

Mogućnost uporabe robota u sjetvi u poljoprivredi

Kolarik, Zvonimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:151:957221>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-18**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Zvonimir Kolarik

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer: Mehanizacija

Primjena robota za sjetvu u poljoprivredi

Završni rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Zvonimir Kolarik
Preddiplomski sveučilišni studij
Smjer: Mehanizacija

Primjena robota za sjetvu u poljoprivredi
Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer
2. prof. dr. sc. Luka Šumanovac
3. prof. dr. sc. Tomislav Jurić

Osijek 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

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

Završni rad

Zvonimir Kolarik

Primjena robota za sjetvu u poljoprivredi

Sažetak:

Sjetva je jedan od glavnih procesa poljoprivrednih aktivnosti koja zahtijeva znatnu količinu ljudskih napora i te oduzima puno radnog vremena. Robot za sjetvu je uređaj koji pomaže u sjetvi sjemena u željeni položaj, a s time pomaže poljoprivrednicima u uštedi vremena i resursa. Robotizacija uz primjena modernih tehnologija i sustava poput gps samonavodećih sustava, RTK signala i korištenje senzora uz primjenu algoritama(Arduino) u poljoprivredi. Pomoću digitalne poljoprivrede omogućeno je pravovremeno obavljanje poljoprivrednih radova, visoku produktivnost, smanjen broj operacija te nisku cijenu rada. Rasprava o budućem razvoju tehnologije robotske sjetve je nužna, te naglašavajući njezin utjecaj na poljoprivrednu učinkovitost i održivost.

Ključne riječi: sjetva, robot, gps, rtk signal, algoritam(Arduino)

33 stranica, 29 slika

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

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

Final work

Zvonimir Kolarik

Application of seeding robots in agriculture

Summary :

Sowing is one of the main processes of agricultural activities that requires a considerable amount of human effort and takes a lot of work time. A sowing robot is a device that helps in sowing seeds in the desired position, thus helping farmers to save time and resources. Robotization with the application of modern technologies and systems such as GPS homing systems, RTK signals and the use of sensors with the application of algorithms(Arduino) in agriculture. With the help of digital agriculture, timely performance of agricultural works, high productivity, reduced number of operations and low labor costs are enabled. A discussion on the future development of robotic seeding technology is necessary, emphasizing its impact on agricultural efficiency and sustainability.

Key words: sowing, robot, gps, rtk signal, algorithm(Arduino)

33 pages, 29 pictures

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. DIZAJNIRANJE AUTONOMNOG ROBOTA ZA SJETVU	2
2.1. Redoslijed dizajniranja robota	2
2.2. Dizajniranje robota sa rukom	4
2.3. Dizajn robota za sjetvu BT pamuka	5
3. PODACI I RAD ROBOTA ZA SJETVU	8
3.1. Metoda rada robota za sjetvu.....	9
3.2. Dijelovi robota za sjetvu.....	10
3.3. Primjer greške kod robota.....	17
3.4. Plan nadopune sjemena	18
4. ROBOTI ZA SJETVU.....	20
4.1. MARS roboti u rojevima	20
4.2. Autonomni roboti za sjetvu	23
4.2.1. Naïo Dino	23
4.2.2. Naïo Oz.....	24
4.2.3. Korechi RoamIO.....	25
4.2.4. Agroboti Robotti.....	26
4.2.5. Farmdroid FD20	27
5. PREDNOSTI I MANE ROBOTA ZA SJETVU	28
5.1. Prednosti i nedostaci robota.....	28
5.2. Prednosti i nedostaci razliĉitih modaliteta senzora za vanjsku percepciju.	29
6. ZAKLJUČAK.....	31
7. LITERATURA	32

1. UVOD

Trenutno na planetu živi oko 7,6 milijardi ljudi, a do 2050. godine očekuje se da će taj broj porasti na 9,8 milijardi ljudi. Rast svjetske populacije sa sobom donosi nekoliko vrsta pitanja, kao što je potreba za povećanjem proizvodnje hrane u sve manjim poljoprivrednim sredinama, budući da će oko 68 % svjetske populacije živjeti u urbanim sredinama do 2050. godine i trebat će dvostruko više hrane od sadašnje kapacitet proizvodnje. Postotak obradivog zemljišta značajno je smanjen, budući da je 1991. godine predstavljao oko 39,47 % svjetske kopnene površine, a 2013. godine smanjio se na 37,7 % (Oliveira i sur., 2020.).

Stoga koncept precizne poljoprivrede sve više dobiva na važnosti s korištenjem automatiziranih ili robotskih sustava za obavljanje svakodnevnih aktivnosti na zemlji kao što su: priprema zemlje, sjetva, sadnja, suzbijanje štetočina i žetva. Rad predstavlja pregled jedne od glavnih poljoprivrednih aktivnosti koje su automatizirani robotski sustavi, sa fokusom na sjetvu pomoću robota u poljoprivredi.

U poljoprivredi postoji potreba za tehnologijom koju će poljoprivrednici lakše razumjeti, implementirati i koristiti. Za uspjeh u poljoprivrednoj industriji prijeko je potrebna oprema koja zahtijeva manje ljudskog truda i vremena uz manje troškove implementacije. Autonomni roboti napravljeni uz manje održavanja i koji su prenosivi, kao i prilagodljivi prema zahtjevima, ovdje bi mogli poslužiti svrsi. Posao sjetve sjemena na preoranom poljoprivrednom zemljištu izbjegavajuću ljudske napore praćenjem zadanog puta i sijanjem sjemena u jednakim intervalima korištenjem parametara površine polja (dužine i širine) i intervala razmaka sjemena kao unosa koje je odredio korisnik (Jayakrishna i sur., 2018.).

Ovaj rad je podijeljen u šest poglavlja, u uvodnome poglavlju okvirno je prikazano tema i cilj ovoga rada. Drugo poglavlje odnosi se na dizajniranje autonomnog robota za sjetvu i opće smjernice za njegovu izradu. Treće poglavlje nam donosi podatke i rad samoga robota za sjetvu. U četvrtome poglavlju dolazimo do robota za sjetvu i njihovih primjera. Peto poglavlje nam govori o prednostima i nedostacima robota. Na kraju ovoga rada je zaključak.

2. DIZAJNIRANJE AUTONOMNOG ROBOTA ZA SJETVU

2.1. Redoslijed dizajniranja robota

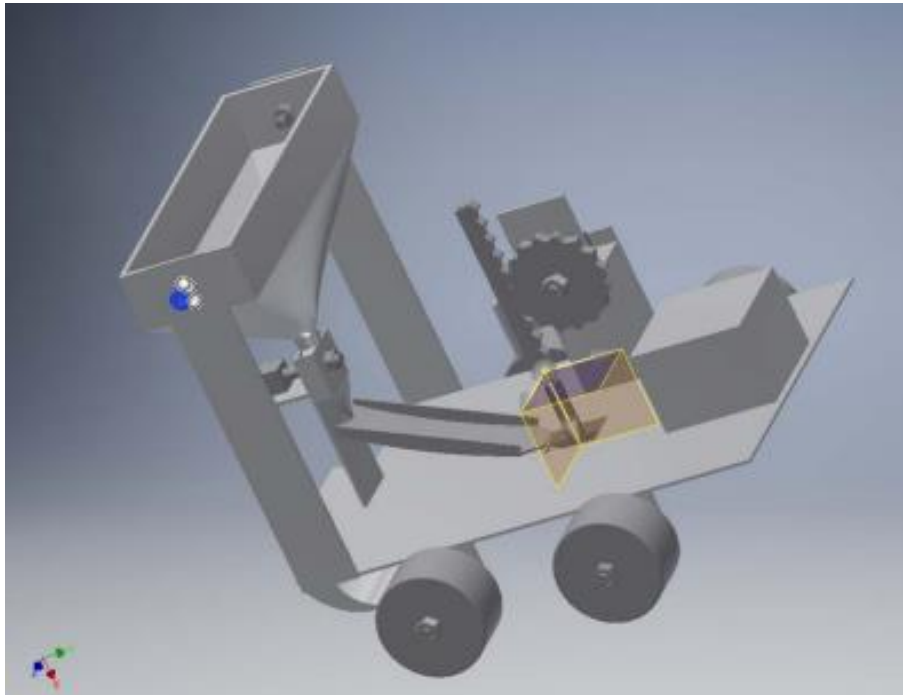
U početku razne dimenzije pametnog robota za sjetvu pretpostavljaju se na temelju različitih dimenzionalnih ograničenja robota. Nakon razmatranja različitih aspekata dizajna robota tada se različiti dijelovi robota za sjetvu dizajniraju pomoću Auto-CAD-a. Dizajn pametnog robota za sjetvu temelji se na različitim modulima i zahtjevima robota (Kumar i sur., 2021).

Najvažniji dio je pravilan dizajn robota, a to se postiže pravilnim slijedom tijeka rada gdje upoznajemo sve parametre potrebne za dizajn robota poput opreme koju treba postaviti, težine koju treba izdržati i tipa terena na kojem se koristi i dr. Stoga proces projektiranja koji je dio slijeda tijeka rada uključuje raspravu o zahtjevima za izgradnju robota, njegovu primjenu i procjenu praktičnih poteškoća. Razvijen je softverski dizajn mehaničkog modela koristeći Auto CAD (Jayakrishna i sur., 2018.). Na slici 1. je prikazan Auto-CAD dizajn robota.

Slijed toka rada u razvoju prototipa je:

- Odaberite aplikaciju sustava koju ste odlučili izgraditi.
- Raspravite o glavnom dnevnom redu koji je planiran za poboljšanje prethodnih postojećih sustava.
- Raspravite o uključenim mehanizmima i potrebnom hardveru.
- Prođite kroz matematičke izračune za odabir specifičnog hardvera.
- Provjerite je li hardver dostupan prema našim izračunima ili nabavite sličan.
- Procijenite težinu komponenti.
- Dizajnirajte šasiju pomoću različitih dostupnih softvera na temelju gore navedenih zahtjeva i analizirajte dizajn.
- Implementacijski dio započeti izradom šasije i paralelno s implementacijom sklopova kao modula kako bi se posao završio na vrijeme.
- Sastavite sve komponente (električne i mehaničke) kako biste konačno završili prototip.

(Jayakrishna i sur., 2018.). Na slici 2. prikazan je prototip dizajniranog robota.



Slika 1. Auto-CAD dizajn robota

(Izvor: Jayakrishna i sur., 2018.).

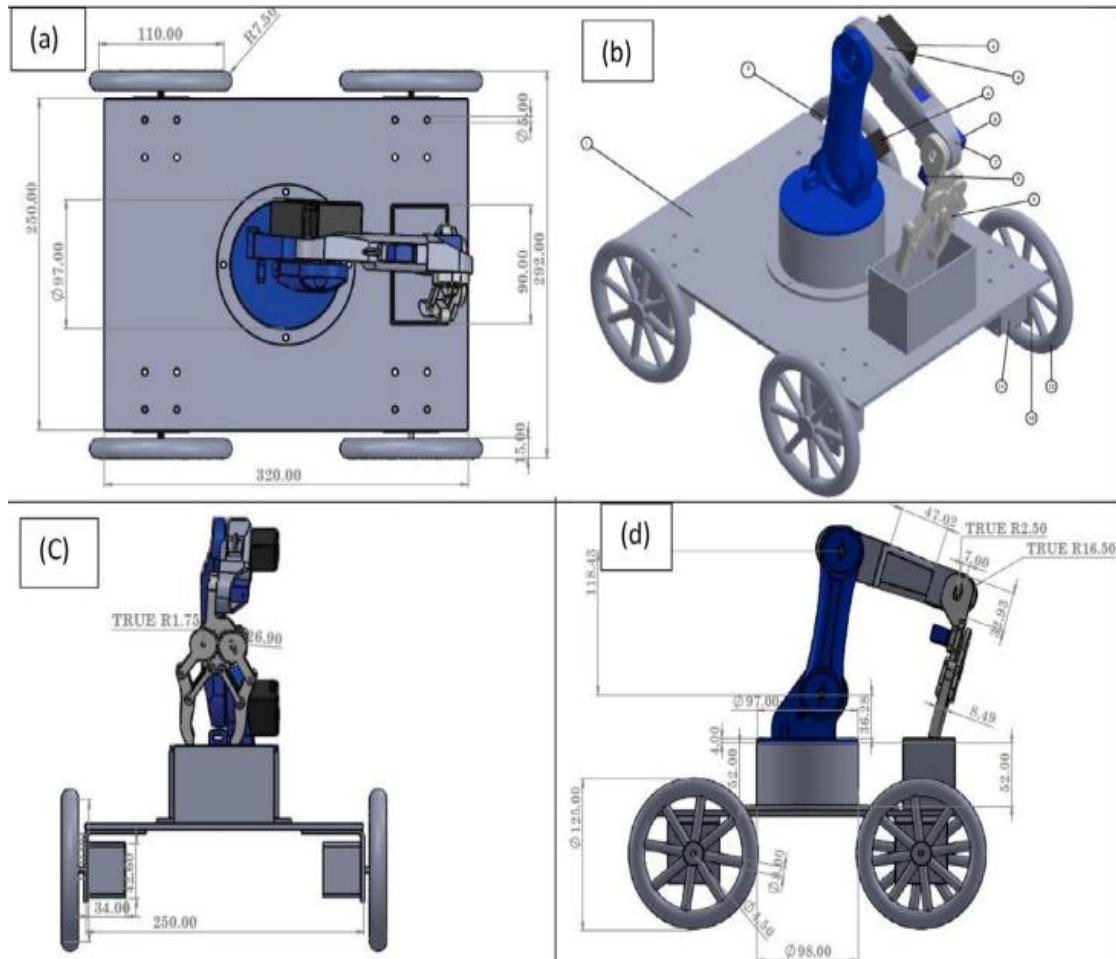


Slika 2. Prototip dizajniranog robota

(Izvor: Jayakrishna i sur., 2018.).

2.2. Dizajniranje robota sa rukom

Dizajn ovog pametnog robota za sjetvu sa rukom temelji se na različitim modulima (Kumar i sur., 2021). Na slici 3. prikazan je trodimenzionalni prikaz robota.



Slika 3. Trodimenzionalni prikaz robota sa mjerama u Auto-CAD-u

(Izvor: Kumar i sur., 2021.).

Na slici 4. je prikazan robot u trenutku uzimanja sjemena.



Slika 4. Testiranje robota na polju (uzimanje sjemena)

(Izvor: Kumar i sur., 2021.).

Na slici 5. je prikazan robot u trenutku sjetve.



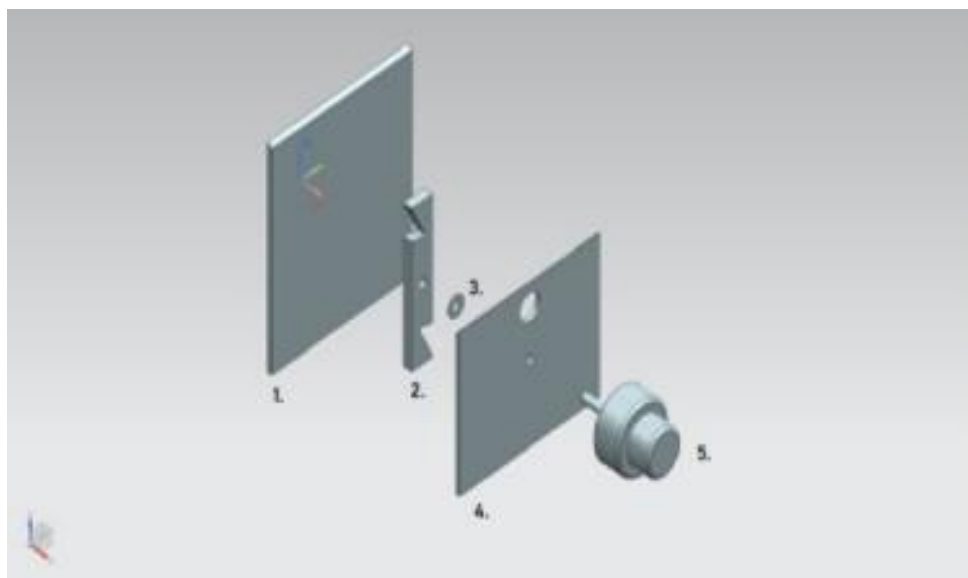
Slika 5. Testiranje robota na polju (sjetva sjemena u tlo)

(Izvor: Kumar i sur., 2021.).

2.3. Dizajn robota za sjetvu BT pamuka

U dizajnu ovoga robota predstavlja se mehanizam lijevka koji igra važnu ulogu u spuštanju sjemena u zemlju. Različite vrste sjetve zahtijevaju različite birače sjemena jer se razlikuju po veličini i obliku (Nagdeve i sur., 2020.).

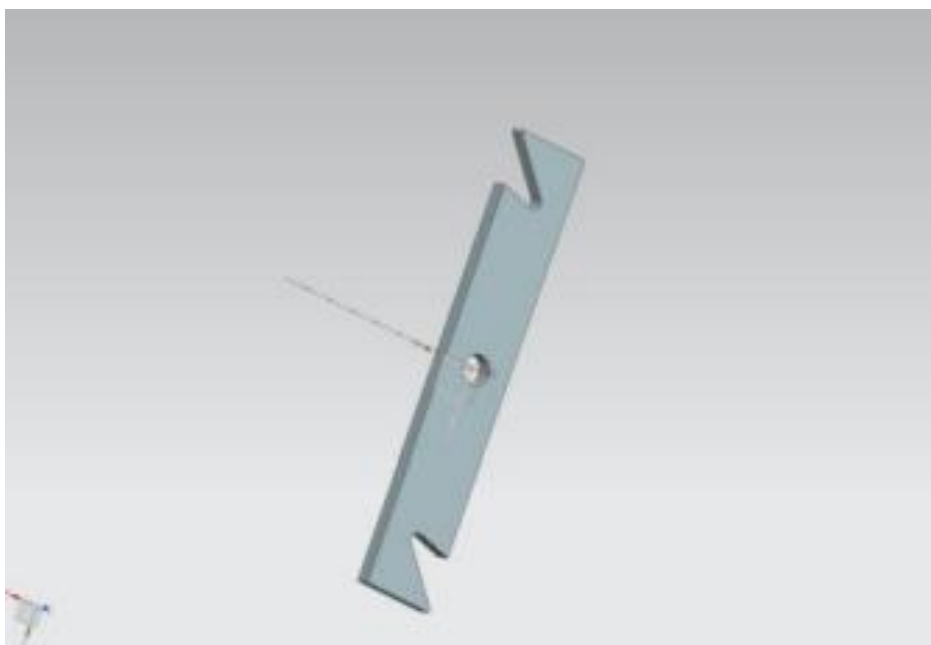
- a) Stražnja ploča: Koristi se za kompletiranje kućišta svih komponenti mehanizma lijevka. To je fiksirana komponenta.
- b) Birač sjemena: Za BT sjeme pamuka bio je potreban birač s dvije čeljusti i stoga je naš prvi mehanizam dvo čeljusni. Omogućuje nam da pokupimo samo dvije sjemenke u jednoj ophodnji. To se pokreće uz pomoć motora. Postoje još četvero čeljusni i kružni birači sjemena.
- c) Podloška: podloška je umetnuta između ploče motora kao i berač sjemena kako bi se izbjegao kontakt između njih i kako bi se osiguralo kretanje bez trenja.
- d) Motorna ploča: igra važnu ulogu u spremniku montaža jer je napajanje sakupljača sjemena daje motor koji se montira na ovu ploču. Ova ploča ima dvije rupe, jednu za kućište motora a drugi je ispuštanje sjemena s tijela spremnika. Ova ploča drži se pod kutom od 12 stupnjeva, kako bi se spriječilo pad sjemena birača sjemena tijekom njegove rotacije.
- e) Motor: motor je najvažnija komponenta u ovome cijelom sklopu lijevka. Glavna funkcija 10v DC motor je za pokretanje sakupljača sjemena i njegovo okretanje na fiksnu brzinu kako bi se zadovoljila potreba sjetve sjemena (Nagdeve i sur., 2020.). Na slici 6. su prikazane komponente robota.



Slika 6. Opisane komponente robota

(Izvor: Nagdeve i sur., 2020.).

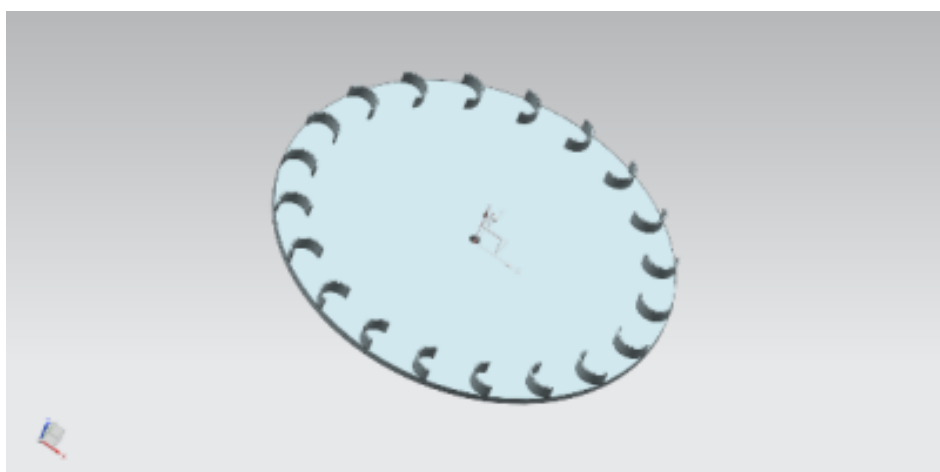
Na slici 7. je prikazan dvo čeljusni birač sjemena.



Slika 7. Dvo čeljusni birač sjemena za BT pamuk

(Izvor: Nagdeve i sur., 2020.).

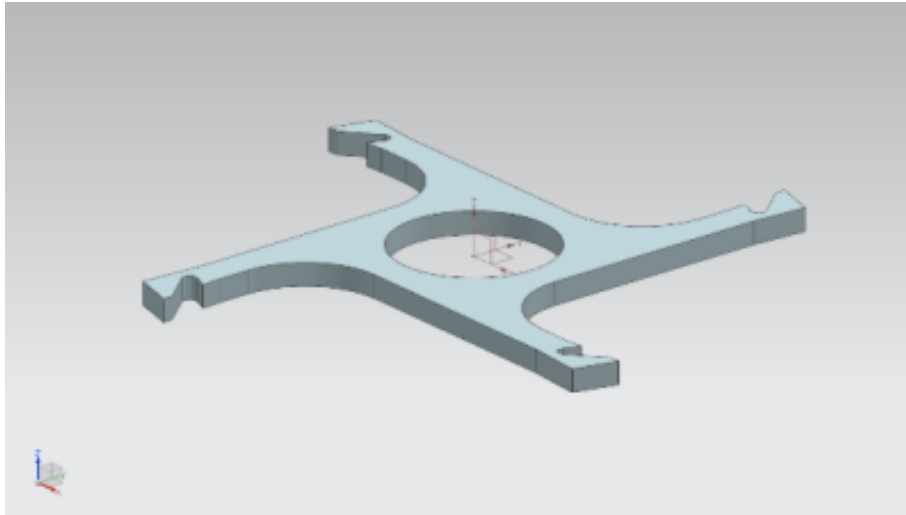
Na slici 8. je prikazan kružni birač sjemena.



Slika 8. Kružni birač sjemena

(Izvor: Nagdeve i sur., 2020.).

Na slici 9. je prikazan četvero čeljusni birač sjemena.



Slika 9. Četvero čeljusni birač sjemena

(Izvor: Nagdeve i sur., 2020.).

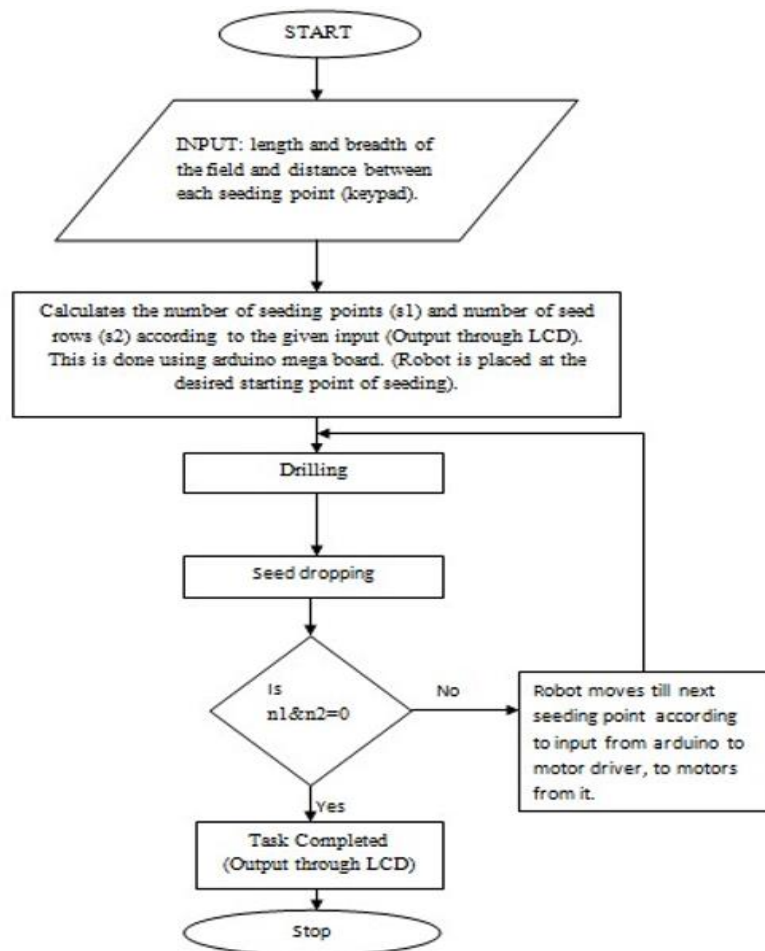
3. PODACI I RAD ROBOTA ZA SJETVU

Osnovni cilj robota za sjetvu je staviti sjeme u redove na željenu dubinu i razmak sjeme do sjemena, pokriti sjeme sa zemljom i osigurati pravilno zbijanje preko sjemena. Iz ovoga znamo da mehanički čimbenici utječu na klijavost sjemena kao što su ujednačenost dubine polaganja sjemena, ujednačenost raspodjele sjemena po redovima (Chavan., 2022.).

Uz prilagodbu suvremenih tehnologija, proces je vrlo dobro zamišljen uz napredak u tehnologiji, uključujući senzore, uređaje, roboti, strojevi i informacijska tehnologija, ove tehnologije mogu biti pouzdanije za nadzor i upravljanje prirodnim resursima, poput zraka i kvalitete vode. Što rezultira većom učinkovitošću i nižim cijenama. S idejom robotizacije procesa sjetve sjemena u poljoprivredi (Nagdeve i sur., 2020.).

3.1. Metoda rada robota za sjetvu

Izgrađeni robot koristi se u poljoprivredi a trošak treba svesti na najmanju moguću mjeru što ga čini pristupačnijim za sve. Električna postavka uključuje tipkovnicu, LCD, Arduino Mega mikrokontroler, nekoliko servo motora i DC motori za kretanje robota dok mehanička postavka uključuje letvu i zupčanik mehanizama, mehanizam kotača za ispadanje sjemena. Tipkovnica se koristi kao ulazni uređaj i LCD kao posredni uređaj koji prikazuje ulaz a također i brojanje točaka sjetve sjemena i broj redova sjemena na temelju zadanog unosa. Sve su one izračunate putem procesora/kontrolera u Arduino mega koristeći početnim parametrima polja poput duljine i širine polja i udaljenost između svake točke sjetve po redu. (Jayakrishna i sur., 2018.). Na slici 10. je prikazan radni proces sjetve kod robota.



Slika 10. Radni proces sjetve kod robota

(Izvor: Jayakrishna i sur., 2018.).

Legenda slike 10.

Start = (Početak)

Input: length and breadth of the field and distance between each seeding point (keypad) = (Unos: duljina i širina polja i udaljenost između svake sjetvene točke (tipkovnica))

Calculates the number of seeding points and number of seed rows according to the given input (output through LCD). This is done using arduino mega board. (Robot is placed at desired starting point of seeding) = (Izračunava broj točaka sjetve i broj redova sjemena prema danom unosu (izlaz preko LCD-a). To se radi pomoću arduino mega ploče. (Robot se postavlja na željenu početnu točku sijanja))

Drilling = (Bušenje)

Seed dropping = (Ispadanje sjemena)

No = (Ne)

Robot moves till next seeding point according to input from arduino to motor driver, to motors from it = (Robot se pomiče do sljedeće točke sjetve prema ulazu od arduina do pokretača motora, do motora iz njega)

Yes = (Da)

Task: Completed (Output through LCD) = (Zadatak: Dovršen (Izlaz preko LCD-a))

Stop = (Stop)

3.2. Dijelovi robota za sjetvu

Primjeri dijelova više vrsta robota:

a) Tipkovnica i LCD

Unosi se daju preko tipkovnice, na početku će arduino tražiti prikaz inputa preko LCD-a i od prvih upita će biti za duljinu polja. Arduino će dane upute unijeti na takav način da će zadani unos uzeti u stopama. Kasnije se traži širina polja, a zatim udaljenost točaka sjetve i konačno nakon uzimanja svih ovih inputa broj točaka sjetve i broj redova sjemena su izračunati i prikazati na LCD-u. LCD i tipkovnica su najjednostavnije komponente koje se mogu lako razumjeti i raditi na te su ujedno i najizvodljiviji za naše projekta u smislu troškova i interakcije (Jayakrishna i sur., 2018.). Na slici 11. je prikazana tipkovnica i LCD zaslon.

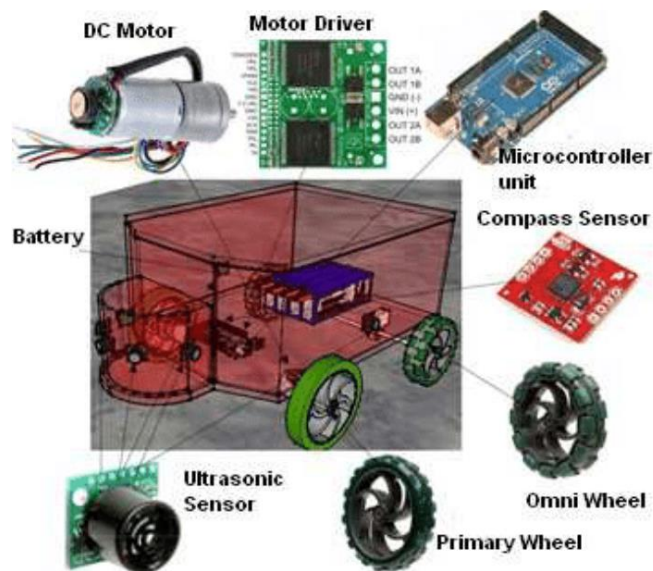


Slika 11. Tipkovnica i LCD-zaslon

(Izvor: <https://i.ebayimg.com/images/g/cgIAAOSwdpVZu5p/s-11600.jpg>)

b) Kretanja robota

Kretanje robota kontrolira arduino preko L298N pokretačkog programa motora na temelju danih inputa i putanje kojom mora ići. Korišteni motori su istosmjerni motori s reduktorima (motori koji se koriste u sustavu prozora automobila). Motore pokreću pokretači motora kako bi svi motori imali jednaku raspodjelu snage. Kotači nisu izravno povezani s osovinama motora, već se zupčanik koristi kao konektor za pogon kotača pomoću motora. Ovi motori zahtijevaju velike struje, a opterećenje kotača je također relativno veliko, što se mora smanjiti po želji ili bi nas moglo dovesti do povećanja količine isporučene energije. (Jayakrishna i sur., 2018.). Na slici 12. je prikazan robot te njegovi dijelovi za kretnju.



Slika 12. Robot kontroliran Arduinoom te njegovi dijelovi za kretanje

(Izvor: https://www.researchgate.net/profile/Eray-Onler/publication/300616662/figure/fig1/AS:355264122376195@1461712975307/COMPONENTS-OF-THE-AGRICULTURAL-ROBOT_Q640.jpg)

Legenda slike 12.

DC Motor = (Istosmjerni motor)

Motor drive = (Motorni pogon)

Microcontroller unit = (Mikroupravljačka jedinica)

Compass sensor = (Senzor kompasa)

Battery = (Baterija)

Ultrasonic sensor = (Ultrazvučni senzor)

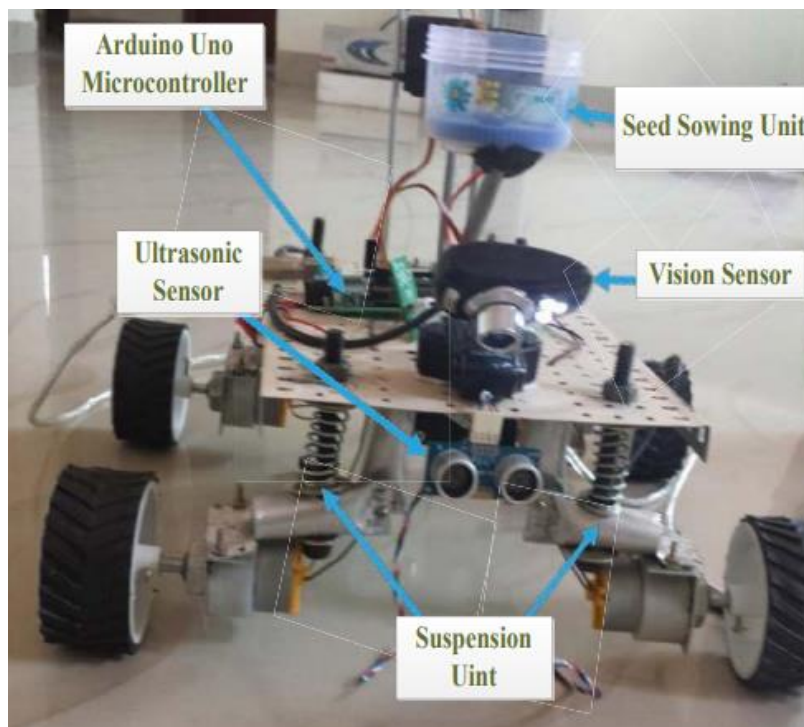
Primary wheel = (Primarni kotač)

Omni wheel = (Omni kotač)

c) Kontroler i senzori

Ključne hardverske komponente robota su kontroler (Arduino) i senzori. Ultrazvučni senzori i IC senzori su zaposleni u robotu za sjetvu sjemena. Ultrazvučni senzori su koristi se za otkrivanje prepreka i mjerenje razine tla. dok izvodi mehanizam sjetve sjemena. IR senzori su koristi se za doziranje sjemena (Santhi i sur., 2017.).

Na slici 13. su prikazani dijelovi robota i senzori.



Slika 13. Dijelovi robota za kontrolu i senzori

(Izvor: Santhi i sur., 2017.).

Legenda slike 13.

Vision sensor = (Senzor vida)

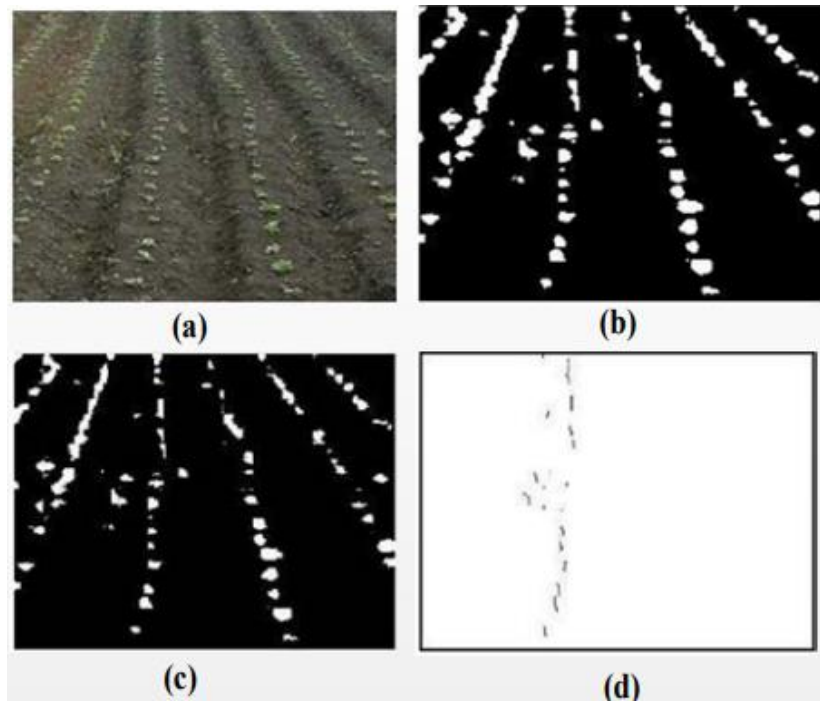
Seed sowing unit = (Jedinica za sjetvu sjemena)

Arduino Uno Microcontroller = (Arduino Uno mikrokontroler)

Suspension unit = (Jedinica ovjesa)

Ultrasonic sensor = (Ultrazvučni senzor)

Na slici 14. je prikazana a) izvorna slika, b) binarna slika, c) proširena slika i d) slika otkrivena rubom.

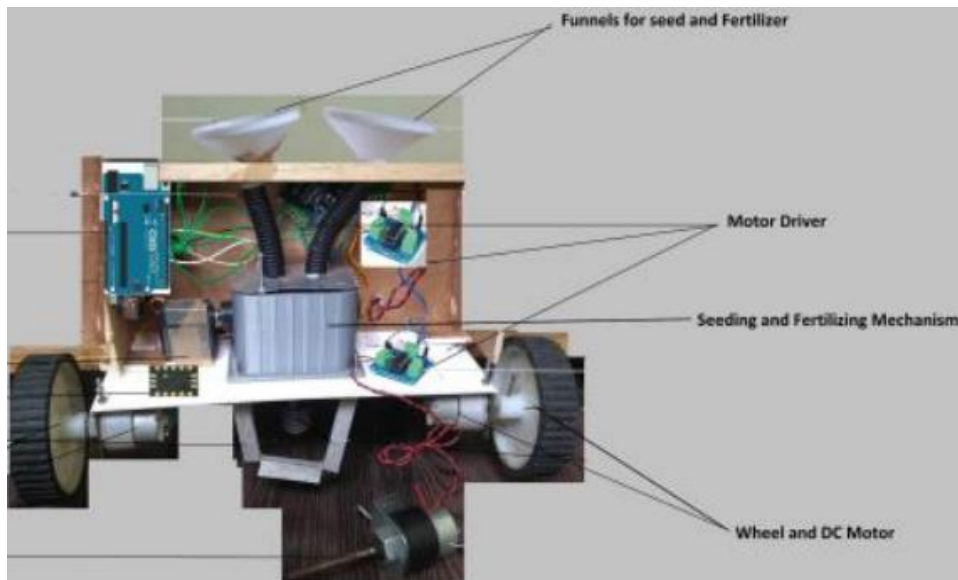


Slika 14. Proces detekcije rubova sjetve

(Izvor: Santhi i sur., 2017.).

d) Sjetva i mehanizam za doziranje sjemena

Za pravilno klijanje biljke sjeme je potrebno posijati na optimalnu dubinu. Mehanizam s vodećim vijkom sa sustavom upravljanja zatvorenom petljom koristi se za sijanje sjemena na optimalnu dubinu od 2,5 cm od površine. Za postizanje kontrolirane količine sjetve korištena je kombinacija vanjskog prisilnog napajanja i vakuumske doziranja. Ovaj sklop se sastoji od glavnog vijka i rotirajućeg diska perforiranog u intervalu od 60o. Robot ultrazvučnim senzorom mjeri razinu tla i određuje dubinu sjetve. Glavni vijak se pomiče pomoću servo motora u smjeru kazaljke na satu kako bi se omogućilo sijanje sjemena. Sjeme pada i promatra ga IC senzor. Vodeći vijak se pomiče u smjeru suprotnom od kazaljke na satu kako bi se vratio u početni položaj. Tako robot sije sjeme na optimalnu dubinu (Santhi i sur., 2017.). Na slici 15. je prikazan mehanizam za sjetvu.



Slika 15. AgriRobot mehanizam za sjetvu

(Izvor: Bhimanpallewar i sur., 2020.).

Legenda slike 15.

Funnels for seed and fertilizer = (Lijeveći za sjeme i gnojivo)

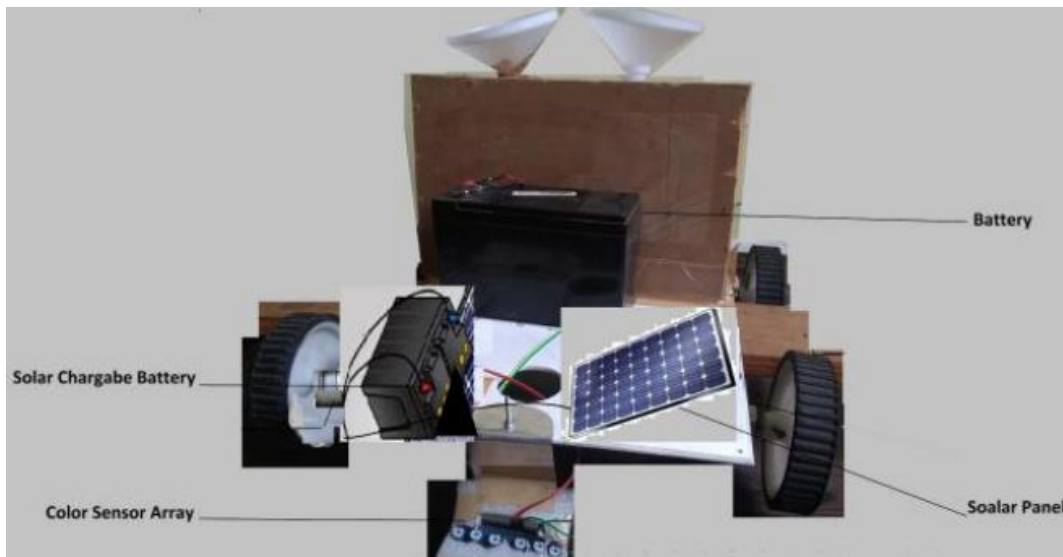
Motor driver = (Pokretač motora)

Seeding and fertilizing mechanism = (Mehanizam sjetve i gnojidbe)

Wheel and DC motor = (Kotač i istosmjerni motor)

e) Opskrba energijom

Roboti trebaju opskrbu energijom kako bi mogli samostalno obavljati zadatke. Ta se energija skladišti u akumulatorima ili baterijama. Zapravo postoji razlika između ovih izraza, prvi se mogu puniti, drugi ne. U ovoj se tezi pojmovi koriste suvišno, a pretpostavljamo punjive baterije. Odabir konfiguracije baterija je ključna značajka u procesu projektiranja. Zapravo je ovo iterativni proces. Dimenzije, napon, težina i način punjenja konfiguracija baterije i oblik ograničenja utječu na cijeli proces projektiranja i određivanje autonomije robota i da li se pune na punionicama ili na primjer preko solarnih panela ako ih imaju na sebi (Goris., 2005.). Na slici 16. je prikazana opskrba energijom kod robota.



Slika 16. AgriRobot opskrba energijom

(Izvor: Bhimanpallewar i sur., 2020.).

Legenda slike 16.

Solar rechargeable battery = (Solarna punjiva baterija)

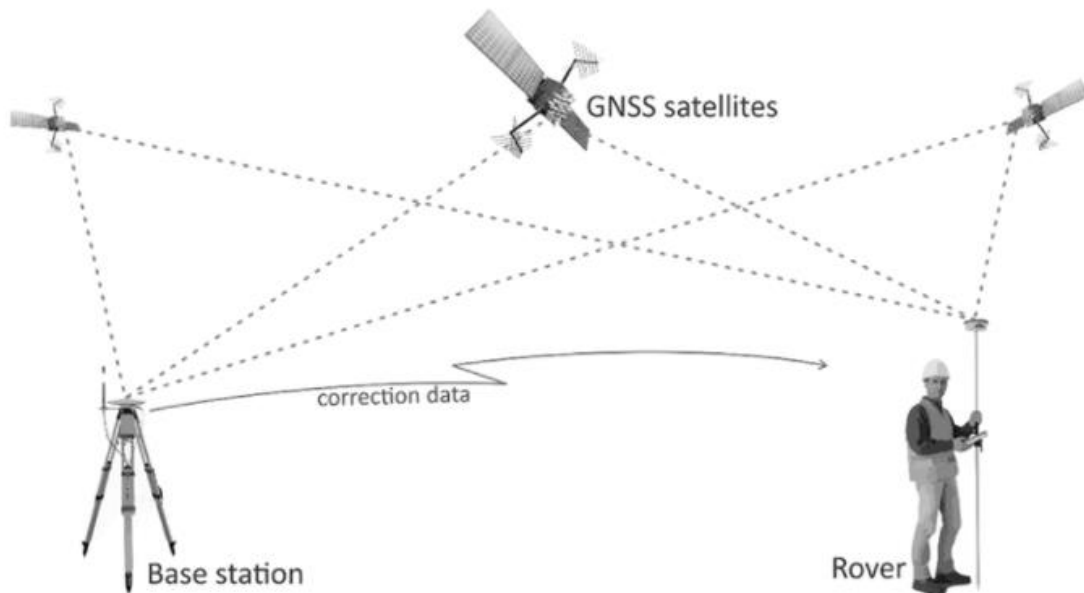
Color sensor array = (Niz senzora boja)

Battery = (Baterija)

Solar panel = (Solarni panel)

f) Navigacija robota

GPS mreža samo je jedna od mnogih u globalnom satelitskom navigacijskom sustavu (GNSS). GNSS prijemnici rade tako da mjere vrijeme potrebno da signal sa satelita stigne do prijemnika. Prosječna pogreška komercijalno implementiranog GPS-a je 2-4 m. Stoga, kako bi se poboljšala točnost navigacijskog sustava za ovaj AGV, korišten je Kinematički sustav u stvarnom vremenu (RTK) s pogreškom manjom od 0,1 m (3,93 inča). RTK sustav sadrži dvije glavne jedinice; jedinica bazne stanice i jedinica rovera. Jedinica bazne stanice je nepomična, a jedinica rovera je montirana na AGV. Bazna stanica roveru prenosi informacije o položaju u stvarnom vremenu, što roveru pomaže da napravi ispravke svoje lokacije, čime se postiže veća točnost (Moeller i sur., 2020.). Na slici 17. je prikazano GNSS pozicioniranje RTK metodom.



Slika 17. GNSS pozicioniranje RTK metoda

(Izvor: <https://geocentar.com/gnss-gps-rtk-metoda-rada-u-praksi/>)

Legenda slike 17.

GNSS satellites = (GNSS sateliti)

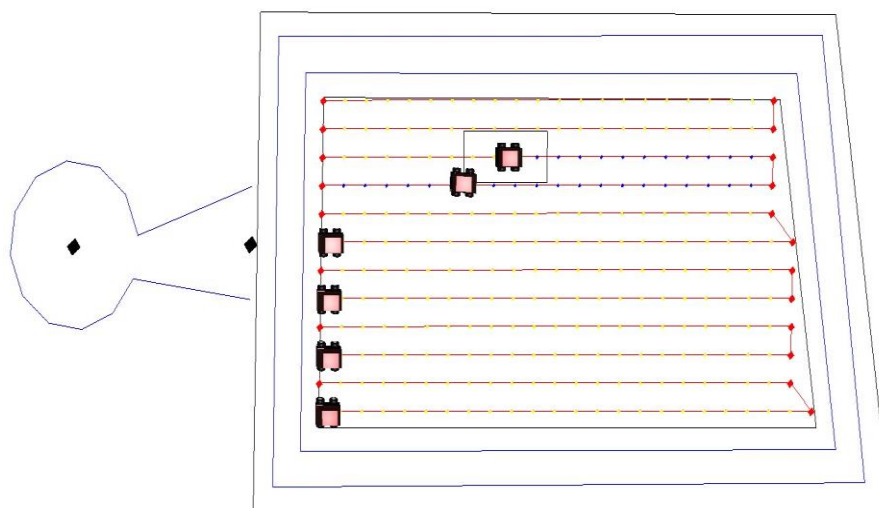
Correction dana = (Ispravak podataka)

Rover = (Rover)

Base station = (Bazna stanica)

3.3. Primjer greške kod robota

Neispravni robot tretira se kao statična prepreka, a ograničeno područje definirano je oko mjesta gdje je robot pokvario. Strategija preraspodjele trenutno je vrlo jednostavna: odabrana zamjena za neuspješnog robota je robot prethodnik neuspješnog robota na temelju početne strategije raspodjele radnog opterećenja. Robot prethodnik neuspjelog robota je robot čija putanja završava tamo gdje je započela početna putanja neuspjelog robota. Zbog povećanog opterećenja zamjenskog robota, potrebno je ažurirati točke dopune (planiranje dopune). Ovaj korak sprječava sudare i omogućuje nastavak bez ljudske interakcije. Robot 1 dovršava preostali posao pokvarenog robota. Robot 1 vozi duž granice zabranjenog područja kako bi izbjegao sudar (Blender i sure., 2016.). Na slici 18. je prikazan scenarij pogreške kod robota.

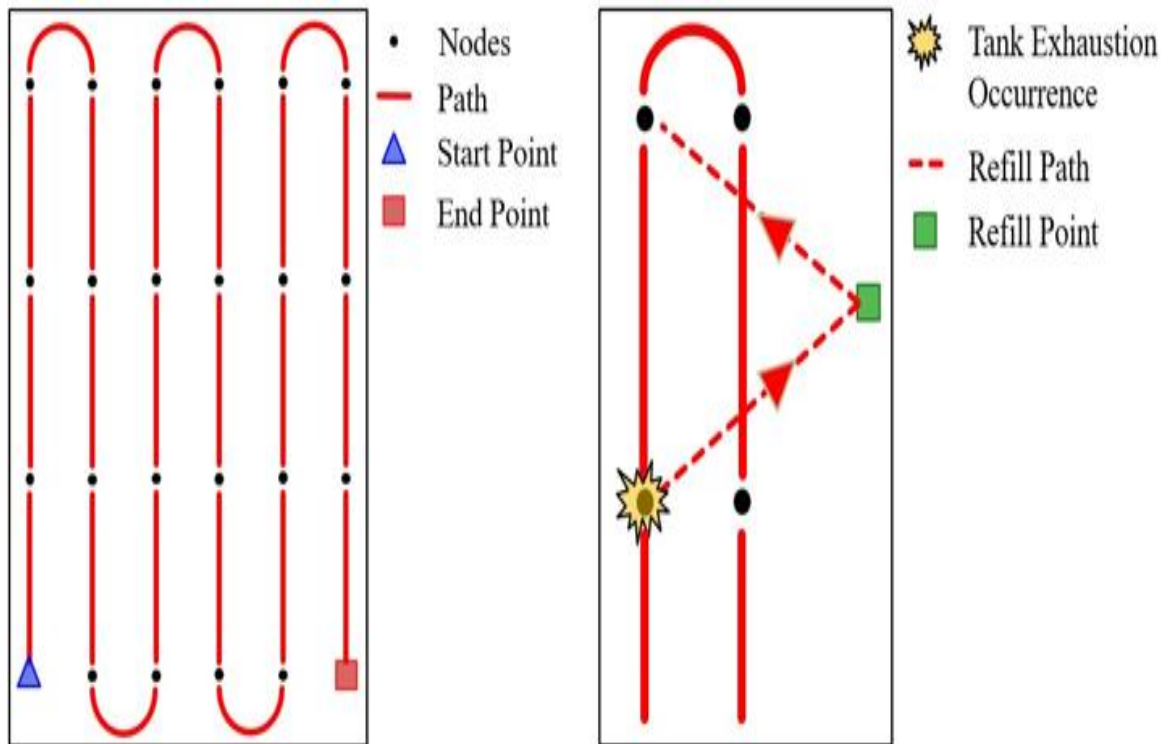


Slika 18. Scenarij pogreške gdje Robot 2 nije uspio obaviti zadatak.

(Izvor: Blender i sur., 2016.).

3.4. Plan nadopune sjemena

Svaki robot posjeduje kapacitet spremnika za sjeme koji se određuje na temelju nosivosti. U skladu s tim, kada se sjemenke u spremniku za sjeme potroše, robot mora otići do mjesta za ponovno punjenje i ponovno napuniti svoj spremnik sjemenkama. Robot se pomiče do točke punjenja koja je najbliža njegovoj trenutnoj lokaciji kako bi primio ponovno punjenje sjemena, a put koji se koristi da se to postigne izračunava se izbjegavanjem čvorova koji su već zasijani. Kada je dopuna sjemena dovršena, robot se vraća na zadnji dosegnuti čvor i nastavlja zadatak sijanja (Jeongeun Kim i sur., 2020.). Na slici 19. je prikazan primjer izračuna putanje (lijevi dio), primjer proračunskog planiranja dopune sjemena (desni dio).



Slika 19. Dopuna sjemena kod robota

(Izvor: Jeongeun Kim i sur., 2020.).

Legenda slike 19.

Nodes = (Čvorovi)

Path = (Put)

Start point = (Početna točka)

End point = (Krajnja točka)

Tank exhaustion occurrence = (Pojava iscrpljenosti spremnika)

Refill path = (Put ponovnog punjenja)

Refill point = (Točka ponovnog punjenja)

4. ROBOTI ZA SJETVU

4.1. MARS roboti u rojevima

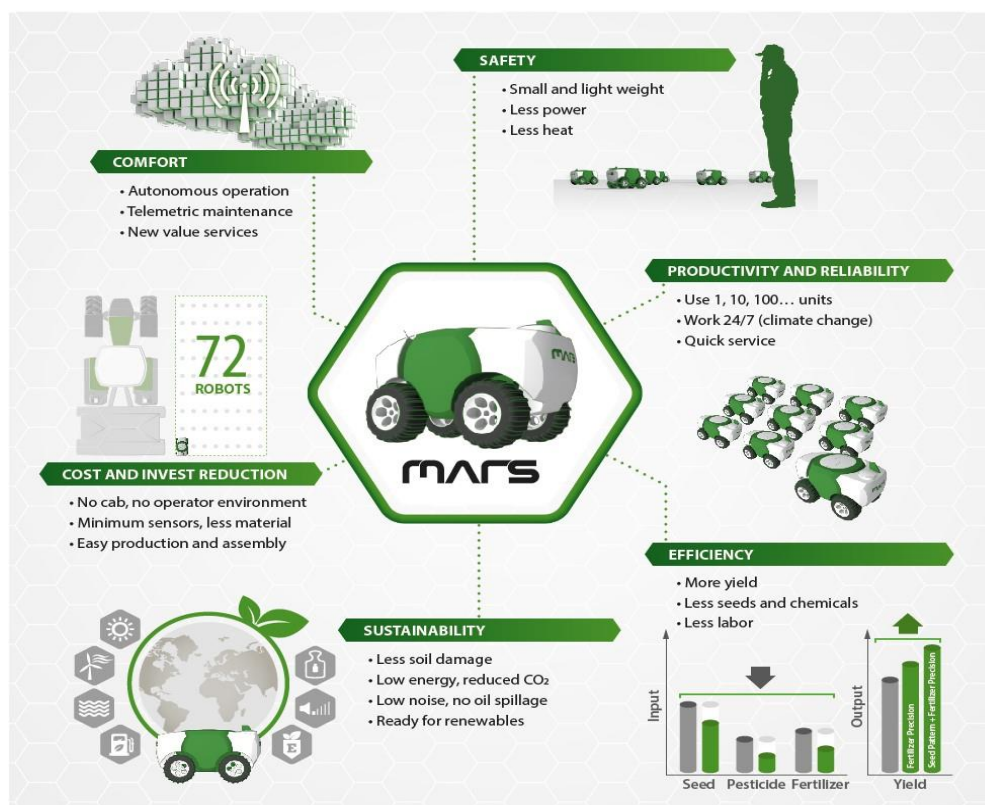
Mobile Agricultural Robot Swarms (MARS) je pristup za autonomne poljoprivredne operacije koordinirane grupe robota. Jedan od ključnih aspekata MARS koncepta je niska individualna inteligencija, što znači da je svaki robot opremljen samo minimalnom senzorskom tehnologijom kako bi se postigao jeftin i energetski učinkovit sustav koji pruža skalabilnost i pouzdanost za zadatke na terenu. Rojeve robota koordinira centralizirana jedinica (OptiVisor) koja je odgovorna za planiranje putanje, optimizaciju i nadzor (Blender i sur., 2016.). Legenda slike 20.(prijevod sa engleskog na hrvatski jezik): Satellites = (Sateliti), Cloud = (Oblak), Tablet = (Tablet), Logistic unit = (Logistička jedinica), Robots = (Roboti). Na slici 20. su prikazane MARS komponente sustava.



Slika 20. MARS komponente

(Izvor: Blender i sur., 2016.).

Na slici 21. su prikazane prednosti MARS koncepta



Slika 21. Fendt MARS koncept: Prednosti MARS robota za poljoprivredu

(Izvor: Blender i sur., 2016.).

Legenda slike 21.

Comfort (autonomous operation, telemetric maintenance, now value services) = (Udobnost (autonomni rad, telemetrijsko održavanje, sada vrijedne usluge)

Cost and invest reduction (no-calls, no operator environment, minimum sensors, less material, easy production and assembly) = (Smanjenje troškova i ulaganja (bez poziva, bez operatorskog okruženja, minimalni senzori, manje materijala, jednostavna proizvodnja i montaža)

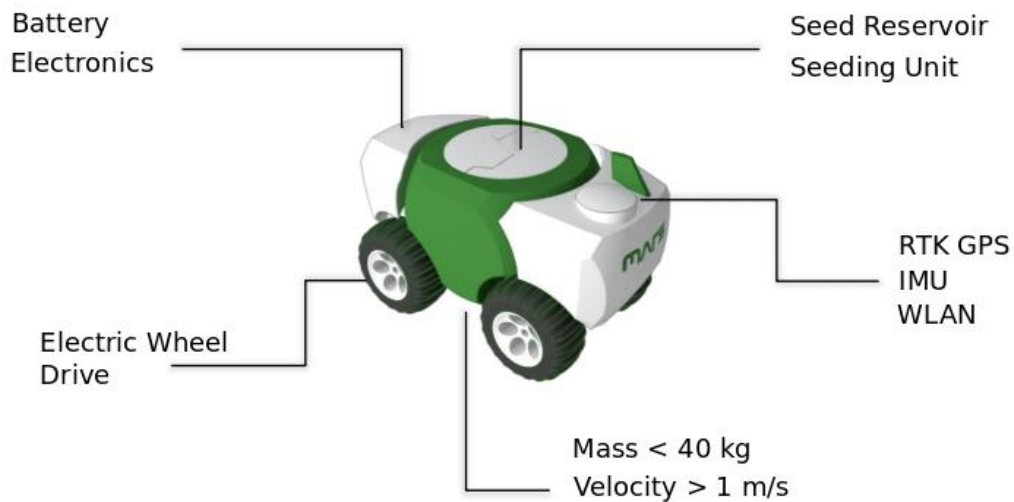
Sustainability (less soil damaged, low energy, reduced CO₂, low noise, no oil spillage, ready for renewables) = (Održivost (manje oštećenja pri prodaji, niska energija, smanjeni CO₂, niska buka, bez izlivanja ulja, spreman za obnovljive izvore energije)

Safety (small and light weight, less power, less heat) = (Sigurnost (mala i mala težina, manje snage, manje topline)

Productivity and reliability (use 1,101,100..., work 24/7(climate change), quick servis) = (Produktivnost i realnost (koristite 1.101.100..., rad 24/7 (klimatske promjene), brz servis)

Efficiency (more yield, less seeds and chemicals, less labor) = (Učinkovitost (više prinosa, manje sjemena i kemikalija, manje rada)

Na slici 22. su prikazani dijelovi MARS robota.



Slika 22. Relevantni podaci o robotu

(Izvor: Blender i sur., 2016.).

Legenda slike 22.

Battery electronics = (Baterijska elektronika)

Electric wheel drive = (Električni pogon kotača)

Seed reservoir = (Spremnik sjemena)

Seeding unit = (Jedinica za sjetvu)

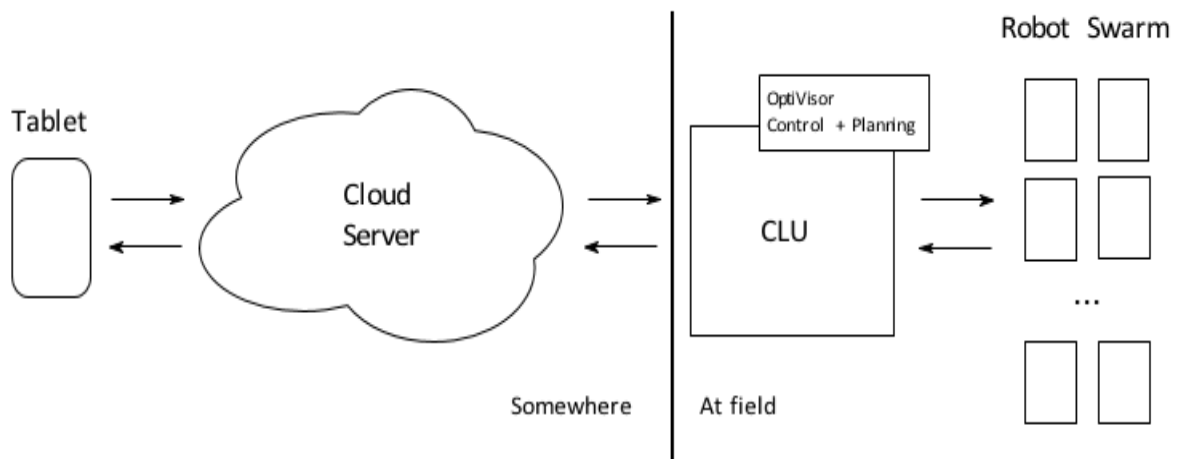
Mass = (Masa)

Velocity = (Brzina)

• OptiVisor (Središnji entitet za upravljanje rojem robota)

– Komunikacija i posredovanje između robota i oblaka

– Planiranje zadatka sijanja, dodjela zadataka robotu, optimizacija i nadzor (Blender i sur., 2016.). Na slici 23. je prikaz komponente kontrole i planiranja rada na lokalnom računalnom i sustavu instaliranom unutar CLU (blizu polja).



Slika 23. Interakcija između MARS komponenti i OptiVisor

(Izvor: Blender i sur., 2016.).

Legenda slike 23.

Tablet = (Tablet)

Cloud server = (Server oblak(Internet))

Somewhere = (Negdje)

At field = (Na polju)

OptiVisor control + Planing = (OptiVisor kontrola + planiranje)

Robot swarm = (Robotski roj)

4.2. Autonomni roboti za sjetvu

4.2.1. Naïo Dino

Uz već desetke Naïo DINO poljoprivrednih robota koji rade u Europi, Naïo Dino stroj počinje djelovati s nekim specifičnim uklanjanjem korova. A Naïo Dino ima čak i 'mlađeg brata' koji se zove Naïo OZ, koji može čistiti travu i nositi stvari na maloj stazi. Dizajnirano u Francuskoj. Čini se da je Naïo Dino do sada jasan 'pobjednik' za robusnost u usporedbi s ducksizeom, kada se ovaj stroj upoređi s ostalima. Početna svrha Naïo Dina je plijevljenje. Međutim, zbog svoje snage i precizne vožnje u praksi je također već stavljen u akciju na

farmama za poslove sjetve i (male) obrade tla. (Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/naio-dino>). Na slici 24. je prikaz Naïo Dino robota.



Slika 24. Robot Naïo DINO

(Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/naio-dino>)

4.2.2. Naïo Oz

Uz već mnogo OZ strojeva koji rade u Europi (oko 150 u 2021.), ovo nije samo 'manji brat DINO-a. Ovo su poljoprivredni roboti zapravo podvrsta 'co-bot'. Može raditi zajedno s vama na 'malim' poljima kada ste u blizini. Odraditi dio posla, dok ga je vrlo lako pokrenuti.

Ključni uvidi:

Maksimalna brzina vožnje 1,5km/h.

Svaki kotač ima motor od 24 V: 4 x 110 W snage

Radna težina je oko 150 kg, ovisno o alatu

Upravljanje na RTK GPS

Dimenzije 130cm dužina x 47cm širina x 83cm visina

Autonomija od cca. 7 sati

Potpuno električni. (Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/naio-oz>).

Na slici 25. je prikaz Naïo Oz robota.



Slika 25. Robot Naïo Oz

(Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/naio-oz>)

4.2.3. Korechi RoamIO

Korechi RoamIO je nova vrsta autonomnog poljoprivrednog robota koji može besprijekorno raditi na velikim područjima. Dizajniran je za polja kukuruza, ali može i mnogo više. Kombinira napredne senzorske mogućnosti s dizajnom za istraživanje, mjerenje i rad u poljima na električnu energiju. S njegovom najvećom brzinom od 9 km/h moći ćete prijeći goleme udaljenosti u apsolutno kratkom vremenu, a da pritom budete nježni prema svojim usjevima zbog vrlo malog pritiska na tlo. Ovo je poljoprivredni robot s glasovnom povratnom informacijom. Dakle, bez ikakve potrebe da se koristite svoj telefon ili bez potrebe da zaustavite robota i pogledate na prašnjavi zaslon, lako ćete razumjeti što se događa. Na primjer, možete pitati robota "Što radiš?" a Korechi RoamIO može odgovoriti s "Sjetva pokrovnog usjeva".

(Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/korechi-roamio>).

Na slici 26. je prikaz Korechi robota.



Slika 26. Robot Korechi RoamIO

(Izvor: <https://www.ducksized.com/product-page/korechi-roamio>)

4.2.4. Agroboti Robotti

Agroboti Robotti ukratko:

Robotti se standardno isporučuje s spojnicom u tri točke. Omogućuje priključivanje standardnih strojeva... ali i za obavljanje operacija bez vozača, naravno. Nekoliko strojeva već radi u Europi. Agroboti Robotti čini se 'prosječnim' između nekih drugih robota kao što su, na primjer, Agxeed i Naïo: gdje je Agxeed očito više usredotočen na mogućnost obavljanja teških vučnih radova, a Naïo se usredotočuje na plijevljenje i upravljiviju platformu s četiri kotača. upravljanja. Dok su Naïo i AgXeed primjeri rješenja usmjerenih na zadatke, Robotti se čini šire orijentiranim. Zvuči sjajno, ali može donijeti značajnu dodatnu složenost kako bi bio uspješan. (Izvor: <https://www.ducksized.com/roboti-agriculture-experience>). Na slici 27. je prikaz Agroboti robota.



Slika 27. Robot Agrobotelli Robotti

(Izvor: <https://www.ducksized.com/roboti-agriculture-experience>)

4.2.5. Farmdroid FD20

Pokretan solarnim panelima, ovaj lagani stroj dizajniran je za sjetvu i plijevljenje. Cilj je smanjiti troškove poljoprivrednika, a isto vrijeme se uzima u obzir CO₂. FarmDroid je prodao i isporučio svoje prve poljoprivredne robote 2019. Godine 2020. roboti FD20 brinuli su se za korpus na farmama u mnogim europskim zemljama. Tvrtku FarmDroid osnovala su dva brata koji su odrasli na farmi u Danskoj. Jedan od investitora je izumitelj robota Esben Østergaard. Izumio je prvog kobota (kolaborativnog robota) na svijetu.

(Izvor: <https://www.ducksized.com/product-page/farmdroid-fd20>).

Na slici 28. je prikaz Farmdroid robota.



Slika 28. Robot Farmdroid FD20

(Izvor: <https://www.ducksize.com/product-page/farmdroid-fd20>)

5. PREDNOSTI I MANE ROBOTA ZA SJETVU

5.1. Prednosti i nedostaci robota

Prednosti:

- a) Roboti se ne razboljevaju niti umaraju i ne treba im slobodno vrijeme, mogu raditi s manjim tolerancijama (tako da je svaka runda u punom kapacitetu polja), nude manje pogrešaka i većim brzinama, a kvalitetniji proizvodi mogu biti točno osjetili strojevi.
- b) Kako se strojevi mogu učiniti lakšim i jeftinijim ako se eliminiraju vozačevo sjedalo, kontrole i kabina, roboti se mogu koristiti u raznim poljima poljoprivrede, roboti mogu lako zaobilaziti drveće, kamenje, bare i druge prepreke.
- c) Roboti mogu smanjiti do 80% upotrebe pesticida na farmi, Roboti bi mogli obavljati više ili drugačije zadatke u budućnosti, Roboti mogu stvoriti poslove za ljude koji moraju napraviti robote i koji moraju popraviti robote.
- d) Robotika se širi svakim danom kako bi pokrila daljnja područja, budući da mogućnost zamjene ljudskih operatera pruža učinkovita rješenja s povratom

ulaganja, robotika obavlja teške zadatke koji su štetni za zdravlje radnika, dakle, oni nude sigurnost radnicima .

- e) Roboti mogu zaštititi ljudske radnike od štetnih učinaka rukovanja kemikalijama rukama i kroz sustav visokog raspršivanja te mogu smanjiti do 80% upotrebe (Izvor: pesticida na farmi. <https://www.online-sciences.com/robotics/agricultural-robots-advantages-and-disadvantages/>).

Nedostaci robota:

- a) Izrada ili kupnja robota košta puno novca. Potrebno im je održavanje kako bi radili, farmeri mogu izgubiti posao, roboti mogu promijeniti kulturu, emocionalna privlačnost poljoprivrede i problemi s energijom su skupi.
 - b) Roboti bi mogli biti prihvatljiviji nepoljoprivrednoj zajednici. Poslovi u poljoprivredi zahtijevaju inteligenciju i brzinu, a roboti se mogu zamijeniti ljudskim operaterom.
 - c) Visoki troškovi istraživanja i razvoja.
 - d) Nedostatak pristupa siromašnim poljoprivrednicima.
- (Izvor: pesticida na farmi. <https://www.online-sciences.com/robotics/agricultural-robots-advantages-and-disadvantages/>).

5.2. Prednosti i nedostaci različitih modaliteta senzora za vanjsku percepciju.

Iako auto-navođena poljoprivredna vozila koriste Global Navigacijski sustavi temeljeni na sustavu pozicioniranja (GPS) imaju u praktičnoj uporabi već nekoliko godina, ovi sustavi ne daju bilo kakvu informaciju o "dinamici" okoline. Nadalje, karta ne sadrži nikakve informacije o pokretnim objektima (npr. ljudima, životinjama i vozilima) koji bi mogli biti prisutni na sceni i zahtijeva podatke za ispravak, kao i iznimno točno poznavanje lokacija redova usjeva. To uzrokuje veliki sigurnosni problem povezan s bilo kojom vrstom autonomne navigacije i rada. Buduća poljoprivredna vozila morat će raditi na velikim poljima, kao što su usjevi s velikim hektarima, uz ograničen ljudski nadzor, uz očuvanje sigurnosti (Reina i sur., 2016.). Na slici 29. su prikazane prednosti i nedostaci kod senzora.

Sensor modality	Advantages	Disadvantages
Mono/stereovision	Natural interpretation for humans Relatively high resolution Relatively high sampling rate Rich content (colour and texture for mono and stereovision, range for stereovision)	Risk of occlusions Sensitive to lighting conditions Poor performance in low visibility conditions (rain, fog, smoke, etc.) Relatively short range (up to 15–30 m)
LIDAR	Accurate ranging over medium range (up to 30–40 m) Narrow beam spread Fast operation Fast lock on time Integration with rotating platforms for 3D acquisition	Advanced processing algorithms and special hardware for data acquisition. Costs related to accuracy and range Sensitive to dust, fog and rain, and rounded surfaces Some risk of occlusion No colour or texture information
Radar	Robustness to environmental conditions Long range (up to 100–150 m) Panoramic perception (360°) Multiple targets	Relatively low sampling rate (except for high-end sensors) Difficulty in signal processing and interpretation Low resolution 3D map limited to pencil beam radar
Thermography	Invariant to illumination Robust against dust and rain Detect humans and animals	Relatively low resolution Some risk of occlusion Difficulty in calibration

Slika 29. Prednosti i nedostaci kod modaliteta senzora

(Izvor: Reina i sur., 2016.)

Legenda slike 29. Sensor modality = (Modalitet senzora), Advantages = (Prednosti), Disadvantages = (Nedostaci) Mono/stereovision = (Mono stereovizija), LIDAR(LIDAR), Radar(Radar), Thermography = (Termografija) Natural interpretation for humans = (Prirodno tumačenje za ljude), Relatively high resolution = (Relativno visoka rezolucija), Relatively high sampling rate = (Relativno visoka stopa uzorkovanja), Rich content (colour and texture for mono and stereovision, range for stereovision = (Bogat sadržaj (boja i tekstura za mono i stereovizija, opseg za stereoviziju)), Risk of occlusions = (Rizik od okluzija), Sensitive to lighting conditions = (Osjetljivo na svjetlosne uvjete), Poor performance in low visibility conditions (rain, fog, smoke, etc.) = (Loše performanse u uvjetima slabe vidljivosti (kiša, magla, dim itd.)), Relatively short range (up to 15–30 m) = (Relativno mali domet (do 15–30 m)), Advanced processing algorithms and special hardware for data acquisition = (Napredni algoritmi obrade i poseban hardver za prikupljanje podataka.), Accurate ranging over medium range (up to 30–40 m) = (Precizno mjerenje srednje udaljenosti (do 30–40 m)), Narrow beam spread = (Širenje uske zrake), Fast operation = (Brz rad), Fast lock on time = (Brzo zaključavanje na vrijeme), Integration with rotating platforms for 3D acquisition = (Integracija s rotirajućim platformama za 3D snimanje), Costs related to accuracy and range = (Troškovi koji se odnose na točnost i domet), Sensitive to dust, fog and rain, and rounded surfaces = (Osjetljivo na prašinu, maglu i kišu, te zaobljene površine), Some risk of occlusion = (Neki rizik od okluzije), No colour or texture information = (Nema informacija o boji ili teksturi), Relatively low sampling rate (except for high-end sensors) = (Relativno niska stopa uzorkovanja (osim za vrhunske senzore)), Robustness to environmental conditions = (Otpornost na uvjete okoline), Long range (up to 100–150 m) = (Veliki domet (do 100–150 m)), Panoramic perception (360o) = (Panoramska percepcija (360o)), Multiple targets = (Više ciljeva), Difficulty in signal processing and interpretation = (Poteškoće u obradi i interpretaciji signala), Low resolution = (Niska rezolucija), 3D map limited to pencil beam radar = (3D karta ograničena na radar s olovkom), Invariant to illumination = (Nepromjenjiv na osvjetljenje), Robust against dust and rain = (Otporan na prašinu i kišu), Detect humans and animals = (Otkrijte ljude i životinje), Relatively low resolution = (Relativno niska rezolucija), Some risk of occlusion = (Neki rizik od okluzije), Difficulty in calibration = (Poteškoće u kalibraciji).

6. ZAKLJUČAK

Poljoprivredna proizvodnja se suočava sa sve većom potražnjom hrane na sve manjoj površini obradivog tla uslijed sve većega broja stanovnika na Zemlji te klimatskih i ljudskih negativnih posljedica po prirodu i okoliš. Upravo zbog toga se prigrllila ideja za upotrebom robota za sjetvi u poljoprivrednoj proizvodnji.

Kao što je prikazano u radu sve više i više ima robota za sjetvu od velikih proizvođača poljoprivredne mehanizacije(MARS) te i od manjih proizvođača i ljudi većinom (znanstvenika) sa novim idejama i zamislama za implementaciju kod robota.

Prema navedenome iznad potreba za preciznom poljoprivredom je sve veća stoga nam roboti za sjetvu mogu pomoći puno sa svojim prednostima preciznošću, uštedom resursa, geokodiranjem, primjenom novih sustava RTK i GPS karata. Ali je put još dug prije negoli se dođe do konvencionalne upotrebe robota za sjetvu uslijed nedostatak kao što su cijena, vrijeme autonomije rada, ekologije(iskapanje rude za izradu baterija), konekcija(WIFI), te naposljetku osjetljivosti na vremenske uvjete, senzore i dinamiku okoliša.

Ali kada se sve zbroji dolazimo do zaključka da je neophodan napredak korištenja inovativnih tehnologija kao što su roboti u poljoprivrednoj sjetvi za rješavanje budućih problema.

7. LITERATURA

1. Bhimanpallewar, R. N., & Narasingarao, M. R. (2020). AgriRobot: implementation and evaluation of an automatic robot for seeding and fertiliser microdosing in precision agriculture. Izvor: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJARGE.2020.107064> (24.09.2023.).
2. Blender, T., Buchner, T., Fernandez, B., Pichlmaier, B., & Schlegel, C. (2016.). Managing a mobile agricultural robot swarm for a seeding task. Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7793638/> (24.09.2023.).
3. Chavan M., (2022.). Automated Seed Sowing Robot. Izvor: <https://www.questjournals.org/jecer/papers/vol8-issue7/A08070105.pdf> (24.09.2023.).
4. Goris, K. (2005). Autonomous mobile robot mechanical design. Izvor: http://mech.vub.ac.be/multibody/final_works/ThesisKristofGoris.pdf (24.09.2023.).
5. Jayakrishna, P. V. S., Reddy, M. S., Sai, N. J., Susheel, N., & Peeyush, K. P. (2018.). Autonomous seed sowing agricultural robot. (24.09.2023.). Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8554622/> (24.09.2023.).
6. Kim, J., Ju, C., & Son, H. I. (2020). A multiplicatively weighted voronoi-based workspace partition for heterogeneous seeding robots. Izvor: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/11/1813> (24.09.2023.).
7. Kumar, P., & Ashok, G. (2021). Design and fabrication of smart seed sowing robot. Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320355425> (24.09.2023.).
8. Moeller, R., Deemyad, T., & Sebastian, A. (2020.). Autonomous navigation of an agricultural robot using RTK GPS and Pixhawk. Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9249176/> (24.09.2023.).
9. Nagdeve, T., Jangde, P., Tandulkar, H., Dhara, S., Ukani, N., & Chakole, S. (2020.). Design of Automated Seed Sowing Robot for BT Cotton Seed. Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9183259/> (24.09.2023.).
10. Oliveira, L. F., Silva, M. F., & Moreira, A. P. (2020). Agricultural robotics: A state of the art survey. In Proceedings of the Robots in Human Life. Izvor: https://www.researchgate.net/profile/ManuelSilva8/publication/343714348_Robots_in_Human_Life__CLAWAR'2020_Proceedings/links/5f3bba98299bf13404cd6c3

- 0/Robots-in-Human-Life-CLAWAR2020-Proceedings.pdf#page=295
(24.09.2023.).
11. Reina, G., Milella, A., Rouveure, R., Nielsen, M., Worst, R., & Blas, M. R. (2016). Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. Izvor:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511015001889> (24.09.2023.)
 12. Santhi, P. V., Kapileswar, N., Chenchela, V. K., & Prasad, C. V. S. (2017.). Sensor and vision based autonomous AGRIBOT for sowing seeds. Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8389873/> (24.09.2023.).
 13. Poveznica (izvor): <https://www.ducksize.com/robots-for-sowing> (24.09.2023.).
 14. Poveznica (izvor): <https://www.online-sciences.com/robotics/agricultural-robots-advantages-and-disadvantages/> (24.09.2023.).
 15. Slika 11. (Izvor: <https://i.ebayimg.com/images/g/cgIAAOSwdpVZu5p/s-11600.jpg>) (24.09.2023.).
 16. Slika 12. (Izvor: https://www.researchgate.net/profile/ErayOnler/publication/300616662/figure/fig1/AS:355264122376195@1461712975307/COMPONENTS-OF-THEAGRICULTURAL-ROBOT_Q640.jpg) (24.09.2023.).
 17. Slika 17. (Izvor: <https://geocentar.com/gnss-gps-rtk-metoda-rada-u-praksi/>) (24.09.2023.).