

Analiza rada robota u kultivaciji biljaka

Stranjik, Karlo

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:151:372504>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



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

Karlo Stranjik

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Analiza rada robota u kultivaciji biljaka

Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Karlo Stranjik

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Analiza rada robota u kultivaciji biljaka

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. Tomislav Jurić, član

Osijek, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Završni rad

Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek

Prijediplomski sveučilišni studij Poljoprivreda Smjer Mehanizacija

Karlo Stranjik

Analiza rada robota u kultivaciji biljaka

Sažetak: Kultivacija je jedna od uobičajenih i glavnih poljoprivrednih aktivnosti koja zahtjeva veliki udio ljudskog rada i vremena, a samim time i novca. Robot za kultivaciju suvremeni je stroj koji pomaže smanjiti potrebno vrijeme, rad, novac ali i najvažnije smanjiti ili potpuno zamijeniti upotrebu zaštitnih sredstava. Zahvaljujući suvremenim tehnologijama i upotrebom senzora, RTK signala i GPS sustava omogućeno je pravovremeno djelovanje, veća produktivnost, ekološki i cjenovno prihvatljivija proizvodnja što je nužno za budućnost poljoprivredne proizvodnje.

Ključne riječi: kultivacija, robot, senzor, korov

Broj stranica: 28

Broj tablica: 4

Broj grafikona i slika: 24

Broj literaturnih navoda: 40

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Final work

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Undergraduate study Plant production Course Mechanization

Karlo Stranjik

Analysis of the work of robots in the cultivation of plants

Abstract: Cultivation is one of the common and main agricultural activities that requires a large share of human labor and time, and therefore money. The cultivation robot is a modern machine that helps to reduce the required time, work, money, but most importantly, to reduce or completely replace the use of protective agents. Thanks to modern technologies and the use of sensors, RTK signals and GPS systems, timely action, higher productivity, environmentally friendly and more affordable production are possible, which is necessary for the future of agricultural production.

Keywords: cultivation, robot, sensor, weeds

Number of pages: 28

Number of tables: 4

Number of figures: 24

Number of references: 40

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

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. DIJELOVI I PRINCIP RADA ROBOTA | 2 |
| 2.1. Princip rada robota | 3 |
| 2.2. Senzori i obrada signala | 5 |
| 2.3. Enkoderi ili pretvornici pomaka | 7 |
| 2.4. Senzori smjera | 7 |
| 3. ROBOTI ZA KULTIVACIJU | 9 |
| 3.1. Roboti za kultivaciju mehaničkim putem | 9 |
| 3.1.1. OZ | 10 |
| 3.1.2. Dino..... | 11 |
| 3.1.3. Ted | 13 |
| 3.1.4. Tertil..... | 15 |
| 3.1.5. Trabotyx | 16 |
| 3.2. Roboti za kultivaciju laserskim putem | 17 |
| 3.2.1. Carbon Robotics..... | 17 |
| 3.2.2. Ultron | 18 |
| 3.2.3. Crop Shepherd | 19 |
| 3.3. Roboti za kultivaciju kemijskim putem | 20 |
| 3.3.1. Intelligentsharpshooter | 20 |
| 3.3.2. Small Robot Company | 21 |
| 3.3.3. ARA | 22 |
| 3.3.4. AX – 1 | 23 |
| 3.3.5. VegeBot..... | 24 |
| 4. ZAKLJUČAK | 25 |
| 5. LITERATURA | 26 |

1. UVOD

Poljoprivreda je jedna od najstarijih ljudskih djelatnosti u svrhu proizvodnje hrane za ljude ali i životinje. Iako je u početku podrazumijevala sakupljanje hrane, danas je ona vrlo složena djelatnost. Naročito u zadnjih nekoliko desetljeća poljoprivreda se razvija velikom brzinom, tako je došlo i do upotrebe robota u poljoprivrednim zadacima. Jedan od ključnih zadataka u proizvodnji hrane je kultivacija biljaka. U svrhu zaštite i očuvanja okoliša cilj je u što većoj mjeri smanjiti upotrebu kemijskih sredstava. Tako su stručnjaci shvatili kako bi roboti mogli biti vrlo dobro i učinkovito rješenje u navedenom problemu. Već duže vremena roboti su prihvaćeni i uobičajeni u nekim poslovima i aktivnostima kao što je kultivacija, sjetva ili sadnja u poljoprivredi, automobilska industrija te razna proizvodnja naročito u razvijenim i naprednim zemljama. U nekim poslovima roboti su djelomično ali čak i potpuno zamijenili ljudski faktor i radnu snagu.

Moderan način života doveo je do potrebe za uvođenjem tehnologije u sve segmente života i svakodnevice pa tako i u poljoprivredni sektor, kako bi mogao zadovoljiti sve potrebe čovječanstva uz pomoć najmodernijih strojeva. Od potpuno ručnog obavljanja poljoprivrednih poslova, zatim pomoću životinja, pa pomoću strojeva tehnologija je napredovala do poljoprivrednih robota i umjetne inteligencije. Poljoprivredni roboti su strojevi koji obavljaju poslove samostalno, bez neposrednog upravljanja ljudi pa tako i smanjuju potrebu za ručnim radom, odnosno ljudskom radnom snagom. Potpuno su autonomni u kretanju, a svoj položaj određuju pomoću GPS RTK signala te pomoću kamera i senzora. Od davnih početaka poljoprivrede provodilo se suzbijanje korova i zaštita usjeva kako bi se izbjegli gubici prinosa ili kako bi se sveli na minimum. U početku je to bilo ručno suzbijanje korova u raznim oblicima, kao npr. mehanička kontrola, fizička kontrola, kemijska kontrola, biološka kontrola s različitim stupnjem upotrebe i razvoja tehnologije.

2. DIJELOVI I PRINCIP RADA ROBOTA

Robotski sustavi se aktivno implementiraju u svim sferama ljudske djelatnosti. U mnogim industrijama, korištenje robota može osloboditi ljude monotonog, teškog i iscrpljujućeg rada (Barbashov i Barkova, 2021.). Poljoprivredni robot je stroj koji obavlja određene poslove u poljoprivredi. Glavne karakteristike robota su dugoročni manji troškovi i smanjenje ljudskog rada (Jelovčan i sur., 2020.), a jedna od glavnih odlika robota je i manje zbijanje tla (Melander i McCollough, 2021.). Znanost koja se bavi proučavanjem i istraživanjem robota naziva se robotika, a ona objedinjuje mehaniku, elektroniku, računarstvo i informacijske sustave. Osnovna podjela robota je prema stupnju samostalnosti tako postoje industrijski roboti i autonomni mobilni roboti. Osnovni dijelovi robota su kontrolna jedinica, upravljački softver, akumulatori (najčešće elektromotori) i senzori. Upotrebljavajući senzore robot omogućuje kreiranje karata u biljnoj proizvodnji (Zimmer i sur., 2021.). Robotski sektor ima poteškoća s rukovanjem stalno promjenjivim okruženjem poljoprivrednih polja, a potpuno automatizirani sustavi možda neće postojati dugi niz godina (Machlebi sur., 2020.). Jedan od glavnih problema poljoprivrednog robota je što dijele iste platforme s komercijalnim istraživačkim robotima ili industrijskim mobilnim robotima (Fan i sur., 2017.). Najčešće se koriste mobilne platforme kao uređaj za kretanje, a na njega su ugrađeni razni manipulatori koji se mogu kretati u različitim ravninama i izvršiti potrebne operacije (Barbashov i Barkova, 2021.). Precizno suzbijanje korova na usjevima povrća može značajno smanjiti upotrebu herbicida. Brzo i točno otkrivanje korova na proizvodnim površinama povrća zahtjevan je zadatak zbog prisutnosti velikog broja vrsta korova u različitim fazama rasta i gustoće (Jin i sur., 2022.). zadnjih nekoliko desetljeća znanstvenici su se okrenuli robotskom upravljanju s razvojem tehnologije i traženje alternativnih metoda za kemijska sredstva (Çolaki Isik, 2021.). Kako bi došlo do potpune uporabe robota u poljoprivredi potrebno je riješiti tri ključna izazova: obrada podataka, obuka rukovatelja i implementacija u stvarnom svijetu (Du i sur., 2021.). Na slici 1. prikazan je robot kojega su razvili istraživači sa Sveučilišta Illinois Urbana-Champaign koji obavlja agrotehničku operaciju kultivaciju.



Slika 1. Poljoprivredni robot u kultivaciji

(Izvor: <https://www.no-tillfarmer.com/articles/11747-toy-sized-tractor-drones-aim-to-inspect-crops-plant-covers>)

2.1.Princip rada robota

Princip rada robota temelji se na prikupljanju podataka sensorima. Mobilnost robota upravljano je korištenjem daljinskog upravljača kojeg čini tipkovnica spojena na mikrokontroler, što omogućuje rukovatelju da upravlja robotom a da nije u njegovoj blizini. Robot je sastavljen od istosmjernih motora za kretanje i radio frekvencijskog prijemnika kako bi primio podatke. Kako bi se nesmetano kretao, robotu je potrebno više senzora i kontrola koji omogućuju kretanje u nepoznatom okruženju (Tinoco. i sur., 2021.). Glavni dijelovi svakog robota su: senzori, kontroleri, pogon i krajnji izvršni elementi, a svi dijelovi robota prikazani su na slici 2. Podaci prikupljeni iz senzora šalju se u obliku elektroničkog signala u računalo i time se omogućuje kretanje upotrebom robotskog upravljača (Knežević, 2023.).

Legenda slike 2.

DC Motor = Istosmjerni motor

Motor drive = Motorni pogon

Microcontroller unit = Mikroupravljačka jedinica

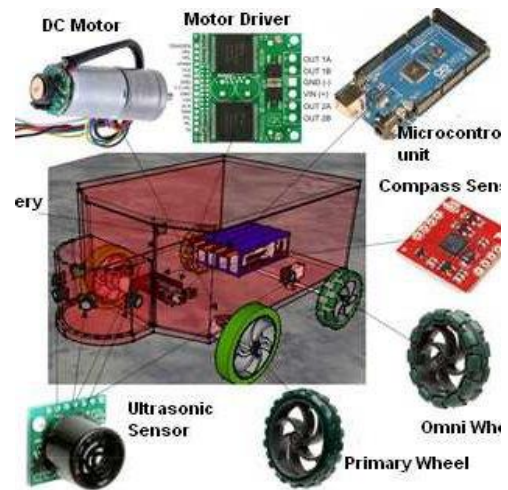
Compass sensor = Senzor kompasa

Battery = Baterija

Ultrasonic sensor = Ultrazvučni senzor

Primary wheel = Primarni kotač

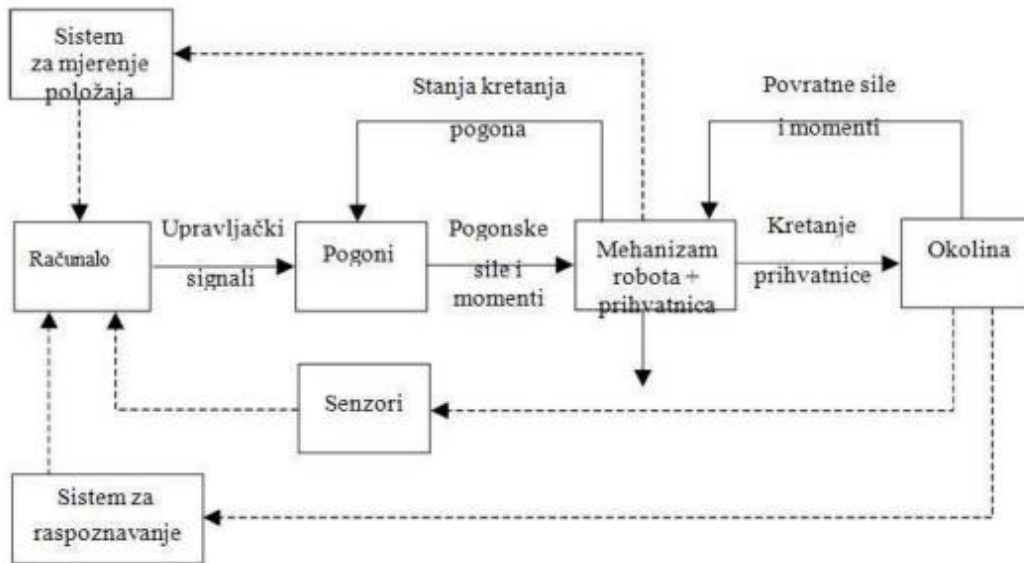
Omni wheel = Omni kotač



Slika 2. Robot kontroliran arduinom i njegovi dijelovi za kretanje

(Izvor: Kolarik, 2023.)

Postoji širok raspon dostupnih senzora uključujući analizu slike kamerom, GNSS, laserske i ultrazvučne sustave koji mogu poboljšati učinkovitost suzbijanja korova u kombinaciji s mehaničkim sustavima. Svaki tip senzora ima svoje prednosti i nedostatke (Machleb i sur., 2020.). Zbog radnih uvjeta na kojima poljoprivredni roboti u pravilu rade postoji veliki problem s vizualnim sensorima, jer vrlo lako može doći do njihovog onečišćenja te u takvim uvjetima davati kriva očitavanja (Čolak i Isik, 2021.). Jedan od problema je što ne postoji dovoljno velik skup slikovnih podataka realističnih polja, uključujući usjeve i korov, izobličenje, sjene i zamućenost pokreta (Du i sur., 2021.). Svaki robot sastoji se od mikrokontrolera i uređaja za unos podataka poput tipkovnice, baterije, DC motora, radiofrenkvencijskog prijemnika, pneumatskog kompresora, spremnika za zrak, hodnog mehanizma (kotači, gusjenice) i okvira/platforme na kojoj je sve to postavljeno (Zimmer i sur., 2021.). Na slici 3 prikazana je blok shema principa rada robota.



Slika 3. Prikaz blok sheme principa rada robota





(Izvor: Markač, 2017.)

2.2. Senzori i obrada signala

Senzori su vrlo važan dio autonomnih mobilnih robota, jer omogućavaju prikupljanje podataka o sebi i okolini. Senzori koji se koriste su vrlo različiti i može ih se generalno podijeliti na dva načina:

1. prema funkciji: mjerenje unutarnja stanja robota, npr. brzinu i napon baterije i podaci koji dolaze iz okoline, npr. senzori udaljenosti.
2. prema izvoru napajanja: na pasivne koji zahtijevaju stalno napajanje strujom i mjere "energiju" koja dolazi iz okoliša, npr. kapacitivni i induktivni senzori i nasuprot njima aktivne koji ne zahtijevaju stalno napajanje energijom i emitiraju signale u okoliš, te mjere reakciju okoliša, npr. elektromagnetski i termoelektrični senzori, a svi su prikazani u tablici 1. (Martić, 2021.).

Tablica 1. Vrste pasivnih i aktivnih senzora

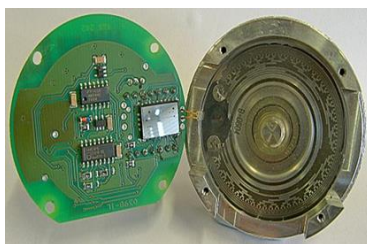
| | |
|--|---|
|  |  |
| <p style="text-align: center;">Kapacitivni senzor</p> <p>(Izvor: https://hr.elmarkstore.eu/kapacitivni-senzor-el-cm18-3008na-product24336)</p> | <p style="text-align: center;">Induktivni senzor</p> <p>(Izvor: https://webshop.rexel.hr/hr/shop/industrija-w04/senzori-i-sklopke-w0407/induktivni-senzor-prisutnosti-telemechanique-indikator-priblizavanja-indukt-30mm-20mm-pnp-kabel-12v-dc-sazeto-1138089)</p> |
|  |  |
| <p style="text-align: center;">Elektromagnetski senzor</p> <p>(Izvor: https://www.sensatec.co.jp/e/products/detail.php?product_id=79)</p> | <p style="text-align: center;">Termoelektrični senzor</p> <p>(Izvor: https://www.oceanproperty.co.th/th/)</p> |

Računalnom obradom signala dobivenih sa senzora moguće je dobivene informacije iskoristiti za razne primjene (npr. podatke sa senzora udaljenosti se primjenjuje kod lokalizacije, autonomne navigacije i mapiranja). Ovisno o vrsti senzora, njihove izlazne signale je potrebno obraditi na različite načine kako bi se iz njih izvukle odgovarajuće informacije (Kružić, 2018.).

2.3. Enkoderi ili pretvornici pomaka

Enkoderi su mjerni pretvarači koji mehaničko kretanje pretvaraju u električni signal čitanjem kodiranog uzorka. U kontekstu mobilnih robota enkoder je senzor koji služi za dobivanje položaja, a posljedično i kutne brzine kotača, na način da pretvara okretanje kotača u analogni ili digitalni signal. Postoje dvije osnovne vrste enkodera prema načinu rada: magnetski i optički enkoderi. Magnetski enkoderi rade na principu da detektiraju promjene rezonantne frekvencije, magnetizacije ili magnetsku zasićenost (Stracenski, 2019.).

Sastoje se od metalnog diska koji je magnetiziran po svom opsegu s promjenjivim polovima, te senzora koji očitava promjenu u magnetskom polju te je pretvara u signal. Magnetni enkoder vidljiv je na slici . Kod optičkih enkodera, disk je napravljen od plastike, a po rubu se nalaze naizmjenično prozirne i neprozirne zone, te LED diode koja emitira svjetlo i fotodiode, koja detektira reflektirano svjetlo za vrijeme prozirne zone, dok ne reflektira ništa za vrijeme neprozirne zone, te tu informaciju pretvara u signal. Postavljaju se na osovinu motora koji pokreće kotače robota, a koriste se za mjerenje udaljenosti (kuta) koju je kotač prešao (Kružić, 2018.). Primjer enkodera prikazan je na slici 4.



Slika 4. Enkoder

(Izvor: Pretvornik_pomaka#/media/Datoteka:Gray_code_rotary_encoder_13-track_opened.jpg)

2.4. Senzori smjera

U senzore smjera koji se koriste u robotici ubrajaju se žiroskopi i magnetometri. Žiroskop zadržava svoju orijentaciju u odnosu na fiksni referentni sustav, pa su stoga pogodni za

mjerenje smjera pokretnog sustava. Može ih se podijeliti na mehaničke i optičke žiroskope (Izvor: <https://www.britannica.com/technology/gyroscope>).

Mehanički žiroskop sastoji se od rotirajućeg diska koji je pričvršćen na osovinu tako da može mijenjati os vrtnje, a njegovi dijelovi prikazani su na slici 6. Osim mogućnosti okretanja oko svoje osi, žiroskop ima barem još jedan stupanj slobode kretanja. Na taj način žiroskop dobiva svojstva velike stabilnosti. Optički žiroskopi su inovacije novijeg datuma, a zasnivaju se na mjerenju kutnih brzina na temelju emitiranja jednobojskih zraka svjetla (lasera) iz istog izvora, jednu u smjeru vrtnje, a jednu u suprotnom smjeru kroz optičko vlakno. Laserska svjetlost koja putuje u smjeru vrtnje će na određite doći nešto ranije od one koja putuje u suprotnom smjeru zbog nešto kraće putanje, pa će zato imati višu frekvenciju (Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5677445/>).

Magnetometar, uređaj prikazan na slici 5., mjeri smjer i iznos magnetske indukcije određenog magnetskog polja, a temelji se na Hallovom efektu i magnetskom otporu. Hallov efekt pojava je u kojoj dolazi do induciranja napona u vodičima i poluvodičima uslijed prisutnosti statičkog magnetskog polja (Petrović i Vasiljević, 2023.).



Slika 5. Magnetometar

(Izvor: <http://novotest.biz/gaussmeter-magnetometer-novotest-mf-1-2/>)

Hallov senzor prikazan je na slici 7. Magnetometri koje rade na magnetno-otpornom principu su napravljeni od materijala koji s promjenom magnetskog polja mijenja svoj otpor. Osjetljivost im je usmjerena duž jedne od osi, a moguće je proizvesti i 3D varijante senzora. Rezolucija mu je oko 0.1 piksela, a brzina odziva mu je oko 1 μ s (Izvor: <https://www.hwlibre.com/hr/senzor-Hall-efekta/>).

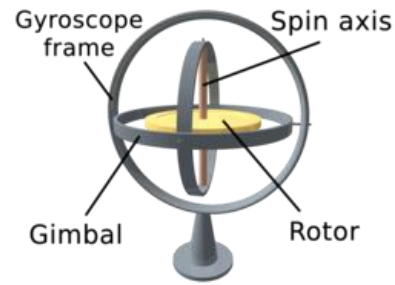
Legenda slike 6.

Gyroscope frame= okvir žiroskopa

Spinaxis= osovina vrtnje

Gimbal= gimbal

Rotor= rotor



Slika 6. Žiroskop

(Izvor:<https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDiroskop>)



Slika 7. Hallov senzor

(Izvor: <https://hr.seolearnbd.com/topics/3629-what-is-the-hall-sensor>)

3. ROBOTI ZA KULTIVACIJU

U idućim poglavljima biti će pojašnjeni i prikazani roboti za kultivaciju mehaničkim, laserskim i kemijskim putem.

3.1. Roboti za kultivaciju mehaničkim putem

Autonomni robotski sustav kontrole korova opće namjene čine četiri tehnologije: navigacija, otkrivanje i identifikacija korova, pozicija korova u usjevu i kartiranje. Dugo vremena je prepreka uspješnom korištenju robota za uništavanje korova bila pouzdanost u otkrivanju i identifikaciji vrste korova u različitim fazama rasta, ali nove generacije računalno upravljanih robota mogu prepoznati i ukloniti korov udaljen svega 1 cm od biljke bez njenog oštećenja, npr. mlade rajčice ili salate. Poljoprivredni roboti opremljeni takvom tehnologijom „strojnog vida“ mnogo su pouzdaniji pa čak i kod brzina rada od 4 km/h ili više (Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8669031/>).

3.1.1. OZ

Robot OZ je multifunkcionalni poljoprivredni robot koji radi potpuno autonomno zahvaljujući svom GPS sustavu navođenja sa RTK korekcijom. OZ prati usjev i navodi se kroz redove. Namijenjen je održavanju malih vrtova i manjih plastenika za uzgoj povrća. Robot OZ može biti agregatiran s nekoliko priključnih oruđa, to su: sijačica, drljača - češalj, drljača s pet zuba (motičica), zupčasta rotirajuća drljača i kultivatorska motičica. Tablica 2. prikazuje tehničke karakteristike OZ-a. (Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>).

Tablica 2. tehničke karakteristike robota OZ

| | |
|----------------------------------|------------|
| Dužina (cm) | 130 |
| Širina (cm) | 47 |
| Visina (cm) | 83 |
| Masa (kg) | 150 |
| Radni učinak (m ² /h) | 1000 |
| Pogon | Električni |
| Autonomija baterije (sati) | 8 |
| Brzina (km/h) | Do 1.8 |
| Sustav navođenja | RTK i GPS |

(Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>)

Na slici 8. prikazan je robot u radu prilikom kultivacije, gdje se jasno vide bočne zaštite za kotače koje sprječavaju da robot gazi list kod kulture koja se obrađuje, dok je na slici 9. prikazan robot OZ u sjetvi.



Slika 8. Robot Oz u kultivaciji

(Izvor: Törtei, 2016.)



Slika 9. Robot Oz u sjetvi

(Izvor: Törtei, 2016.)

3.1.2. Dino

Robot Dino namijenjen je kontroli korova na većim površinama za uzgoj povrća, pokreću ga četiri elektromotora koji razvijaju brzinu do 4km/h. Robot Dino autonomno upravlja na proizvodnoj površini s preciznošću od 2 cm zahvaljujući sustavu navođenja koji kombinira informacije GPS-a sa RTK korekcijom i drugih senzora. Dino detektira redove usjeva i prilagođava alate za plijevljenje korova što je moguće bliže biljkama a da ih ne ošteti. Zahvaljujući inovativnom korisničkom sučelju, robot Dino je jednostavan za korištenje, a opremljen je brojnim sigurnosnim sustavima kao što je sigurnosni sustav sa odbojnikom, LIDAR tehnologija i „et geo fencing“ modul. Robot Dino kao i OZ proizvod su francuskog start-upa Naïo Technologies. Robot Dino se koristi na raznim kulturama kao što su salata, rajčica, češnjak, kupus, papar i celer i u različitim uvjetima tla. Robot Dino ima nekoliko

nastavaka koji služe za kultivaciju i odstranjivanje korova, a to su: klasične kultivatorske motičice (pačje ili gušće noge), postrane britve odnosno jednostrano režuće noževe, rotirajuće motike i prsti motike (Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>).
 Tablica 3. prikazuje tehničke karakteristike robota Dino

Tablica 3. Tehničke karakteristike robota Dino

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Središnji razmak kotača (cm) | 160-220 |
| Navigacija | GPS RTK |
| Autonomija (sati) | 10 do 12 |
| Pogon | Električni |
| Brzina (km/h) | Do 4 |
| Masa (kg) | 1250 |
| Radni učinak (ha/dan) | Do 10 |
| Sigurnost | Nadzor alata, branici, laser |

(Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>)

Slika 10. prikazuje robota Dino pri međurednoj kultivaciji salate. Jedna od glavnih radnih karakteristika je veliki radni zahvat što omogućuje visoku eksploataciju i učinkovitost stroja.



Slika 10. Robot Dino u kultivaciji salate

(Izvor: <https://hortnews.com/a-question-of-automation-and-robotics-in-horticulture/the-naio-technologies-dino-weed-control-robot/>)

Slika 11. prikazuje robota Dino u nasadu salate koji prilikom prolaska prikuplja podatke i mapira usjev. Senzori i kamere detektiraju i prepoznaju svaku biljku.



Slika 11. Mapiranje usjeva i prikupljanje podataka

(Izvor: YT/ScreenShot/<https://www.youtube.com/watch?v=fW7UVHz9QYA>)

3.1.3. Ted

Ted, prvi robot dizajniran za njegu vinograda prikazan na slici 13., predstavlja alternativu za korištenje herbicida. Ted je robot jednostavan za upotrebu, jer njegov univerzalni montažni okvir nudi mogućnost prilagodbe raznim alatima. Alati koji se koriste na Tedu su: prsti motike, nazubljeni diskovi (klasični tanjuri za tanjuraču manjeg promjera), diskove za razbijanje grudva i mehanički alat za vinovu lozu. Mehanički alat za vinovu lozu je alat, priključak koji je dizajniran da ispred kultivatorskih motičica ima dvije opruge koje prate trsove vinove loze i tako skupljaju ili šire motičice kako ne bi došlo do oštećenja korijena. Nazubljeni diskovi rade u kombinaciji sa mehaničkim alatom za vinovu lozu, a služe za nagrtanje zemlje. Slika 12. prikazuje takav alat (Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>).



Slika 12. Mehanički alat za vinovu lozu

(Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>)

Zahvaljujući trajanju baterije i do 8 h sa jednim punjenjem te radne brzine do 6 km/h, robot Ted daje relativno dobar radni učinak na dan od 5 ha. Robot Ted zbog svoje visine (200 cm +/- 30 cm,) radi na principu da „zajaše“ red, a zahvaljujući GPS tehnologiji samostalno se okreće na kraju reda i ulazi u novi. Princip rada RTK i GPS isti je na robotima Ted i Dino, poljoprivrednik kreira kartu svake parcele na kojoj robot treba okopavati, i putem USB-a tu kartu unosi u robota (Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>). Tablica 4. prikazuje tehničke karakteristike robota Ted.

Tablica 4. tehničke karakteristike robota Ted.

| | |
|-------------------|------------------------|
| Širina (cm) | 142 – 185 (podesivo) |
| Visina (cm) | 200 (+/- 30 podesivo) |
| Dužina (cm) | 450 |
| Masa (t) | 1,7 |
| Pogon(vrsta) | Električni |
| Navigacija | GPS i RTK |
| Autonomija (sati) | Do 8 |

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Radni učinak (ha/dan) | Do 5 |
| Brzina (km/h) | Do 6 |
| Trakcija (%) | Do 30 nagiba terena |

(Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>)



Slika 13. Kalibracija radnog organa kod robota Ted

(Izvor: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>)

3.1.4. Tertil

Tertill je kompaktan i učinkovit robot konstruiran za kućnu upotrebu na malim vrtovima. Za pokretanje koristi solarni pogon, a otporan je na vremenske uvjete. Proizvođač navodi kako je za Tertila potrebna ravna površina ograđena preprekama do 10 cm kako Tertil ne bi „pobjegao“. Osim ravne površine i ograđenog vrta preprekama male tek iznikle biljke potrebno je zaštititi ,jer Tertil ne razlikuje kulturne biljke od korova nego radi na principu odsijecanja svega preko čega može proći. Tertil ima u sebi ugrađene ultrazvučne senzore (kao i na automobilu), pomoću kojih prepoznaje sve što je visoko i od toga se odmiče, a sve niže što senzori ne registriraju uništava. Tertil je opremljen plastificiranim nitima koje su smještene s donje strane robota i vrte se velikom brzinom i odsijecaju korov. Plastificirane niti potrebno je mijenjati kada se potroše. Robot je dizajniran tako da i plastični kotači služe za uništavanje korova, odnosno njegovog sjemena (Izvor: <https://tertill.com/>).Slika14. pokazuje sve dijelove robota Tertila.

Legenda slike 14.

Status indicator= indikator statusa

Power button= gumb za napajanje

Solar cell= solarna ćelija

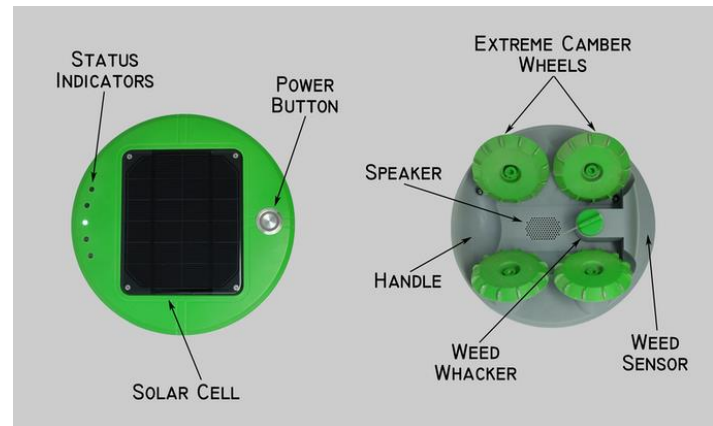
Extreme camber wheels= kotači s ekstremnim nagibom

Speaker= zvučnik

Weed whacker= nosač silka za rotacijsko rezanje korova

Handle= ručka

Weed sensor= senzor korova



Slika 14. Robot Tertil (Izvor: <https://tertil.com/>)

3.1.5. Trabotyx

Trabotyx je robot dizajniran za kultivaciju mrkve, crvene cikle i pastrnjaka, a prikazan j na slici 15. Dnevni učinak ovog robota je 1ha za 18 h rada što znači da jedan robot može zamijeniti 4 osobe u radu. Bateriju robota potrebno je mijenjati svaka 4 h, a promjena je jednostavna i obavlja se za 5 min. Također dostupna je izvedba i sa solarnim napajanjem pa nije potrebno mijenjati baterije(Izvor: <https://www.trabotyx.com/product.html>).



Slika 15. Robot Trabotyx u kultivaciji
(Izvor: <https://www.trabotyx.com/product.html>)

Robot Trabotyx kreće se preko usjeva brzinom od 360 m/h i pri tome prepoznaje 95 % korova u usjevu sa preciznošću do 2 mm. U liniji rada robot radi sa dva radna tijela, u

međusobnom razmaku grebena 70 – 90 cm. Robot može raditi u svim vremenskim uvjetima pa čak i po mraku i kiši, što omogućava pravovremeno djelovanje. Radni alat ovog robota je „bušilica“ prikazana na slici 16. Ova mehanička metoda je učinkovita, robusna i ubija male i velike korove do 4 cm u promjeru (Izvor: <https://www.trabotyx.com/product.html>).



Slika 16. Radni organ „bušilica“

(Izvor: <https://www.trabotyx.com/product.html>)

3.2. Roboti za kultivaciju laserskim putem

3.2.1. Carbon Robotics

Tvrtka Carbon Robotics dizajnirala je autonomnog robota koji korove uklanja laserskim putem, a u radu je prikazan na slici 17. Uništava 100.000 korova na sat, za što koriste samo lasere. Robot koristi GPS i Lidar senzore koji mu omogućuju kretanje unutar polja, kroz redove i okretanje kako bi nastavio u sljedeći red. Jedna od mnogih prednosti korištenja ovog robota također je što ne uništava strukturu tla kao kod npr. oranja, što mu omogućuje korištenje toplinske energije umjesto fizičke. To omogućuje smanjenje troškova, izbacivanje herbicida iz uporabe te kvalitetnije i zdravije usjeve. Brzina kretanja ovog robota je oko 8 km/h, i neprestano tijekom kretanja 12 kamera visoke razlučivosti skeniraju tlo ispod robota. Tijekom skeniranja računalo u robotu u samo nekoliko ms prepoznaje

neželjene biljke i pomoću 8 lasera ih spaljuje. Radni učinak navedenog robota je 100 000 korova u satu, ili oko 28 korova u sekundi, pa tako u jednom danu jedan robot može oplijeviti 15 do 20 ha (Izvor: <https://carbonrobotics.com/>).



Slika 17. Carbon Robotics u kultivaciji

(Izvor: <https://fruitgrowersnews.com/news/carbon-robotics-secures-27m-for-its-autonomous-field-weeders/>)

3.2.2. Ultron

Ultron je robot tvrtke Luxeed Robotics sa sjedištem u Libanonu, razvijen za uništavanje korova pomoću laserskih zraka bez oštećivanja usjeva. Ideja tima ove tvrtke je osnažiti poljoprivrednike kako bi poljoprivredu učinili puno modernijom i ekološki prihvatljivijom. Želja je osigurati organsku hranu koja će biti dostupna i prihvatljiva svima. Također cilj je izbaciti zaštitna sredstva i opasne kemikalije, a u tu svrhu upotrebljavati umjetnu inteligenciju i robotiku. Softver robota nakon prepoznavanja korova upućuje lasersku zraku izravno u središte korova kako bi ponovni rast bio spriječen sa preciznošću od 5 mm, pa tako laser nikada ne ošteti usjev. Robot Ultron tvrtke Luxeed Robotics prikazan je na slici 18. gdje se uočava izvođenje zaštite kultura salate i luka. (Izvor: <https://depar.unescwa.org/group/agri-tech-and-food/topic/luxeeds-robot-eliminates-weeds-without-using-herbicides>)



Slika 18. Ultron u radu

(Izvor: <https://fruitgrowersnews.com/news/carbon-robotics-secures-27m-for-its-autonomous-field-weeders/>)

3.2.3. Crop Shepherd

Crop Shepherd robot je razvijen za organske farme srednjih veličina za uklanjanje korova bez upotrebe herbicida. Cilj korištenja ovog robota je omogućivanje proširenja poslovanja zbog neovisnosti o radnoj snazi. Navedeni robot prikazan na slici 19. koristi umjetnu inteligenciju i računalni vid kako bi razlikovao korov od usjeva i nakon što detektira korov uništava ga jakim laserom (Izvor: <https://www.cropshepherd.com/>).



Slika 19. Crop Shepherd u radu

(Izvor: <https://www.f6s.com/company/cropsheppard#about>)

3.3. Roboti za kultivaciju kemijskim putem

3.3.1. Intelligent sharpshooter

Tvrtka Verdant Robotics dizajnirala je robota pod nazivom Intelligent sharpshooter prikazan na slici 20. s ciljem očuvanja zdravlja tla, proizvodnje zdravije hrane i zaštite okoliša. Roboti se kreću priključeni na traktor te prelazeći preko polja u 20 s detektiraju korov i uništavaju ga sa preciznošću manjom od jednog cm. Intelligent sharpshooter opremljen je sa 50 mlaznica za raspršivanje i u jednom satu može tretirati i do 500 000 biljaka uz korištenje 95 % manje kemijskih sredstava protiv korova (Izvor: <https://www.goodnewsnetwork.org/sharp-shooting-farm-robot-can-treat-500000-plants-per-hour-with-95-decrease-in-chemical-sprays/>). Prelazeći preko proizvodne površine nakon tretiranja, robot ne zaboravlja već bilježi podatke cijelog polja s preciznošću jednog cm te zatim kreira kartu (Izvor: <https://www.freethink.com/series/challengers/intelligent-farm-robot>).



Slika 20. Intelligent sharpshooter u radu

(Izvor: <https://www.goodnewsnetwork.org/sharp-shooting-farm-robot-can-treat-500000-plants-per-hour-with-95-decrease-in-chemical-sprays/>)

3.3.2. Small Robot Company

Tvrtka Small Robot Company proizvela je robota na principu umjetne inteligencije u svrhu stvaranja održive, učinkovite i profitabilne poljoprivrede. Od 2017. godine utrošeno je više od pet milijuna funti na istraživanja i razvoj što je omogućilo proizvodnju i komercijalizaciju. Roboti ove tvrtke funkcioniraju na principu uzgoja po biljci, što znači da djeluju samo onda kada je potrebno i ciljaju samo korove koje je potrebno tretirati te njeguju svaku pojedinačnu biljku. Robot prelazeći preko polja mapira i memorira svaku pojedinačnu biljku, a tvrtka pruža i mogućnost pretvorbe podataka u mapu aplikacije koje su kompatibilne s prskalicama John Deere, čime će uštedjeti oko 77 % herbicida i 14 % mineralnih sredstava što podrazumijeva veliku uštedu novca. Navode kako se pri uobičajenom tretiranju pomoću mehanizacije i do 90 % kemijskih sredstava bespotrebno gubi zbog nepreciznosti. U samo jednom polju robot je prepoznao preko 12 milijuna biljaka u nastajanju, a od toga samo je 250.000 korova (Izvor: <https://www.smallrobotcompany.com/>). Na slici 21. Prikazan je robot Small Robotics u radu.



Slika 21. Small robotics u radu

(Izvor: <https://tharsus.com/client-stories/small-robot-company/>)

3.3.3.ARA

ARA je robot tvrtke Ecorobotix vrlo visoke preciznosti do 6x6 cm, i omogućava ciljanu primjenu herbicida, fungicida, insekticida ili mineralnih sredstava. Omogućava smanjenje upotrebe sredstava čak do 95 % a time povećava profitabilnost i do 30 %. Na gospodarstvu srednje veličine ARA se može isplatiti već nakon tri do četiri godine zahvaljujući mogućnosti korištenja cijele godine na raznim vrstama usjeva kao što su pašnjaci, povrće, veliki usjevi, travnjaci ali i mnogi drugi. Radni zahvat pri aplikaciji zaštite je 6 m sa trakom od 156 mlaznica razmaknutih po 4 cm. Tako navedeni robot ima radni učinak od 4 ha/h, odnosno u jednom danu čak 96 ha uz maksimalnu brzinu od 7 km/h. Robotom se upravlja vrlo jednostavno putem tableta u nekoliko klikova, a svi podatci se prikupljaju za daljnju analizu i usporedbu. Robot ARA prikazan je na slici 22 (Izvor: <https://ecorobotix.com/en/ara/>).



Slika 22. ARA u radu

(Izvor: <https://ecorobotix.com/en/>)

3.3.4. AX – 1

Tvrtka Cordiseuropa kreirala je robota pod nazivom AX – 1 koji može raditi i 24 sata dnevno u gotovo svim vrstama povrća i začinskog bilja sa radnim učinkom od otprilike 1 ha/h sa smanjenjem upotrebe herbicida do 95 %. Povećanju produktivnosti doprinosi i mogućnost rada na polju već ubrzo nakon kiše. Ova tehnologija može se koristiti u organskoj i konvencionalnoj poljoprivredi, a upotrebu pesticida gotovo da može eliminirati i tako poboljšati učinkovitost proizvodnje. AX – 1 u radu prikazan je na slici 23 (Izvor: <https://cordis.europa.eu/article/id/413364-asterix-the-farmer-robot-conquers-weeds-with-biopesticide-without-spraying-interleaved-crops>).

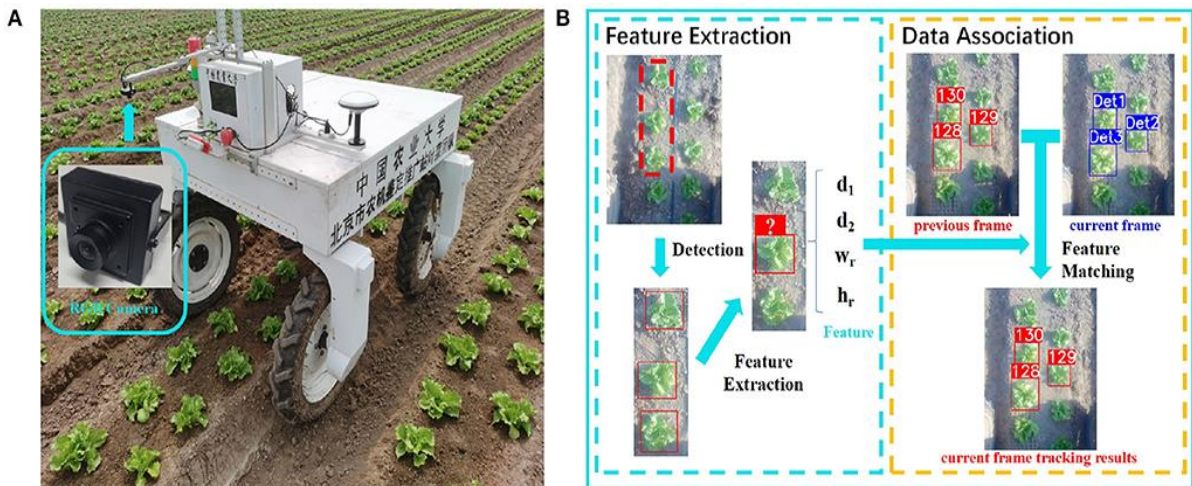


Slika 23. AX – 1 u radu

(Izvor: <https://cordis.europa.eu/article/id/413364-asterix-the-farmer-robot-conquers-weeds-with-biopesticide-without-spraying-interleaved-crops>)

3.3.5. VegeBot

VegeBot je poljoprivredni robot dizajniran na kineskom poljoprivrednom sveučilištu u svrhu kultivacije salate. Robot se kreće kroz nasad salate, otkriva i prati svaku biljku i precizno aplicira sredstvo na nju. Zahvaljujući računalnom vidu i istovremenom praćenju više detektiranih biljaka ovaj robot ostvaruje veliku preciznost. Njegova brzina varira od 0,35 do 0,45 m/s. kamera je smještena na visini od 1.5 m od tla kako bi se osiguralo detektiranje dovoljnog broja biljaka u svakom trenutku. Na slici 24 prikazan je robot VegeBot i postupak detektiranja biljaka. (Izvor: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1003243/full>).



Slika 24. VegeBot

(Izvor: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1003243/full>)

Legenda slike 24.

Feature extraction= ekstrakcija značajki

Detection= otkrivanje

Data association= povezivanje podataka

Feature matching= podudaranje značajki

Previous frame= prethodni okvir

Current frame= trenutni okvir

Current frame tracking results= trenutni okvir rezultata praćenja

4. ZAKLJUČAK

Modernizacijom svih dijelova svakodnevnog života, neizbježna je i modernizacija poljoprivrede i proizvodnje hrane. Iako se na našim krajevima modernizacija odvija dosta sporije od nekih drugih dijelova svijeta, ona je neizbježna i sigurno će kroz nekoliko godina zahvatiti i naše podneblje. Ako se uzme u obzir koliko je poljoprivreda napredovala u zadnjih nekoliko godina može se i dalje očekivati veliki napredak i modernizaciju u narednim godinama.

Kada je riječ o modernoj poljoprivredi, precizna poljoprivreda velikim dijelom omogućavaju roboti. Robotika je zauzela veliko mjesto u svjetskoj proizvodnji pa tako i u poljoprivredi gdje štedi energiju, sredstva i preparate i samim time omogućuje veću zaradu proizvođaču, a što je najvažnije štiti okoliš, omogućava zdravstveno kvalitetniju proizvedenu hranu te manji utrošak vremena ljudskog rada. Upravo te prednosti omogućuju informacije koje se prikupljaju i obrađuju pomoću senzora.

Cijene robota navedenih u ovome radu vrlo su različite, od najjeftinijeg robota Tertill čija je cijena oko 300 dolara, pa sve do najskupljih od nekoliko desetaka miliona dolara. Kao rješenje visokim cijenama robota, proizvođači nude iznajmljivanje istih kako bi roboti bili lakše dostupni poljoprivrednicima.

5. LITERATURA

1. Barbashov N. i Barkova A., (2021).. Development of a brakingenergyrecoverydevice for anagricultural robot.
2. Brittanica, Gyroscope (izvor): <https://www.britannica.com/technology/gyroscope/>. (15.04.2024.)
3. Carbon robotics, Protecting crops, people and our planet (izvor): <https://carbonrobotics.com/>. (15.04.2024.)
4. ÇOLAK S., IŞIK D., (2021.). YabancıOtlarileMücadeledeGüncelYöntem: Robotikler.
5. Crop shepherd, We make your vision possible (izvor): <https://www.cropshepherd.com/>.(15.04.2024.)
6. Depar unescwa, Luxeeds robot (izvor): <https://depar.unescwa.org/group/agri-tech-and-food/topic/luxeeds-robot-eliminates-weeds-without-using-herbicides.>(15.04.2024.)
7. Du Y., Zhang G., Tsang D., KhalidJawed M., (2021.).A noveldeeplearning-basedmethod for detectionofweedsinvegetables.
8. European Commission, Weeding robot for precision farming reducing herbicide usage by 95% (izvor): <https://cordis.europa.eu/article/id/413364-asterix-the-farmer-robot-conquers-weeds-with-biopesticide-without-spraying-interleaved-crops.> (15.04.2024.)
9. Ecorobotix, ARA (izvor): <https://ecorobotix.com/en/ara/>. (15.04.2024.)
10. Elmark, kapacitivni senzor (izvor):<https://hr.elmarkstore.eu/kapacitivni-senzor-el-cm18-3008na-product2433.>(15.04.2024.)
11. Fan Z., Qiu Q., Meng Z., (2017.). Implementationof a four-wheeldriveagriculturalmobile robot for crop/soilinformationcollection on theopenfield.
12. Frontiers, LettuceTrack (izvor): <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1003243/full.>(15.04.2024.)
13. Freethink, Sniper robot (izvor): <https://www.freethink.com/series/challengers/intelligent-farm-robot.> (15.04.2024.)
14. Garden Happy, Tertill (izvor):<https://tertill.com/>.(15.04.2024.)
15. Good news network, Sharp-shooting farm robot (izvor):<https://www.goodnewsnetwork.org/sharp-shooting-farm-robot-can-treat-500000-plants-per-hour-with-95-decrease-in-chemical-sprays/>. (15.04.2024.)

16. Hardwarelibre, Halov senzor efekta (izvor):<https://www.hwlibre.com/hr/senzor-Hall-efekta/>. (15.04.2024.)
17. Jelovčan, S., Galzina, N. (2020.). Budući izazovi i trendovi u poljoprivrednoj proizvodnji, Glasilo biljne zaštite.
18. Jin X., Sun Y., Che J., Bagavathiannan M., Yu J., Chen Y.,(2022.). A noveldeeplearning-basedmethod for detectionofweedsinvegetables.
19. Kolarik Z. (2023.). Primjena robota za sjetvu u poljoprivredi, završni rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
20. Knežević H. (2023.). Roboti za berbu povrtlarskih kultura, završni rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek..
21. Kružić S. (2018.). Autonomni mobilni roboti, kvalifikacijski doktorski ispit, fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split.
22. Machleb J., Peteinatos G., Kollenda B., Andujar D., Gerhards R., (2020.) Sensor-basedmechanicalweedcontrol: Presentstateandprospects.
23. Martić H., (2021.). Vrste i primjene senzora u pametnim okruženjima.
24. Melander B., McCollough M., (2021.). Advancesinmechanicalweedcontroltechnologies.
25. National Library of medicine, Gyroscope Technology and applications (izvor): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5677445/>. (15.04.2024.)
26. Naio Technologies, OZ (izvor): <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>. (15.04.2024.)
27. Naio Technologies, From Dino to Orio (izvor):<https://www.naio-technologies.com/en/dino/>. (15.04.2024.)
28. Naio Technologies, Ted (izvor):<https://www.naio-technologies.com/en/ted/>. (15.04.2024.)
29. National library of medicine, Development ofnovel robotics platforms (izvor): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8669031/>. (15.04.2024.)
30. Novotest, magnetometer (izvor): <http://novotest.biz/gaussmeter-magnetometer-novotest-mf-1-2/>.(15.04.2024.)
31. Ocean property (izvor): <https://www.oceanproperty.co.th/th/>. (15.04.2024.)
32. Petrović T. i Vasiljević G.(2023.). Senzori u robotici.
33. Rexel, Induktivni senzor prisutnosti (izvor): <https://webshop.rexel.hr/hr/shop/industrija-w04/senzori-i-sklopke-w0407/induktivni->

senzor-prisutnosti-telemechanique-indikator-priblizavanja-indukt-30mm-20mm-pnp-kabel-12v-dc-sazeto-1138089. (15.04.2024.)

34. Stracenski M., (2019.). Mjerenje položaja i brzine rotora – rezolveri i enkoderni.
35. Small Robot Co, PerPlant Farming (izvor): <https://www.smallrobotcompany.com/>. (15.04.2024.)
36. Sensatec, High-sensitivity Electromagnetic sensor (izvor): https://www.sensatec.co.jp/e/products/detail.php?product_id=79. (15.04.2024.)
37. Tinoco, V.; Silva, M. F.; Santos, F. N.; Rocha, L. F.; Magalhaes S.; Santos, L. C. (2021.): IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions
38. Törtei D., (2016.). Co-design of architectures and algorithms for mobile robot localization and model-based detection of obstacles
39. Trabotyx (izvor): <https://www.trabotyx.com/product.html/>. (15.04.2024.)
40. Zimmer, D., Jurišić, M., Plaščak, I., Radočaj, D. (2020.). Primjena robota i robotski sustava u poljoprivrednoj praksi.
41. Zimmer D., Jurišić M., Šumanovac L., Lucić P. (2021.). Upotreba robota u poljoprivredi.