultural Robotics – <https://www.agricultural-robotics.com/news/fira-ag-robots-directory-traxx-by-exxact-robotics>. Objavljeno 9. travnja 2024. Pristup 27. rujna 2024.

Traxx, the 'compact' high-clearance robot makes its vineyard debut. (2021). Vitisphere – <https://www.vitisphere.com/news-95456-traxx-the-compact-high-clearance-robot-makes-its-vineyard-debut.html>. Objavljeno 8. prosinca 2021. Pristup 19. kolovoza 2024.

TREKTOR by SITIA – <https://www.trektor.fr/en/by-sitia/> – pristup 18. kolovoza 2024.

Van Hattum B. (2021). Dragone Black Shire: Italian robotic tractor for heavy work. Future Farming – <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/dragone-black-shire-italian-robotic-tractor-for-heavy-work/>. Objavljeno 26. listopada 2021. Pristup 19. kolovoza 2024.

Vassaux M. Robots in the vineyard. Maxon Group – <https://www.maxongroup.com/en-us/knowledge-and-support/blog/robots-in-the-vineyard-21636> – pristup 24. kolovoza 2024.

VineScout – <http://vinescout.eu/web/> – pristup 16. svibnja 2024.

Vitibot – <https://vitibot.fr/?lang=en> – pristup 14. svibnja 2024.

Vitirover – <https://www.vitirover.fr/home-eng> – pristup 24. kolovoza 2024.

Wall-Ye – <http://wall-ye.com/> – pristup 22. kolovoza 2024.

World FIRA – Modular E – <https://world-fira.com/robots/modular-e/> – pristup 21. kolovoza 2024.

Yanmar – <https://www.yanmar.com> – pristup 19. kolovoza 2024.

Životopis

Neven Kovačev rođen je 16. kolovoza 1987. godine u Zagrebu, gdje završava osnovnoškolsko (OŠ Matka Laginje) i srednjoškolsko obrazovanje (VII. gimnazija). Godine 2009. završava preddiplomski, a godine 2012. diplomski studij povijesti na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, nakon čega radi kao tajnik u nekoliko sportskih udruga. Autor je i suautor više znanstvenih članaka i prikaza te je sudjelovao na više međunarodnih znanstvenih skupova, sve iz polja povijesti. Član je organizacijskog i provedbenog odbora brojnih lokalnih, državnih i međunarodnih atletskih natjecanja. Aktivno se služi engleskim (razina C2) i njemačkim (razina B2) jezikom.