

Roboti za ubiranje i žetvu ratarskih kultura

Batrnek, Marin

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:151:266686>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



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

Marin Batrnek
Prijediplomski sveučilišni studij
Smjer: Mehanizacija

Roboti za ubiranje i žetvu
Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marin Batrnek
Prijediplomski sveučilišni studij
Smjer: Mehanizacija

Roboti za ubiranje i žetvu
Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

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

Osijek, 2024

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Prijeđiplomski stručni studij Mehanizacija

Završni rad

Marin Batrnek

Roboti za ubiranje i žetvu

Sažetak:

Cilj rada bio je istražiti uporabu robota u poljoprivredi pri ubiranju i žetvi. Roboti za ubiranje i žetvu su strojevi koji se koriste za automatizaciju procesa ubiranja i žetve poljoprivrednih proizvoda. U radu su prikazani povijest razvoja automatizacije u poljoprivredi, dijelovi neophodni za rad robota poput platforme, senzora, kamere, računala i manipulatora, principa rada robota i primjeri robota koji se koriste prilikom ubiranja i žetve poput Harvest CROO Robotics, Sweeper, Metomotion, Virgo, Vegebot, BERRY, Tortuga AgTech, Fresh Fruit Robotics, SynRobo i Tevel Robota. Zaključeno je da korištenjem robota u poljoprivredi dolazi do uštede vremena i resursa ali da su početna ulaganja prevelika.

Ključne riječi: roboti, automatizacija, senzori, kamere, manipulatori, ubiranje, žetva

28 stranica, 29 slika, 37 literaturnih navoda

BACIS DOCUMENTATION CARD

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

Final work

Marin Batrnek

Robots for picking and harvesting

Summary:

This paper delves into the application of robots in agriculture for harvesting and picking purposes. Harvesting and picking robots are machines designed to automate the process of harvesting and picking agricultural produce. The paper explores the history of automation in agriculture, the essential components for robot operation, including the platform, sensors, cameras, computers, and manipulators. It also delves into the principles of robot operation and provides examples of robots employed for harvesting and picking, such as Harvest CROO Robotics, Sweeper, Metomotion, Virgo, Vegebot, BERRY, Tortuga AgTech, Fresh Fruit Robotics, SynRobo, and Tevel Robots. The paper concludes that while utilizing robots in agriculture leads to time and resource savings, the initial investment costs are substantial.

Keywords: robots, automation, sensors, cameras, manipulators, picking, harvesting

28 pages, 29 pictures, 38 references

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. POVIJEST RAZVOJA AUTOMATIZACIJE PRI UBIRANJU I ŽETVU..... | 2 |
| 3. PRINCIP RADA ROBOTA | 5 |
| 3.1 PLATFORMA..... | 5 |
| 3.2 SENZORI | 5 |
| 3.3 RAČUNALNI SUSTAV | 6 |
| 3.4 MANIPULATORI..... | 7 |
| 4. POLJOPRIVREDNI ROBOTI ZA UBIRANJE I ŽETVU..... | 9 |
| 4.1 HARVEST CROO ROBOTICS | 9 |
| 4.2 SWEEPER | 10 |
| 4.3 METOMOTION | 12 |
| 4.4 VIRGO..... | 14 |
| 4.5 ROBOTSKI SUSTAV BERBE SALATE VEGEBOT | 15 |
| 4.6 BERRY | 16 |
| 4.7 TORTUGA AGTECH..... | 17 |
| 4.8 FRESH FRUIT ROBOTICS..... | 18 |
| 4.9 SYNROBO | 20 |
| 4.10 Tevel Robot..... | 21 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 23 |
| 6. LITERATURA | 24 |

1. UVOD

Poljoprivreda je ključna grana ljudske djelatnosti koja se suočava s brojnim izazovima poput porasta svjetske populacije, promjene klime i ograničenih resursnih ulaganja. Posljedica tih izazova je potreba za pronalaskom inovativnih rješenja za poboljšanje produktivnosti i učinkovitosti u poljoprivrednoj proizvodnji, pri čemu se ističe automatizacija poljoprivrednih operacija uz pomoć robota.

Razvoj tehnologije, u smislu mogućnosti i isplative integracije, razvija se velikom brzinom. Robotika ljudima dopušta izbjegavanje opasnih poslova, dok moderna robotika može osigurati ekonomski rast, poboljšanu kvalitetu života i veću kvalitetu obavljanja rada (Christensen, 2016.). Leonidas Droukas i suradnici (2022.) nalažu kako razvoj robotskih tehnologija i njihova primjena u poljoprivredi postaje sve češća tema, interes i obzir, pri čemu se posljednjih desetljeća primjećuje sve veći istraživački rad. To spada pod rastući trend u poljoprivredi koji se naziva preciznom poljoprivredom ili poljoprivredom sa smanjenim ugljičnim otiskom.

Precizna poljoprivreda temelji se na donošenju odluka pri uzgoju kojima su podloga točno prikupljene informacije pomoću satelita, snimanja površine, kemijskih analiza tla, korištenjem GPS uređaja u strojevima i slično (Zimmer i sur., 2016.).

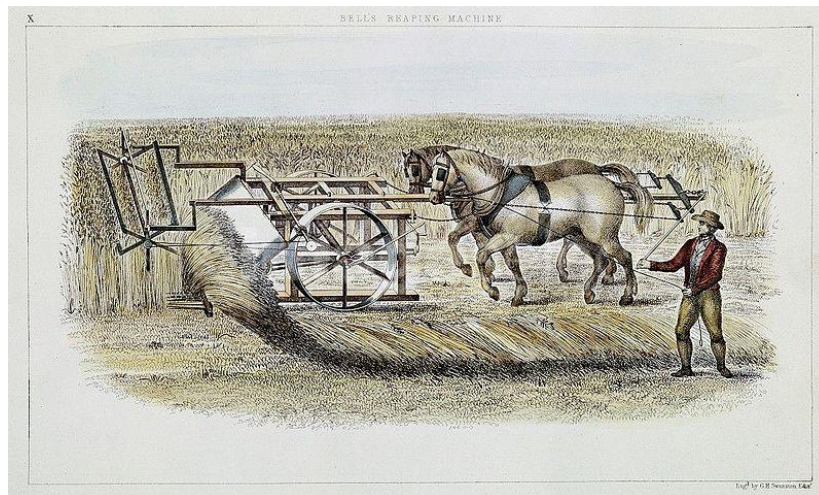
Roboti za ubiranje i žetvu su strojevi korišteni u poljoprivredi prilikom automatizacije procesa ubiranja i žetve različitih proizvoda poput voća, povrća, žitarica, pamuka i sličnih proizvoda. Uvođenjem automatizacije znatno se smanjuje nedostatak radne snage u poljoprivredi, povećava se kvaliteta ubiranja i žetve, njegova efikasnost, točnost i brzina. Razvojem ljudske populacije i porastom broja stanovništva potrebno je pripomoći u razvoju kvantitete i kvalitete pri produciranju prehrambenih proizvoda. Uvođenjem automatizacije pri poljoprivrednim operacijama utječe se i na ekologiju, uštedu resursa a time i na dodatne troškove.

Osim automatizacije pri ubiranju i žetvi, roboti se pojavljuju i u drugim granama poljoprivrede poput robota za točno unošenje gnojiva u tlo, robota za plijevljenje korova, robot za plijevljenje povrća, robot za branje citrusa, robot za branje gljiva, robot za sortiranje voća.

2. POVIJEST RAZVOJA AUTOMATIZACIJE PRI UBIRANJU I ŽETVU

Razvoj mehanizacije i automatizacije u poljoprivredi počeo je samim početkom 1960-ih, unatoč poljoprivrednim tradicijama, manjkom količine poljoprivrednih radnika, poljoprivrednici su prisiljeni napredovati u mehanizaciji i automatizaciji agrotehnoških operacija.

Reverend Patrick Bell 1826. godine dizajnirao je prvi žetveni stroj, nazvan Bellov stroj (slika 1.). Radio je na principu rotiranja lopatica koje usjev primiču noževima za rezanje, dok je pogon dobiven kretanjem konja koji guraju stroj. Godine 1835. pojavljuje se prvi kombajn kojeg je izumio i patentirano Hiram Moore u SAD-u. Ovaj stroj je mogao obavljati 3 funkcije: žetvu, vršenje i razdvajanje pšenice od plijeva. Pri početku razvoja ovog kombajna, stroj je zahtijevao 20 konja kako bi se kretao (slika 2.). George Stockton Berry 1880. godine osmislio je način kako spasiti životinje od opterećenja uvođenjem parnog stroja u kombajn, dok već 1915. godine je International Harvester počeo s proizvodnjom kombajna vučenih traktorom. Nedugo nakon, J.I Case i John Deere također počinju proizvodnju svojih vrsta takvih kombajna (Plant Planet, 2021.) (slika 3.).



Slika 1. Patrick Bellov stroj za žetvu, 1826.

(Izvor: Plant Planet 2021.)



Slika 2. Hiram Mooreov patentirani kombajn, SAD, 1835.

(Izvor: Plant Planet, 2021.)



Slika 3. International Harvesterov prvi kombajn vučen traktorom, 1915.

(Izvor: Plant Planet, 2021.)

Prva pojava automatizacije u industriji dogodila se 1956. godine kada je američki inženjer Joseph F. Engelberger razvio i predstavio robot “Unimate”. Robot je u početku služio kao manipulator za podizanje i pomicanje teških predmeta. Prvi put je korišten u tvornici General Motorsa za rukovanje dijelovima motora. “Unimate” se kasnije prilagodio za korištenje u poljoprivredi pri berbi voća i povrća, pakiranju, skladištenju i mljevenju hrane. Nastankom Unimate robota,

prikazala se jednostavnost i znatna pripomoć robota u industrijskoj i poljoprivrednoj grani (Association for Advancing Automation Robotics, 2024.).



Slika 4. inž. Joseph F. Engelbergerov Robot “Unimate”

(Izvor: Association for Advancing Automation Robotics, 2024.)

David Stuart (2019.) nalaže kako se značajan razvoj automatizacije u poljoprivredi pri ubiranju i žetvi pojavljuje 1968. godine, razvojem berača rajčica od sveučilišta Kalifornija, Davis (slika 5.). Strojna berba rajčica predstavljala je mnoge probleme poput rezanja i podizanja trsova i grana rajčica te njihovo razdvajanje, koje se obavlja separatorima i slamotresima koji su slični onima koji se nalaze u kombajnu za žetvu žitarica.



Slika 5. UC- Blackwelder Harvester, Kalifornija, Davis, 1968.

(Izvor: Soundings Journa, 2019.)

3. PRINCIP RADA ROBOTA

Poljoprivredni roboti su složeni sustavi koji koriste kombinaciju različitih tehnologija za autonomno obavljanje zadataka u polju (Leonidas Droukas i sur., 2023.).

Roboti koriste senzore i kamere prilikom kretanja i prepoznavanja zrelih plodova. Robotske ruke, odnosno manipulatori koriste se pri pažljivom ubiranju plodova bez oštećenja proizvoda.

3.1 PLATFORMA

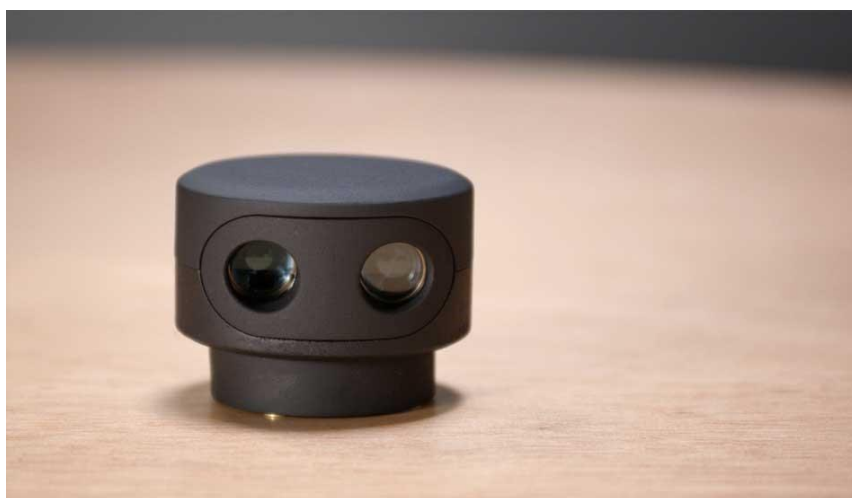
Fdata Robot (2023.) navodi da se platformom naziva dio robota na kojem se ugrađuju svi ostali dijelovi robota. Platforma omogućuje robotu kretanje uz pomoć kotača, gusjenica ili nogu. Taj dio robota naziva se podvozje kojeg pokreće pokretni sustav putem motora ili baterije. Navigacijski sustav određuje i položaj i daljnje kretanje robota.

3.2 SENZORI

Popović (1996.) definirao je senzor kao uređaj koji pretvara mjernu fizikalnu veličinu u električni signal, odlikuje se malim dimenzijama, izuzetnim tehničkim karakteristikama i sposobnošću obrade signala. Također navodi kako senzori robotu omogućuju percipiranje okoline prepoznavanjem različitih elemenata poput tla, biljaka, vremenskih uvjeta, i prepreka, omogućuju prikupljanje te daljnju preradu istih podataka na temelju kojih se robotima zadaje relacija odnosno put kretanja i daljnje radnje. Hans Peter Moravec (2023.) nalaže kako se razlikuju vizualni senzori, odnosno kamere koje omogućuju robotu da prepozna svoje okruženje i objekte - LiDAR senzori (slika 7.) koji koriste laserske impulse za oblikovanje i konstruiranje okoline robota s visokom preciznošću, globalni sustav za pozicioniranje (GPS) koji omogućuje robotu da prati svoju točnu lokaciju i senzori dodira koji omogućuju robotu da prepozna prepreke i tako ih izbjegne. Senzori prinosa u robotu prepoznaju plod prema obujmu, temperaturi i sustavu mjerenja impulsa.



Slika 6. Multispektralni prikaz razlikovanja ploda na primjeru jabuke
(Izvor: Bontsema i sur., 2015.)

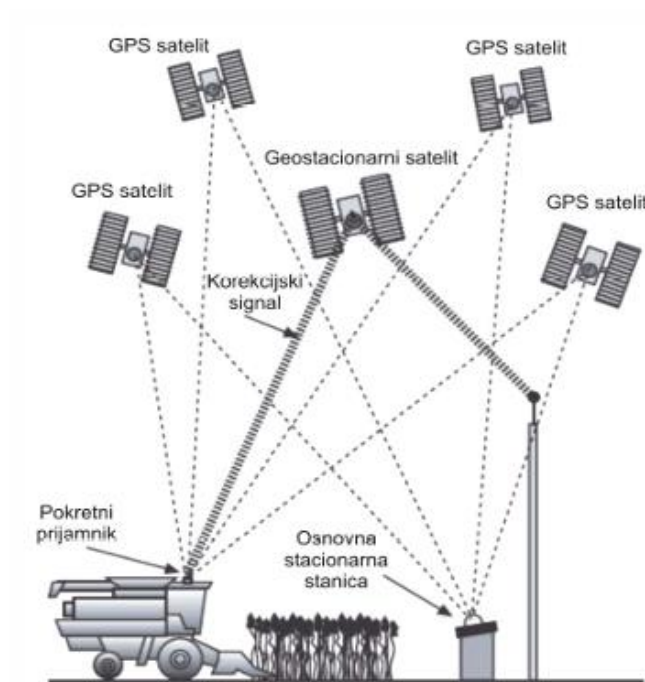


Slika 7. LiDAR senzor
(Izvor: SmashingRobotics, 2016.)

3.3 RAČUNALNI SUSTAV

Računalo obrađuje podatke iz senzora i time zadaje put kretanja i upravlja radnjama robota. Putem računalnog softvera robotu se zadaju funkcije kretanja, navigacije, manipulacije i komunikacije. Sustav za globalno pozicioniranje (GPS) omogućava precizno određivanje položaja na Zemlji. Osnovni zadatak GPS satelita jest odašiljanje radiosignala pomoću kojih se može mjeriti udaljenost između satelita i prijarnika (pseudoudaljenost), te kako GPS omogućuje da se zabilježe

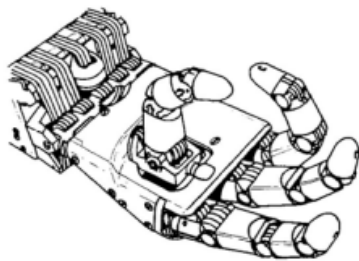
položaji točaka na Zemlji i pojednostavi navigacija do tih točaka i od njih. Glavna svrha navigacije je omogućiti kretanje od točke A do točke B na najjednostavniji mogući način. GPS prijamnici mogu spremati više stotina točaka ili položaja koji se nazivaju putnim točkama (waypoints) (Jurišić i Plaščak, 2009.). HPDrones (2022.) nalaže kako se Real-time kinematic (RTK) metoda koristi za poboljšanje preciznosti globalnog navigacijskog sustava ili pozicioniranja satelita. RTK sustav (slika 8.) radi uz pomoć bazne stanice koja se nalazi na poznatoj lokaciji i mobilnog prijemnika koji se nalazi na nepoznatoj lokaciji. RTK sistem radi tako što bazna stanica prvo izračuna svoju lokaciju, a zatim izračuna greške u tim mjerenjima.



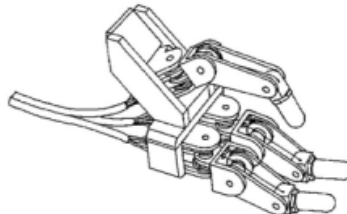
Slika 8. Prikaz RTK sustava
(Izvor: Jurišić, Plaščak, 2009.)

3.4 MANIPULATORI

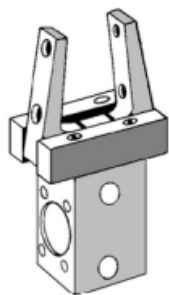
Popović (1996.) nalaže kako su manipulatori na robotu potrebni prilikom izvršavanja zadataka poput ubiranja. Mehanička ruka omogućuje robotu manipulaciju predmetima poput usjeva, alata i gnojiva. Montiranjem potrebnog alata na mehaničku ruku pospješuje se kvaliteta i točnost obavljanja zadane operacije (slika 9.).



ŠAKA SA ČETIRI PRSTA



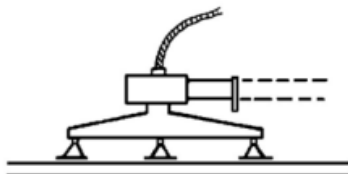
ŠAKA SA TRI PRSTA



HVATALJKA



PRSKALICA



SISALJKA



KLIJEŠTA

Slika 9. Različiti oblici manipulatora
(Izvor: Popović 1996.)

4 POLJOPRIVREDNI ROBOTI ZA UBIRANJE I ŽETVU

Roboti za ubiranje i žetvu su strojevi korišteni u poljoprivredi prilikom automatizacije procesa ubiranja i žetve različitih proizvoda poput voća, povrća, žitarica.

Leonidas Droukas i suradnici (2022.) navode kako uvođenje robota u poljoprivredni sektor predstavlja značajan tehnološki napredak u automatizaciji procesa ubiranja i žetve. Implementacija robotike u poljoprivrednoj proizvodnji nudi niz prednosti, uključujući povećanu produktivnost, poboljšanu učinkovitost, poboljšanu sigurnost i bolju kvalitetu proizvoda.

4.1 HARVEST CROO ROBOTICS

Tvrtka Harvest CROO ROBOTICS, osnovana 2013. godine u SAD-u, predstavlja napredovanje automatizacije prilikom berbe jagoda, malina, kupina i borovnica. Harvest CROO bavi se razvojem sustava automatizacije uvođenjem robota koji se kreću kroz poljoprivrednu česticu, te uz pomoć kamera i senzora odabiru zrele jagode koje su spremne za uklanjanje bez oštećenja. Tvrtka tvrdi da njezini roboti mogu ubrzati proces sakupljanja jagoda za 50% i smanjiti troškove rada za 25%. Harvest CROO ROBOTICS predstavlja svoj komercijalni kombajn pri uzgoju jagoda u Floridi tijekom 2021. godine. Svaki kombajn ima 16 neovisnih robota spremnih za berbu, dok se kombajn samostalno navigira svojim putem kroz hektare jagoda. Svaki robot se sastoji od zasebne kamere, senzora i ruke (slika 11.), koja služi za ubiranje jagoda. Kompletni stroj kreće se automatizirano kroz redove poljoprivredne čestice. U vozilu je ugrađen LIDAR sustav, koji omogućuje trodimenzionalnu sliku zemljišta čime se olakšava navođenje među redovima nasada (Harvest CROO Robotics LLC, 2022.).



Slika 10. Harvest CROO Robotics berač jagoda
(Izvor: Harvest CROO Robotics, 2024.)



Slika 11. Pojedinačni roboti Harvesta CROO berača jagoda
(Izvor: Growing produce, 2018.)

4.2 SWEEPER

SWEEPER je robot za ubiranje plodova paprike. SWEEPER optimizira sustav uzgoja pojednostavljujući ubiranje upotrebom robota. Kamera koju SWEEPER koristi kombinirani je model kamere u boji (RGB) i *time of flight* kamera (TOF). Obje metode koriste istu optiku i

senzorski čip, čime se dobiva kombinirana slika u boji i udaljenosti (RGB-D). Kamera je prototip izrađen po narudžbi posebno za SWEEPER koju je razvila švedska tvrtka Fotonic. Robot je opremljen posebno dizajniranim jedinicama LED baterijskih svjetiljki vrlo visokog intenziteta za suzbijanje učinaka promjene uvjeta osvjetljenja u okolini što je više moguće. Snažna baterijska svjetiljka osigurava stalno osvjetljenje slika snimljenih kamerom danju i noću. Uz pravilno održavanje, čišćenje i svakodnevno punjenje baterija, očekivano je da robot može izdržati 20 radnih sati na dan. Zrelost detektirane paprike ocjenjuje se izračunom dvije značajke za svaku papriku: mjerenje boje ploda (prosječna razina nijanse u detektiranoj regiji) te mjerenje značajki oblika ploda (omjer/površina). Nakon ubiranja, robot plodove odlaže na pokretnu traku, gdje se dalje skladišti (Wageningen, University & Research, 2019.).



Slika 12. SWEEPER
(Izvor: IsraelAgri, 2024.)



Slika 13. Radni element SWEEPER robota.

(Izvor: Wageningen University & Research, 2018.)

4.3 METOMOTION

MetoMotion osnovan je 2017. godine, s početnim ulaganjem Izraelske uprave za inovacije i Trendlinesa. Greenhouse Robotic Worker (GRoW) platforma je koja pripomaže u žetvi stakleničkih usjeva i analizu podataka za poboljšanje rezultata i predvidljivosti uzgajivača. MetoMotion predstavlja najsuvremeniju tehnologiju u staklenicima, koristeći umjetnu inteligenciju za trodimenzionalnu percepciju. Posebno dizajnirana, fleksibilna kontrola kretanja i algoritmi za planiranje putanje daju robotu precizno kretanje između biljaka i jedinstveni dizajn koji odgovara modernom okruženju staklenika. GRoW-ov robot za ubiranje rajčica prepoznaje zrelost po boji određenoj od strane korisnika putem senzora i kamera. Na robotu se nalaze dvije automatizirane “ruke” koje omogućuju ubiranje plodova s obje strane među redovima (slika 14.). Nakon ubiranja robot skladišti plodove u za to predviđene industrijske kutije. Rad robota je optimiziran na 16 radnih sati (MetoMotion, 2023.).



Slika 14. Dvostruke robotske “ruke” MetoMotion
(Izvor: MetoMotion, 2023.)



Slika 15. MetoMotion robot za ubiranje rajčica
(Izvor: The Times Of Israel, 2023.)

4.4 VIRGO

Tvrtka Root AI osnovana je 2018. godine s ciljem automatizacije mehaničkih operacija ubiranja u poljoprivredi. Dizajnirala je poljoprivrednog robota Virgo, koji prepoznaje i ubire plodove poput rajčice, paprike i krastavca. Predviđeno je da robot pronalazi najlakši i najbrži put do ploda. Sastoji se od automatizirane “ruke” i automatizirane hvataljke (slika 17.). Robot koristi skup kamera u kombinaciji s IR (Infrared) laserima kako bi stvorio konačnu trodimenzionalnu sliku koju koristi pri radu. Uz pomoć senzora i unesenih informacija, robot ubire odabrane plodove po zadanoj boji i veličini ploda (Vegetable Growers News, 2021.).



Slika 16. Virgo robot

(Izvor: Vegetable Growers News, 2021.)

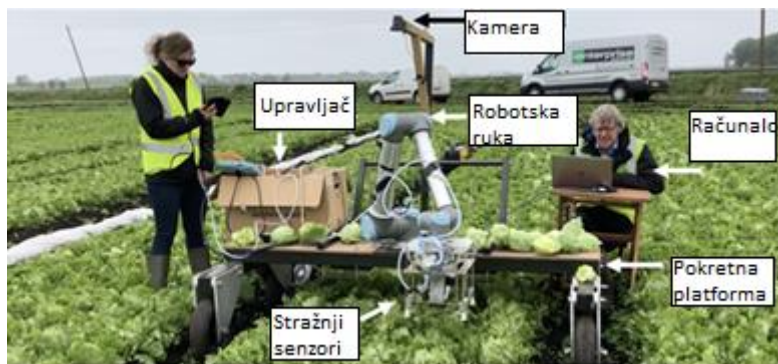


Slika 17. Radni element robota Virgo

(Izvor: Root AI, 2021.)

4.5 ROBOTSKI SUSTAV BERBE SALATE VEGEBOT

Sveučilište Cambridge pokrenulo je istraživanje u robotskoj berbi iceberg salate. Sustav je i dalje u fazi istraživanja i napredovanja unatoč problemima osjetljivosti salate pri ubiranju, te samom identificiranju prikladnosti povrća zrelog za ubiranje. Prikazan sustav (slika 18.) sastoji se od računala koje upravlja softverom, od kojeg dobiva sve potrebne informacije (automatizirane ruke, dvije kamere i radni element stroja). Svi dijelovi nalaze se na pokretnoj platformi. Jedna kamera se nalazi na samom vrhu robota dok je druga ugrađena u radni element stroja. Uz pomoć kamere i senzora olakšano je kretanje robota i samim time prepoznavanje zrelosti salate putem listova (Birrell i Hughes, 2019.).



Slika 18. Sustav Vegebota
(Izvor: Birell i Hughes, 2019.)



Slika 19. Radni element Vegebota

(Izvor: Shropshire Star, 2019.)

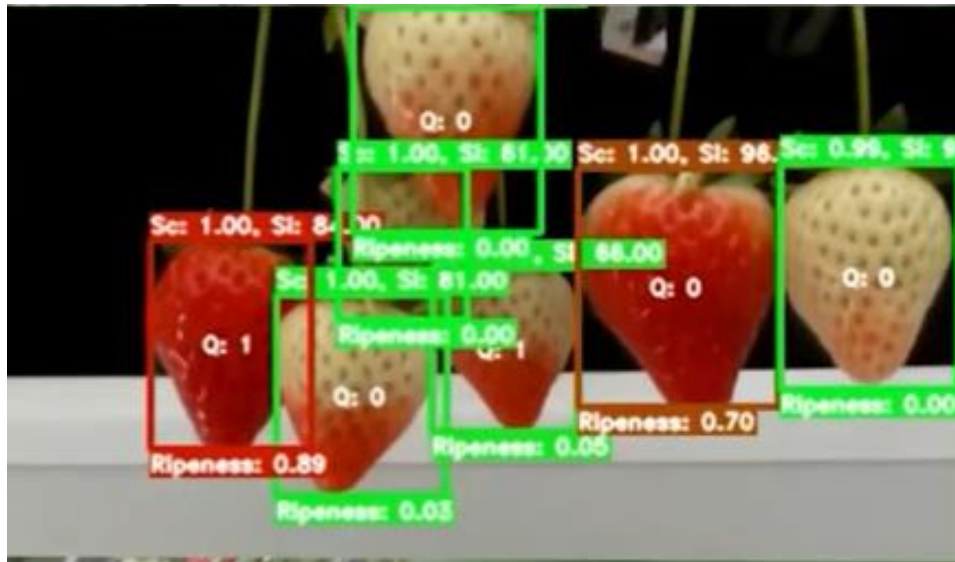
4.6 BERRY

Tvrtka Organifarms osnovana je 2021. godine s ciljem održivije verzije poljoprivrede. Tvrtka Organifarms (2022.) navodi kako je BERRY automatizirani robot za berbu jagoda koji skenira, bere, važe, pakira voće i samostalno se prebacuje u redove po tračnicama u stakleniku.

Interakcija s čovjekom potrebna je samo prilikom promjene baterije i sanduka. Također navodi da robot BERRY može otkriti točnu zrelost svakog ploda uz pomoć senzora (slika 21.), sigurno ih ubrati neposredno iznad ploda kako bi se smanjila vjerojatnost oštećenja i odložiti ih izravno u košare gdje se odmah važu i spremaju za prodaju.



Slika 20. Robot BERRY
(Izvor: Horti Daily, 2022.)



Slika 21. Prikaz prepoznavanja plodova na robotu BERRY
(Izvor: Organifarms, 2022.)

4.7 TORTUGA AGTECH

Tortuga AgTech automatizirani je robot za berbu jagoda i grožđa. Global AgTechnitiative (2024.) navodi kako je robot prvenstveno dizajniran za žetvu, ali također može prikupljati podatke o vremenu, tretirati biljke UV-C svjetlom i vršiti obrezivanje. Tvrtka Tortuga AgTech

(2024.) navodi kako robot koristi kombinaciju senzora, kamere i umjetnu inteligenciju (AI) za samostalno određivanje zrelosti plodova i robotsku ruku pri ubiranju (slika 23.).



Slika 22. Tortuga AgTech robot
(Izvor:Tortuga AgTech, 2024.)



Slika 23. Radni element robota Tortuga AgTech
(Izvor: Robot Agricoli, 2024.)

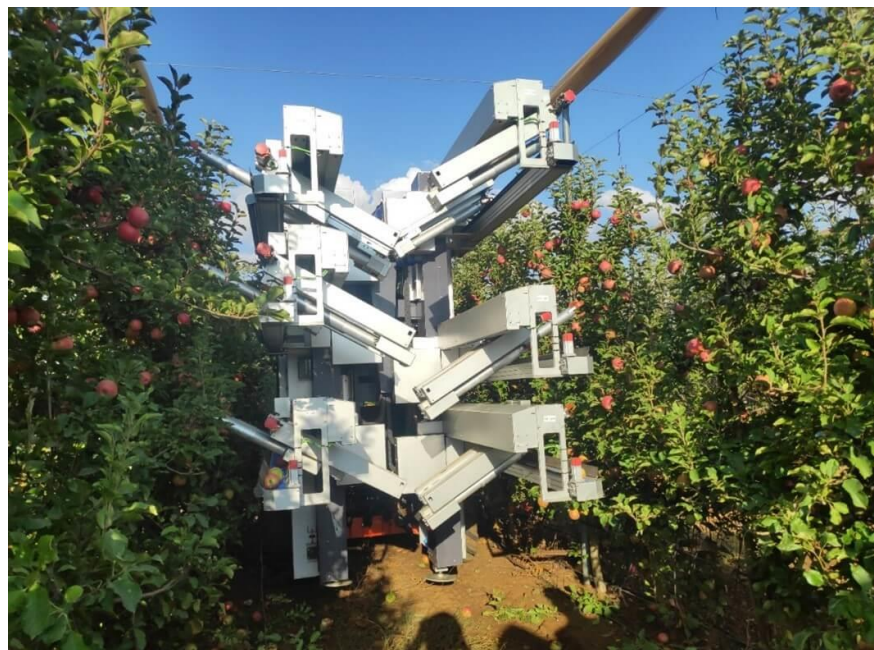
4.8 FRESH FRUIT ROBOTICS

Agromillora (2022.) navodi kako je Fresh Fruit robot (slika 24.) samohodni integrirani sustav koji bere plodove sa stabala i nježno ih dostavlja u spremnike. Sustav se sastoji od hibridne

platforme koja daje snagu, pomiče stroj i rukuje spremnicima s dvanaest automatiziranih robotskih ruku (slika 25.) sa senzorskim sustavima i umjetnom inteligencijom (AI) za berbu voća, te integriranog sustava za rukovanje voćem i punjenje spremnika. Fresh Fruit Robotics (2019.) navodi da iz sigurnosnih razloga jedan nadzornik mora biti na stroju u slučaju kvara i pozicioniranja stroja.



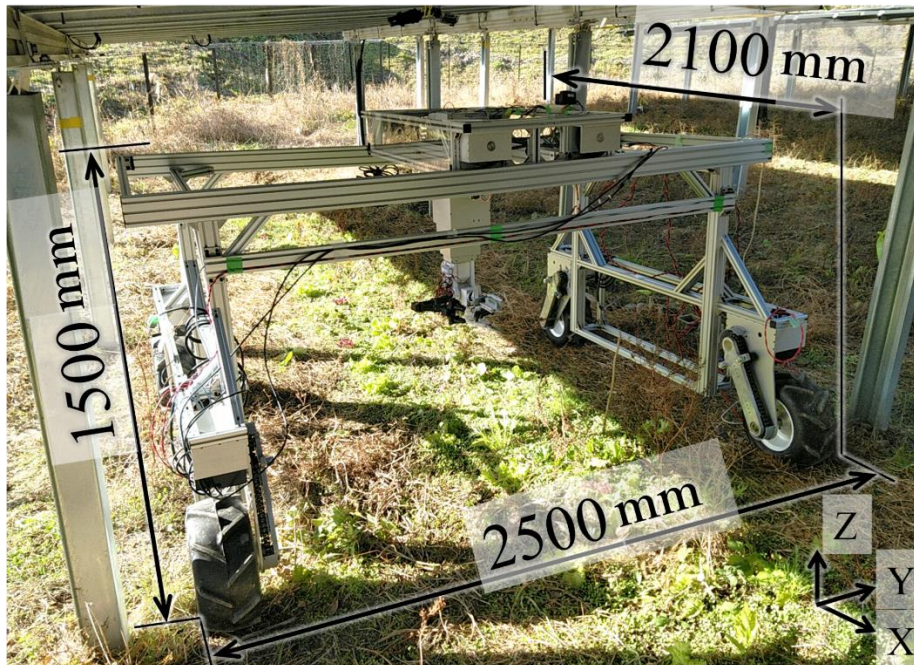
Slika 24. Fresh Fruit robot
(Izvor: Agromillora, 2022.)



Slika 25. Radni element Fresh Fruit robota
(Izvor: Agromillora, 2022.)

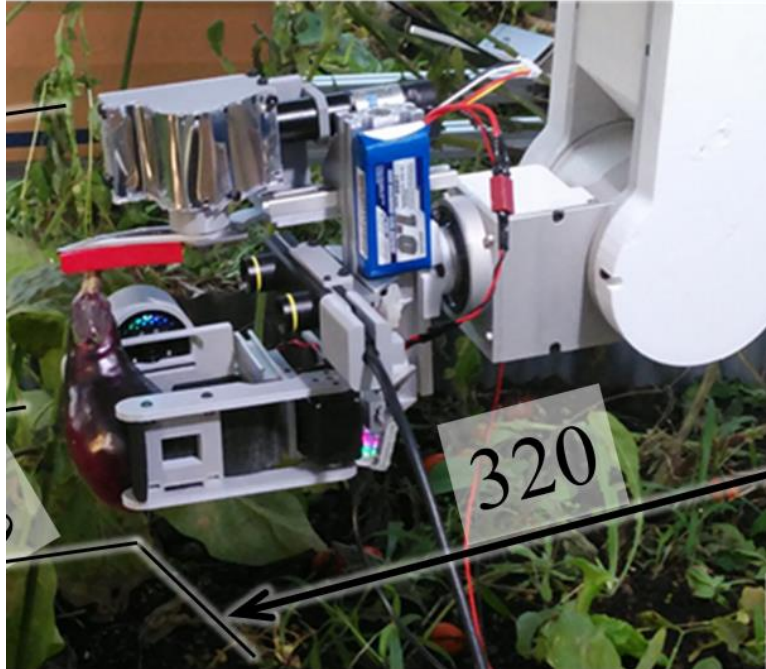
4.9 SYNROBO

SynRobo je automatizirani robot za sjetvu, rezidbu i žetvu. Prema Sveučilištu Waseda (2023.) SynRobo ima mehanizam s četiri kotača koji mu omogućuje kretanje po neravnom terenu, kao i robotsku ruku koja se rasteže i skuplja kako bi pomogla u prevladavanju prepreka. Također koristi kameru za pomoć u navigaciji poljoprivrednim područjem. Sveučilište Waseda (2023.) navodi kako je ovim istraživanjem razvijen poljoprivredni robot koji radi u okruženjima u kojima više vrsta biljaka raste u gustim smjesama, može se koristiti u općoj poljoprivredi kao i u sineko kulturi pri čemu je potrebno mijenjanje potrebnog alata.



Slika 26. Dimenzije robota SynRobo

(Izvor: Waseda University, 2023.)



Slika 27. Radni element robota SynRobo prilikom ubiranja patlidžana
(Izvor: Waseda University, 2023.)

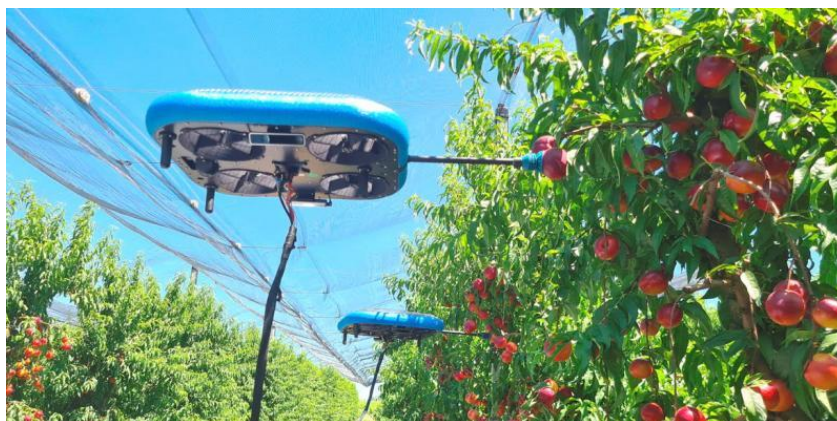
4.10 Tevel Robot

Tevel Aerobotics Technologies (2020.) nalaže kako se leteći automatizirani Tevel Robot (slika 28.) pokreće algoritmima za navođenje i kontrolom koja omogućuju točnost, manevriranje robota te kontinuirano prikupljanje podataka o plodu kojeg uberu. Rene Koerhuis (2020.) navodi kako se robot sastoji od platforme koja služi kao središnji poligon i ujedno izvor energije za koji su vezane najviše šest bespilotnih letjelica koje na sebi imaju ugrađeni radni element za branje određenog voća.



Slika 28. Tevel Robot

(Izvor: Tevel Aerobotics Technologies, 2020.)



Slika 29. Беспилотная летельца с угражденим радним элементом Tevel Robota

(Izvor: Tevel Aerobotics Technologies, 2020.)

5 ZAKLJUČAK

Evolucija tehnika žetve od tradicionalnih ručnih metoda do mehanizirane opreme i trenutni napredak u robotici za žetvu označavaju razvoj koji je neizbježan u poljoprivrednom sektoru. Roboti za žetvu nude brojne prednosti, uključujući povećanu učinkovitost, dosljednu kvalitetu završnog proizvoda, preciznost prilikom ubiranja ploda i dugoročnu isplativost. Razvojem tehnologije pojednostavljuje se proces obavljanja operacije žetve i ubiranja u poljoprivredi. Automatizacija utječe na problem pri pronalasku radne snage za obavljanje poljoprivrednih i tehnoloških operacija poput sjetve, apliciranja gnojiva i pesticida, žetve i ubiranja te navodnjavanja. Pravilnim razvojem automatizacije pri tim operacijama može se doći do velikih ušteda i povećanja točnosti pri obavljanju istih, primjerice znatno brže ubiranje ploda, preciznije prepoznavanje zrelosti ploda, veći kapacitet baterije i time duži rad robota. Unatoč velikim početnim ulaganjima u samoj nabavi robota poput Harvest CROO Robotics, SWEEPER-a i ostalih, njegov dobrobit bio bi vidljiv tijekom i nakon korištenja. Nabava ovakvih robota također ovisi o veličini poljoprivredne čestice kojom se raspolaže, te samim time o isplativosti za pojedinca. Uz samu nabavu troškovi se mogu pojaviti i pri održavanju strojeva i robota što otežava njihov pristup manjim poljoprivrednicima.

International Federation of Robotics izvješće (2023.) navodi kako su Sjedinjene Američke Države vodeća zemlja u korištenju robota za ubiranje kukuruza, s procjenom da roboti ubiru oko 20% ukupne proizvodnje kukuruza u zemlji, dok je Argentina drugi najveći korisnik robota za ubiranje kukuruza, s procjenom da roboti ubiru oko 15% ukupne proizvodnje kukuruza u zemlji. Kina je također značajan korisnik robota za ubiranje kukuruza s procjenom da roboti ubiru oko 5% ukupne proizvodnje kukuruza u zemlji. Španjolska je vodeća zemlja prilikom korištenja robota za ubiranje jabuka i naranči, s procjenom da roboti ubiru oko 30% ukupne proizvodnje jabuka i 20% ukupne proizvodnje naranči u zemlji. Italija koristi robote za ubiranje grožđa, breskvi i nektarina, s procjenom da roboti ubiru oko 15% ukupne proizvodnje grožđa i 10% ukupne proizvodnje breskvi i nektarina u zemlji. Nizozemska koristi robote za ubiranje rajčice, paprike i krastavaca, s procjenom da roboti ubiru oko 20% ukupne proizvodnje rajčice, 15% ukupne proizvodnje paprike i 10% ukupne proizvodnje krastavaca, dok Japan koristi robote za ubiranje jagoda, jabuka i breskvi, s procjenom da roboti ubiru oko 30% ukupne proizvodnje jagoda, 20% ukupne proizvodnje jabuka i 15% ukupne proizvodnje breskvi.

6 POPIS LITERATURE

1. Agroklub: Robotizacija poljoprivrede, (2015.)
[:https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/13-robota-koji-ce-zauvijek-promijeniti-agrar/19762/](https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/13-robota-koji-ce-zauvijek-promijeniti-agrar/19762/)
2. Agromillora: A dream come true: the fresh fruit picking robot 4.8.2022.
<https://www.agromillora.com/olint/en/a-dream-come-true-the-fresh-fruit-picking-robot/>
3. Ahmad, M., Akhtar, A., Khan A., Khan, A.Q, Khan, M.M. Low Cost Semi-Autonomous Agricultural Robots In Pakistan-Vision Based Navigation Department of Electrical Engineering, School of Electrical Engineering and Coputer Science National University of Sciences and Technology, Islambad, Pakistan 2015.
4. Droukas, L., Doulgeri, Z., Tsakiridis, N., Triantafyllou, D., Kleitsiotis, I., Mariolis, I., Giakoumis, D., Tzovaras, D., Kateris, D., Bochtis, D., (2023.): A Survey of Robotic Harvesting Systems and Enabling Technologies. Journal of Intelligent . Journal of Intelligent & Robotic Systems 107(21): 2-29
5. FdataRobot: The Top 10 Factors to Consider When Choosing a Robot Platform, 20. 2. 2023.
<https://www.linkedin.com/pulse/top-10-factors-consider-when-choosing-robot-platform-fdatarobot>
6. Fresh Fruit Robotics: FFRobotics 2020.
<https://www.ffrobotics.com/>
7. Growing Produce: Get in Gear Now for Agriculture's Robotic Revolution, 11.05.2018.
<https://www.growingproduce.com/fruits/get-in-gear-now-for-agricultures-robotic-revolution/>
8. Harvest CROO Robotics: Technology - Harvest CROO, 2022.
<https://www.harvestcroorobotics.com/technology>
9. Henriksen, A., Edwards, G., Green, O., Sørensen C.,: Evaluation of Grain Quality-Based Simulated Selective Harvest Performed by an Autonomous Agricultural Robot, Department of Electrical and Computer Engineering, Aarhus University, 8200 Aarhus, Denmark, 2021.

10. HortiDaily: Robotic strawberry harvester adding more algorithms to improve harvesting precision, 12. 07. 2024.
<https://www.hortidaily.com/article/9454629/robotic-strawberry-harvester-adding-more-algorithms-to-improve-harvesting-precision/>
11. International Federation of Robotics (IFR): World Robotics 2023. Report. 26.9.2023.
<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>
12. Israel Agri: SWEEPER - The first robot capable of selecting and picking ripe sweet peppers, 2024. <https://israelagri.com/sweeper-the-first-robot-capable-of-selecting-and-picking-ripe-sweet-peppers/>
13. Jacob Diamond: History of the Combine Harvester,
<https://www.timetoast.com/timelines/history-of-the-combine-harvester>
14. Manly Battery: Uvod U Klasifikaciju Poljoprivrednih Robota, 2021.
: <https://ba.manly-battery.com/info/introduction-to-the-classification-of-agricult-64100783.html>
15. MeccagriCloud: Tortuga AgTech: Massima Precisione Ed Efficienza Per I Robot Raccoglitori Di Frutta. 2.5. 2024.
<https://www.meccagri.cloud/tortuga-agtech-massima-precisione-ed-efficienza-per-i-robot-raccoglitori-di-frutta/>
16. MetoMotion: Advanced robotics platform for precision greenhouse farming 2023.
<https://metomotion.com/#/>
17. Moj Posao: Sezonske berače će zamijeniti roboti, 08.06.2020.
<https://www.moj-posao.net/Vijest/79485/Sezonske-berace-ce-zamijeniti-roboti/2/>
18. Moravec, H. (1988.): Sensor Fusion in Certainty Grids for Mobile Robots. AI Magazine, 9(2): 61-74
19. Otani, T., Itoh, A., Mizukami, H., Murakami, M., Yoshida, S., Terae, K., Tanaka, T., Masaya, K., Aotake, S., Funabashi, M., Takanishi, A. (2023.): Agricultural Robot under Solar Panels for Sowing, Pruning, and Harvesting in a Synecoculture Environment. Waseda Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Tokyo 169-8555, Japan.

20. Oregon State University: The invention of the rice transplanter by farmers, 2018.
<https://extension.oregonstate.edu/node/116621/printable/print>
21. Organifarms: Strawberry Harvesting Robot. 2021.
<https://www.organifarms.de/product>
22. Owl Connected: The Harvest CROO Robotics vehicle wants to revolutionize how we pick berries, 2022.
<https://owlconnected.com/arcuhives/robot-strawberry-picker>
23. Plant Planet: A Brief History of the Combine Harvester, 04.07.2021.
<https://www.plant-planet.co.uk/a-brief-history-of-the-combine-harvester/>
24. Popović, M. (1996.) Senzori u robotici. Viša Elektrotehnička škola, Beograd, Vojvode Stepe 283.
25. Robotics Plus: Picking the way to a better asparagus future with robotic harvesting, 17.8. 2021.
<https://www.roboticsplus.co.nz/news/picking-the-way-to-a-better-asparagus-future-with-robotic-harvesting/>
26. Root AI: Technology - Root AI, (2023.): <https://root-ai.com/>
27. Saeed, M. Kellogg, Labour shortage : The role of technology led innovation in the kiwifruit industry, Kellog Rural Leadership Programme: 2021.
28. Sounding Journal, Tomatoes in the Delta, Revolution in the Tomato Industry, 21.8. 2019.
<https://soundingsmag.net/2019/08/21/tomatoes-in-the-delta-part-2-of-2/>
29. Tamaki, K., Nagasaka, Y., Nishiwaki, K., Saito, M., Kikuchi, Y., Motobayashi K.: A Robot System for Paddy Field Farming in Japan, National Agriculture and Food Research Organization Tsukuba, Japan, 2013.
30. The Robot Report,.: Root AI acquired by App Harvest, 08.05. 2021.
<https://www.therobotreport.com/root-ai-acquired-by-appharvest-for-60m/>
31. The Salt: Robots Are Trying To Pick Strawberries 20.03.2018.
<https://www.npr.org/sections/thesalt/2018/03/20/592857197/robots-are-trying-to-pick-strawberries-so-far-theyre-not-very-good-at-it>
32. The Times of Israel: Israeli startup develops first AI robot for picking tomatoes 2.2.2023.
<https://www.timesofisrael.com/israeli-startup-develops-first-ai-robot-for-picking-tomatoes/>

33. Unimate: The First Industrial Robot, 2023.:
<https://www.automate.org/robotics/engelberger/joseph-engelberger-unimate>
34. Vegetable Growers News: AppHarvest acquires Root A1 and its signature data - collecting robot, Virgo, 09.05.2021. :
<https://vegetablegrowersnews.com/news/appharvest-acquires-root-a1-and-its-signature-data-collecting-robot-virgo/>
35. Wageningen University & Research: SWEEPER, the sweet pepper harvesting robot, (2020.)
<https://www.wur.nl/en/project/sweeper-the-sweet-pepper-harvesting-robot.htm>
36. Waseda University: A Sowing Pruning, and Harvesting Robot for Synecoculture Farming
37. Zhang, Z., Noguchi, N., Ishii, K., Yang, L., Zhang, C. Development of a Robot Combine Harvester for Wheat and Paddy Harvesting. Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Japan. (2013.)
38. Zimmer, D., Jurišić, M., Plaščak, I., Barač.Ž., (2016.): Tehnički i tehnološki čimbenici gnojidbe primjenom GIS tehnologije u poljoprivredi, Poljoprivredni fakultet Osijek, 2016.