

Robotska platforma za branje, klasifikaciju i pakovanje konzumnih glljiva u voľ njacima

Aleksandar Rodiľ, *ćlan ETRAN-a*, Ilija Stevanoviľ i Uroć Iliľ

Apstrakt—U radu je predstavljeno inovativno tehnićko rešenje za mašinsko branje konzumnih šljiva pomoću robota, klasifikaciju plodova po kvalitetu, primenom robotske vizije i veštaćke inteligencije, automatsko pakovanje ubranih plodova u odgovarajuću ambalažu i njeno odošenje do mesta preuzimanja od strane pomoćnog radnika. Branje konzumnih šljiva, predstavlja zamoran, manuelni sezonski posao. Konzumna šljiva za trţište mora da zadovolji visoke standarde bioloćkih vrednosti hrane (zrelost, krupnoća, boja, mekoća, izgled i ukus) i kriterijume sanitarne ispravnosti (sveţina, zdravstvena ispravnost, itd.). Da bi plod šljive bio isporućen na trţište, kao proizvod visoke klase, on mora imati odgovarajuću krupnoću, zrelost i boju ploda, oćuvan plavićasti prah (pepeliku) na pokozici i mora posedovati neoštećenu peteljku (drćkicu) ploda kojom je šljiva vezana za granu voćnog stabla. Konzumna šljiva se najćeće isporućuje u gajbicama ili se slaţe u kartonske kutije, u posebne plastićne korpice (gnezdaća), pojedinaćno, kako bi se što duţe oćuvala bioloćke vrednosti, sveţina i sanitarni kvalitet plodova. Robotska platforma za branje, klasifikaciju i pakovanje konzumnih šljiva na velikim plantaţama omogućava automatizovan postupak mašinskog branja plodova šljiva koja podrazumeva otkidanje plodova “komad-po-komad” sa grana voćnog stabla. U radu je opisan koncept robotske platforme s akcentom na detalje mehanićkih podsistema platforme.

Ključne reći—Agro-roboti, robot-berać, linearni 3-osni pozicioner, teleskopska robotska ruka, robotska hvataljka.

I. UVOD

Robotska platforma za branje, klasifikaciju i pakovanje konzumnih glljiva na plantaћama omogućava automatizovan postupak branja plodova glljiva koja podrazumeva otkidanje plodova komad-po-komad sa grana voćnog stabla. Ovaj postupak ne obuhvata otesanje plodova poćo ovaj vid sakupljanja fizićki oćreľuje plodove. Trećenje (otesanje) plodova se primenjuje kod branja glljiva namenjenih za pravljenje rakije ili dћemova ali ne i za branje konzumnih glljiva namenjenih za ishranu. Glljive se gaje u voľ njacima, gde je meľusobni razmak stabala u plodoredu 4-5 metara a razmak izmeľu susednih drvoreda je oko 5 metara iz razloga da bi mogla da se koristi mehanizacija ali i zbog boljeg ovazdućenja voľ njaka. Stabla glljiva, u zavisnosti od sorte, mogu dostiľi visinu 5-6 metara a u preľniku kroćnje 4-5 metara. Svaki

postupak za branje glljiva, bez obzira da li se radi o ruľnom branju ili branju uz pomoć mehanizacije, mora obezbediti punu dohvatljivost plodova po celoj kroćnji - ģirini, visini i dubini stabla. Takoće, mora se omogućiti beraću (radniku ili maćini) nesputani vizuelni pregled kroćnje stabla, prepoznavanje krupnoće, boje, zrelosti, isl. Ako se berba radi i noľu, mora se obezbediti i odgovarajuće osvetljenje. U ovom radu predstavljena je tehnologija automatizovanog branja plodova glljiva okomad-po-komad u pomoć nekoliko robotskih ruku s posebnim, namenski prjektovanim hvataljkama koje paћljivo otkidaju, prenose i pakuju plodove u odgovarajuću ambalaću. Dopunski sistem robotske vizije omogućava selekciju i klasifikaciju plodova glljiva po kvalitetu tako da se na izlazu postrojenja preuzimaju napunjene gajbice s plodovima u prvoj klasi kvaliteta, spremne za transport do hladnjaće ili direktno u trgovinske lance.

II. STANJE TEHNIKE

Glljiva se u danaćnje vreme na plantaћama bere ruľno tako ģto sezonski radnici koriste traktorsku platformu s stojićima na razlićitoj visini tako da se mogu obrati plodovi do visine vrha stabla. Traktor vuće platformu malom brzinom 0,2-0,3 m/s. Najćeće do 6 radnika opsluћuje platformu za branje u laganom pokretu. Radnici istovremeno vrće klasifikaciju kvaliteta plodova u prvu i drugu klasu. Samo visoke klase kvaliteta plodova idu u trgovine kao konzumna glljiva. Pri takvom naćinu branja, jedan sezonski radnik u proseku za 8h ubere oko 200 kg glljiva.

Osim mehanizacije za podrćku ruľnom branju glljiva na plantaћama postoje i izvesna automatizovana rećenja za sakupljanje. ģto se tiće automatizovanog postupka, većina postojećih rećenja se zasniva na trećenju (otesanju) plodova s stabla. Najćeće se na kardanski zglob traktora vezuje vibracioni mehanizam nћ tresal', koji drma stablo odrećenom frekvencijom i na taj naćin otesa zrele plodove s grana. Plodovi padaju na razapete ciraće od platna. Nakon pada s grane na ciraću, plodovi se pod nagibom usmeravaju ka mestu gde se sakupljaju. Pre pakovanja u ambalaću, potrebno je oľistiti sakupljenu gomilu plodova od lićla, sitnih granľica, trulih i suvih plodova i drugih dospelih neľistoľa i to se radi ruľno. Meľutim, pri ovakvom naćinu branja trećenjem, plodovi se mehanićki oćreľuju i brće trule. Uglavnom se ovakvim naćinom branja sakuplja voľ e koje je namenjeno za dalju preradu u rakiju ili dћemove a retko i za plasman na trhiće.

Postoje razlićiti pokućaji i komercijalna robotska rećenja za primenu robota u procesu branja i sakupljanja plodova.

Aleksandar Rodiľ nћ Institut oľMihajlo Pupin o d.o.o. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija (e-mail: aleksandar.rodic@pupin.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-5595-9724>)

Ilija Stevanoviľ nћ Institut oľMihajlo Pupin o d.o.o. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija (e-mail: ilija.stevanovic@pupin.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0003-4862-0375>)

Uroć Iliľ nћ Institut oľMihajlo Pupin o d.o.o. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija (e-mail: uros.ilic@pupin.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0003-3955-8995>)

Najviše je robotskih berača konstruisano za branje jabuka, pomorandhi, mandarina i kivija. Generalno rečeno, izdvajaju se dva tipa robotskih berača: (i) branje uz pomoć robotske ruke s vakumskom sisaljkom, i (ii) branje uz pomoć robotske ruke s mehanim hvataljkama s dva, tri ili više prstiju.

Od komercijalno primenjivih robotskih rešenja isti su se dva namenjena za branje jabuka i narandhi: (i) tehničko rešenje kompanije iz Izraela [1] i (ii) rešenje [2, 3] iz SAD. Ostali primeri robotskih rešenja su uglavnom akademskog karaktera, razvijena na svetskim univerzitetima i nisu još u komercijalnoj primeni [4]-[6].

III. ROBOT-BERAČ - STRUKTURA

Robot-kombajn za mašinsko branje, klasifikaciju, pakovanje i odlaganje konzumnih glljiva u voćnjacima predstavlja mobilnu (pokretnu/prenosivu) robotsku platformu koja zamenjuje do 8 sezonskih radnika na berača. Postrojenje istovremeno radi klasifikaciju kvaliteta plodova na licu mesta i pakuje proizvode u ambalažu spremnu dalje za distribuciju. Globalna arhitektura strukture sistema je prikazana na Slici 1. Robotska platforma se sastoji iz nekoliko funkcionalnih modula: (i) transportnog modula na nosaču robotske platforme, (ii) kompozitnog robotskog sistema sa više linearnih 3-osnih pozicionera i teleskopskih robotskih ruku s specijalizovanim hvataljkama za branje i hvatanje plodova, (iii) inteligentnog sistema robotske vizije s dopunskim ambijentalnim osvetljenjem i ugrađenim algoritmima za klasifikaciju kvaliteta plodova po kategorijama velič u toku procesa branja, (iv) sistema za automatsko pakovanje plodova u gajbice i odlaganje napunjene ambalaže do mesta preuzimanja od strane pomoćnog radnika, (v) sistema automatskog upravljanja i koordinacije rada funkcionalnih podsistema, i (vi) sistema za snabdevanje robotske platforme električnom energijom za potrebe pogona i izvršavanja zadataka branja.

A. Transportni modul – nosač robotske platforme

Ovaj modul čine zajedno traktor (1) i prikolica (2) koji nose specijalizovanu robotsku opremu za branje, klasifikaciju, pakovanje plodova u gajbice i odlaganje ambalaže (Slika 1).

B. Kompozitni višeručni robotski sistem

Njega čine 3-osni X-Y-Z linearni pozicioni mehanizam koji se naziva i Kartezijanski sistem (3), na koji se postavlja teleskopska robotska ruka (4) s specijalizovanom robotskom hvataljkom (5) koja služi za pažljivo branje plodova s osetljivom poklopicom i mekšom strukturom (kao što su glljiva, breskva, kajsija, trešnja, itd.). Kompozitni robotski sistem (31), prikazan na Slikama 2 i 3, može imati najmanje dva a najviše do 8 ovih robotskih modula (32) raspoređenih po četiri sa svake strane prikolice na četiri levo i četiri desno (Slike 2 i 3). U sklopu kompozitnog robotskog sistema nalaze se odgovarajuć i senzori položaja robota (15), senzori brzine (16) klizala linearnog pozicionog sistema (3) i teleskopskih ruku (4) i senzori koji mere kontaktne sile (17) stiska hvataljke odn. otkidanja ploda na vrhu robotske ruke.

C. Inteligentni sistem za mapiranje plodova

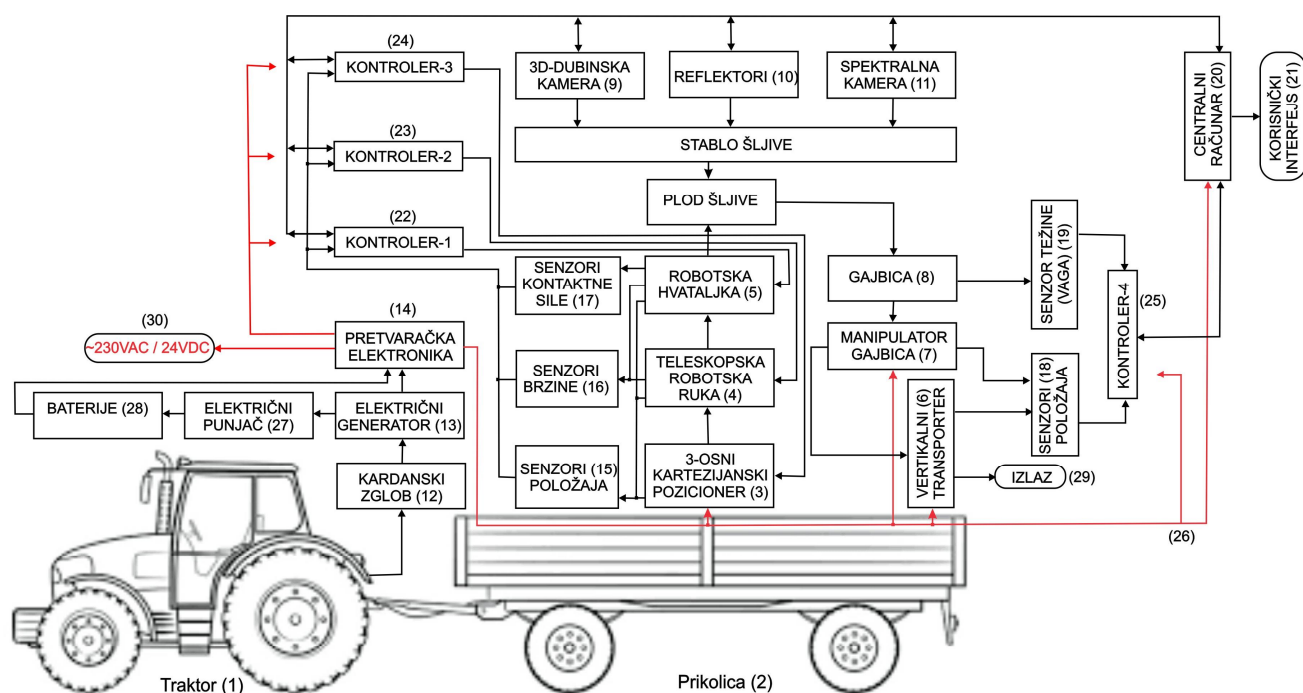
Ovaj sistem namenjen za mapiranje plodova glljiva na stablu i klasifikaciju kvaliteta plodova zasnovan na robotskom vidu. Čine ga jedna širokopojasna RGB-D dubinska kamera KAM-1 (9) i jedna uskopojasna spektralna kamera KAM-2 (11) kombinovani s led reflektorom (10) kao dopunskim izvorom osvetljenja. Globalna, dubinska kamera KAM-1 (9) služi za prepoznavanje oblika, detekciju plodova na granama i mapiranje glljiva (kao ciljnih tačaka) unutar krošnji stable, generisanjem digitalne mape 3D-koordinata tačaka u kojima su identifikovani zreli, plavi plodovi. Uskopojasna kamera KAM-2 (11) je montirana na samoj hvatajci robotske ruke (5). Ona služi za fino pozicioniranje hvataljke robota prilikom njenog primicanja ciljnoj tački (tačka vezivanja tanke drške ploda glljive na grani) ali takođe i za prepoznavanje izbliza stepena zrelosti, veličine i zdravstvene ispravnosti ploda (trulež, buča, oštećenje usled udarca grada, isl.). Led reflektor (10) služi da obezbedi dopunsko osvetljenje radnog prostora, odn. vidnog polja kamere, bilo u uslovima slabijeg ambijentalnog svetla ili u slučaju prisustva senki u fokusu kamere.

D. Sistem za robotizovano pakovanje

Sistem za automatsko pakovanje ubranih plodova glljiva u gajbice i odlaganje napunjene ambalaže čine vertikalni transporter na liftu (6), manipulator ambalaže (7) i ambalaža (gajbice ili kutije) za odlaganje ubranih plodova (8) ali takođe i odgovarajuć i senzori – senzor položaja lifta (18) i senzor težine napunjene gajbice na polici (19). Lift (6) služi da s dna traktorske prikolice (2) podigne ambalažu (gajbicu, kutiju), koju je prineo pomoćni radnik, do odgovarajuće visine (etaže) gde se nalazi odgovarajuća robotska ruka koja će je puniti plodovima (Slike 2 i 3). Lift (6) takođe služi da spusti napunjenu gajbicu s viših nivoa robotske platforme nadole do izlaza (29), prijemnog mesta, gde je preuzima čovek radi dalje distribucije i skladištenja. Manipulator ambalaže (7) služi da praznu gajbicu preuzme sa lifta i postavi je na odgovarajuću policu nadomak robotske ruke radi pakovanja plodova. Kada je lift u krajnjem donjem položaju, prilazi pomoćni radnik i odnosi napunjenu gajbicu dalje a umesto nje stavlja praznu na lift koji će je potom odneti do robota. Za to vreme, robot čeka kako bi nastavio s radom kad mu prazna gajbica bude na raspolaganju za novo pakovanje. Ukratko to je postupak.

E. Sistem automatskog upravljanja i koordinacije rada podsistema

Sistem automatskog upravljanja i koordinacije rada svih podsistema čine Kontroler-1 (22), Kontroler-2 (23), Kontroler-3 (24), Kontroler-4 (25) i njima nadređeni centralni računar (20) koji koordinira radom pomenutih kontrolera i obezbeđuje komunikaciju između podsistema – funkcionalnih modula sistema. Kontroler-1 (22) odgovoran je za pravilan rad 3-osnih linearnih pozicionih mehanizama (3), za njihovo precizno postavljanje u odnosu na uočene ciljeve (plodove na granama). Za svoj rad, kontroleri (22) i (23) koriste povratane sprege po položaju i brzini detektovane od strane odgovarajućih senzora položaja (15) i senzora brzine (16).



Sl. 1. Globalna šema strukture robota-kombajna za mašinsko branje, klasifikaciju i pakovanje glljiva u gajbice i odlaganje ambalaže do mesta preuzimanja od strane pomolnog radnika neposredno u voľnjacima.

Hvataljka robota poseduje na sebi senzor kontaktne sile (17) kojeg koristi Kontroler-3 (24) da reguliše silu hvatanja na prstima (makazama) hvataljke i otkidanja ploda glljive s grane voľnog stabla. Centralni računar (20) sinhronizuje rad robotskih sistema (3)-(4) i režim donošenja i odnošenja gajbica, manipulatora (7). Važan deo ovog podsistema lini grafički korisnički interfejs (21) čiji je zadatak da prikupi sve važne informacije o radu podsistema, da ih arhivira i prikazuje obaveštenja operateru u slućaju pojave neregularnosti u radu bilo kojeg dela sistema. Više detalja o postupku rada celog sistema biće dato u nastavku izlaganja.

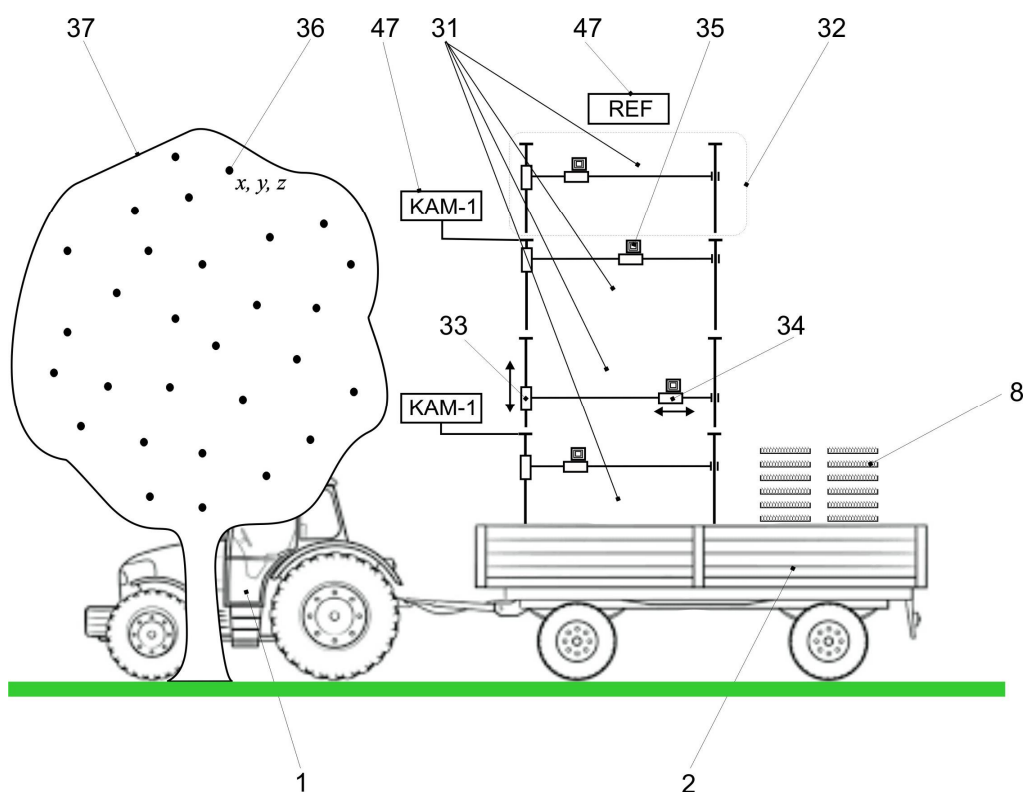
F. Sistem glavnog i pomoćnog napajanja

Sistem glavnog i pomoćnog napajanja robotskih pogona na urećaju za branje glljiva čine izvor energije - kardanski kinetički zglob traktora (12), elektrićni sinhroni generator (13), regulator napona i odgovarajuća pretvaraćka elektronika (14), punjać baterija (27) i dugotrajne baterije s mogućnoću dopunjavanja (28). Ovaj sistem koristi kinetićku energiju motora na kardanskom zglobu za pogon elektro-generatora koji slući da obezbedi elektrićnu energiju za funkcionisanje celog sistema i robotske platforme, vertikalnog transportera, razlićitih senzora, kamera, osvetljenja i upravljaćke elektronike. Sistem je modularan, smećen je u metalni elektro-orman koji se postavlja na traktorsku prikolicu i integralni je deo tehnićkog rećenja ovog robota-kombajna. Sistem za generisanje elektrićne energije obezbećuje jednosmerni napon 24VDC za većinu potroćala ali preko strujnog invertera 24VDC/~220VAC daje i naizmenićni napon na svom izlazu (30). To omogućava da se u toku rada sistema, po potrebi, mogu iz ovog izvora napajati dodatne maćine alatke poput re-

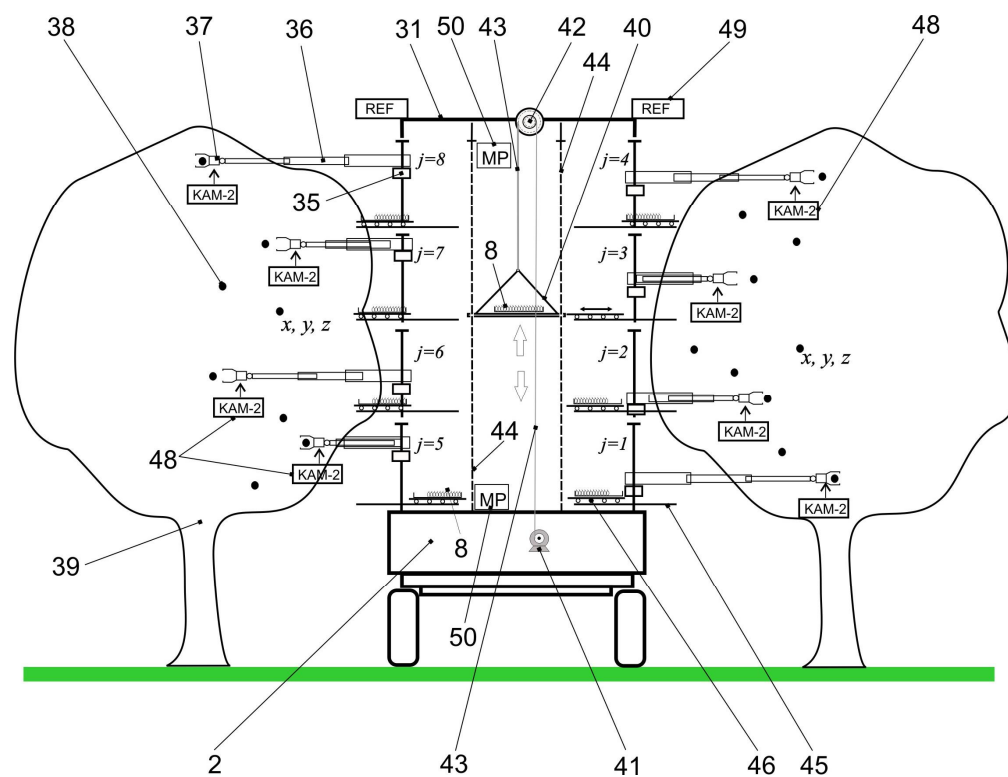
cimo elektrićne testere i elektrićnog trimera, sećkalice za granje, elektrićng tresala grana, vodene pumpe, isl. To daje sistemu dodatnu praktićnu vrednost pri korićenju u voľnjaku gde nema drugih dodatnih izvora elektrićne energije.

IV. KOMPOZITNI ROBOTSKI SISTEM ZA BRANJE

Kompozitni robotski sistem Sistem prikazan na Slici 2 i Slici 3, je modularan i čine ga: metalni nosać i ram (31) za koji su fiksirani jedan ili viće (po 4 komada s svake strane) linearnih pozicionih (kartezijskih) sistema (32), postavljenih jedan iznad drugoga tako da formiraju zajedno rećetkasti toranj visine oko 4 metra posmatrano od gornje ivice prikolice (2). Linearni kartezijski roboti (32) omogućavaju pozicioniranje sistema za branje glljiva u tri koordinatna pravca: a) vertikalnom i Y-pravac oćore-doleo (33), b) transversalnom i X-pravac oćevo-desnoo (34) i c) longitudinalnom i Z-pravac oćnapred-nazadoo po dubini stabla (35). Linearni pozicioni roboti (32) se mogu montirati po četiri komada jedan iznad drugog, sa obe strane traktorske prikolice (2), čineći na taj naćin jedan kompozitni robotski manipulativni sistem (Slike 2 i 3). Kompozitni robotski sistem se sastoji iz maksimalno 8 robotskih ruku (berala), po četiri s leve i desne strane posmatrano u odnosu na pravac kretanja traktora izmeću drvoreda. Svaki 3-osni linearni pozicioni robot (32) nosi po jednu teleskopsku robotsku ruku (36), koja u ispruženom stanju moće dohvatiti plodove unutar kroćnje stabla na maksimalnoj udeljenosti od $z=2,5$ metra u odnosu na nosać i ram (31). U uvućenom stanju, robotska ruka (36) je smećtena unutar gabarita metalnog rama (31). Kad je traktor (1) u pokretu (u transportnom režimu), te-

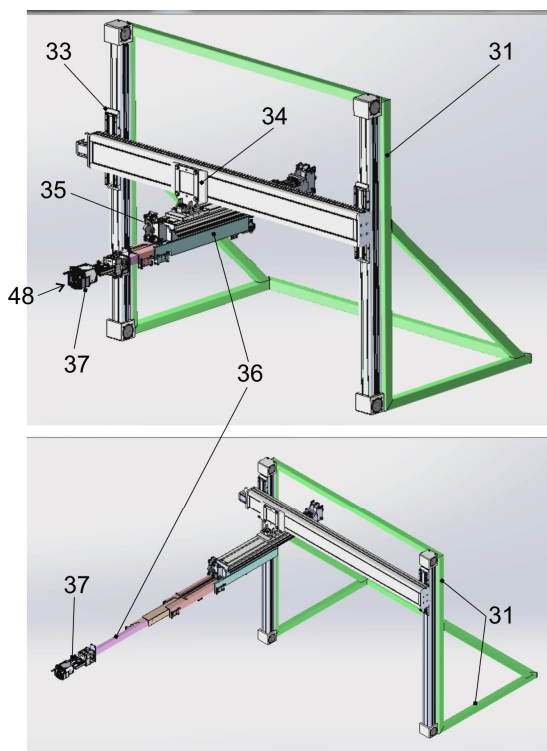


Sl. 2. Principijelna gema robota-kombajna za mašinsko branje, klasifikaciju i pakovanje plodova u voľnjaku s sistemom za automatsko odlaganje ambalaše (pogled upravan na pravac kretanja traktora).



Sl. 3. Principijelna gema robota-kombajna za mašinsko branje, klasifikaciju i pakovanje plodova u voľnjaku s sistemom za automatsko odlaganje ambalaše (pogled u pravcu kretanja traktora).

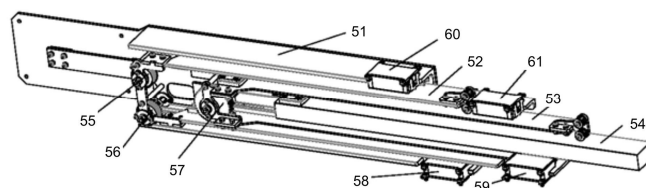
teleskopske robotske ruke (36) su uvuĉene i nalaze se u svom krajnjem zadnjem poloŹaju kako bi se eliminisala opasnost od kolizije (sudara, grebanja) s granama stabla u toku kretanja traktora. Linearni 3-osni pozicioni robot, (Gantry robot, Slika 4), posedje tri linearna motora (33), (34) i (35) koji su namenjeni za pokretanje tri klizna zgloba robota duŹ vertikalnog, transverzalnog i longitudinalnog Y-, X- i Z-pravca. Teleskopska ruka (36) je montirana na linearni klizal' (35) Kartezijanskog robota. Na vrhu teleskopske ruke (36) nalazi se namenski konstruisana hvataljka (37) za branje plodova glljive (38) sa grana stabla (39), Slika 4.



Sl. 4. 3D model linearnog troosnog X-Y-Z koordinatnog pozicionera (32) s teleskopskom robotskom rukom i hvataljkom.

Teleskopska ruka (36) predstavlja četvorosegmentni sklop koji ima svojstvo ekspanzije radnog hoda linearnog motora, odnosno njegove ekspanzije još tri puta. Svaka veza između segmenata obezbeđuje aritmetičko povećanje radnog hoda. S obzirom da ruka poseduje četiri segmenta (Slika 5), tj. tri veze, ostvaruje se aditivno $(1+1+1)$ povećanje radnog hoda inicijalnog aktuatora. Pod terminom *oveza* misli se na mesto kinematske veze dva tela. U fizičkoj realizaciji ruke, kinematska veza predstavlja kotur, odnosno krug oko koga je obmotan vezivni element koji spaja dva segmenta (kaiĉ, sajlaĉ). Posmatrano sa isto kinematskog aspekta, povećanje radnog hoda aktuatora se postiŹe izmeđanjem taĉke rotacije kotura iz ose osovine kotura u taĉku dodira sa tangentnim delom vezivnog elementa. Svaki od segmenata teleskopske ruke se nalazi unutar prethodnog i omoguēeno je klizanje manjeg unutar veēeg. S obzirom da je pogonski drugi segment, prvi je nepokretan. Koncept je dat na Slici 5. Brojevima (51)-(54) su oznaēeni segmenti ruke, dok su brojevima (55)-(57) oznaēeni koturovi preko kojih prelazi

zuplasti kaiĉ. Brojevima (58)-(61) su oznaēeni zatezali kaiĉa. U cilju aktivacije drugog segmenta (52) prvi segment (51) se vezuje na pokretni deo klizal'a sa linearnim motorom (35), prikazanog na prethodnoj Slici 4. Relativno kretanje između pokretnog i nepokretnog dela linearnog motora se prenosi na drugi segment (52) teleskopske ruke. Na taj naēin se obezbeđuje da i prvi segment bude pokretan, a sva kinematska svojstva mehanizma opisana u prethodnom paragrafu su zadrŹana. Konaēno, ostvaruje se ekspanzija radnog hoda (izduŹenje) linearnog motora u vrednosti od ukupno četiri puta nominalne vrednosti. Unutar mehanizma prikazanog na Slici 5 se nalaze ukupno četiri kaiĉa. Na krajnji segment se postavlja koristan teret ili završni uređaj Ź hvataljka (37). U ovom sluĉaju to je specijalizovana robotska hvataljka Źiji je mehanizam opisan u narednom poglavlju.



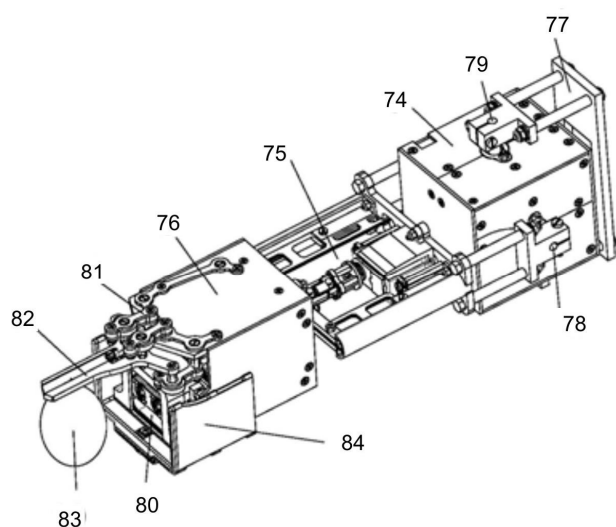
Sl. 5. Teleskopska robotska ruka i njeni sastavni delovi

B. Završni uređaj – hvataljka robota

Završni uređaj ovog robotskog sistema predstavlja sferni zglob od tri stepena slobode. Sva tri zgloba su rotacionog tipa. Njegov crteŹ dat je na Slici 6. Ceo sklop moŹe se podeliti na tri funkcionalna podsklopa: kardanski zglob (74), segment rotacije hvataljke (75) i sama hvataljka za odsecanje (76). Kardanski zglob, koji omoguēava simultano obrtanje oko dve upravne ose (78) i (79). Na jednu od njih je povezan segment za rotaciju, dok je na drugu osu, tj. vratilo montiran adapter (77) za vezu sa teleskopskom rukom, Slika 6. Nakon Źto se hvataljka preliminarno pribliŹi cilju (plodu glljive) na nekih 300 mm, kamera (80) izbliza osmatra okruŹenje, na bazi Źega kontroler završnog uređaja Kontroler-3 (24) kopenzuje konaēan poloŹaj hvataljke. Kompleksnim mehanizmom za odsecanje (81) pokreēe se sistem (82) koji simultano odseca i hvata plod glljive (83). Nakon Źto je drŹkica ploda odseēena i stegnuta u Źeljusti hvataljke, izvlaēi se korpica (84) koja, tokom uvlaēenja teleskopske ruke ka zadnjem krajnjem poloŹaju u kojem se plod spuŹa u gajbicu, Źiti plod od usputnih grana i zadrŹava ga u korpici u sluĉaju da ispadne iz Źeljusti. Mehanizam hvatanja, tj. stezanja predstavlja sintezu razliēitih mehanizama Źijom kompozicijom se ostvaruje transformacija rotacionog kretanja aktuatora (elektromotora) u dva suprotnosmerna linearna kretanja, koja sluŹe za odsecanje i stezanje radnog predmeta (ploda glljive). Mehanizam hvatanja se sastoji iz tri nezavisna dela: a) Vatovog zglobnog mehanizma, b) inverznog mehanizma, i c) zglobnog četvorougaoika.

Vatov zglobni mehanizam: Sastoji se od tri Źlana povezana u otvoren kinematski lanac. SpoljaŹni Źlanovi su jednakih

dužina. Jedan kraj je fiksiran, dok je drugi povezan na aktuator i elektromotor. Na tačno definisanom delu putanje, sredina srednjeg segmenata ostvaruje prividno linearno kretanje. *Inverzni mehanizam*: Sastoji se od dva para segmenata koji identično linearno kretanje (sa sredine srednjeg plana Vatovog mehanizma) dele na dva suprotna rotaciona kretanja. *Zglobni četvorougao*: Obezbeđuje paralelno kretanje segmenata. Jedan od četiri segmenta je nepokretan, stoga nema potrebe za njegovom fizičkom realizacijom. Jedan segment je pokretač mehanizma i on je veza sa prethodnim podmehanizmom. Konačno, za poslednji podmehanizam su vezane komponente za hvatanje, odnosno makaze za odsecanje. Sa jedne strane se nalaze sečivo ispod koga je gumena podloga, koja omogućava sigurnije stezanje peteljke glljive. Nasuprot njih se nalazi tupi deo makazastog mehanizma koji pridržava peteljku, odnosno predstavlja podlogu (oslonac) prilikom njenog odsecanja.



Sl. 6. Završni uređaj robotskog sistema i robotska hvataljka s prstima - makazama za odsecanje drškica koje plodove vezuju za grane stabla

V. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan novi koncept mobilne robotske platforme za mašinsko branje, klasifikaciju i pakovanje plodova glljiva u gajbice na licu mesta u voćnjaku i njihovo odlaganje do mesta preuzimanja od strane pomoćnog radnika. Robot je isprojektovan i u fazi je izrade i integracije mašinskih podsistema. Tehničko rešenje robota-berača je podneto kod Zavoda za zaštitu intelektualne svojine Republike Srbije za priznanje patenta pod br. | -2023/00293.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat je sufinansiran od strane Fonda za inovacionu delatnost Republike Srbije, vaučeri br. IV-1214, IV-1215 i kompanije DTM Consult doo. iz Ćaol'ana, Lašak.

LITERATURA

- [1] Automatic fruit picker, FF Robotics, IFTA 2017. [https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2bapple%2bharvester&view=detail&](https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2bapple%2bharvester&view=detail&mid=B1C1D46D7BA2083EB592B1C1D46D7BA2083EB592&rvsmid=66BE3CA29982FE09543B66BE3CA29982FE09543B&FORM=VDRVSR4)

mid=B1C1D46D7BA2083EB592B1C1D46D7BA2083EB592&rvsmid=66BE3CA29982FE09543B66BE3CA29982FE09543B&FORM=VDRVSR4

- [2] Robotic harvester debuts in New Zealand orchard, GoodFruitGrower. <https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&view=detail&mid=66BE3CA29982FE09543B66BE3CA29982FE09543B&FORM=VRDGAAR&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2Bapple%2Bharvester>
- [3] Robotic Apple Picker Takes Bite out of Human Labor in Northwest China's Shaanxi. <https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&view=detail&mid=238DA98463C522E26C31238DA98463C522E26C31&FORM=VRDGAAR&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2Bapple%2Bharvester>
- [4] Robotics arms race, GoodFruitGrower. <https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2bapple%2bharvester&view=detail&mid=C2A02DCA18BED4068557C2A02DCA18BED4068557&FORM=VDRVSR4>
- [5] World-first apple-picking robot boots up in Hawke's Bay. <https://www.bing.com/videos/search?q=robot+apple+harvester&ru=%2fvideos%2fsearch%3fq%3drobot%2bapple%2bharvester&view=detail&mid=31205DA68D854C76AAAB1205DA68D854C76AAAB&FORM=VDRVSR4>
- [6] Design and evaluation of a modular robotic plum harvesting system utilizing soft components. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rob.21987>

ABSTRACT

This paper presents an innovative technical solution for mechanical picking of edible plums using a robot, classification of fruits by quality, using robotic vision and artificial intelligence, automatic packing of picked fruits in appropriate packaging and its delivery to the pick-up point by an auxiliary worker. Picking edible plums is a tedious, manual seasonal job. Edible plums for the market must meet high standards of biological food values (ripeness, size, color, softness, appearance and taste) and sanitary criteria (freshness, healthy fruit, etc.). In order for the plum fruit to be delivered to the market as a high-class product, it must have the appropriate size, maturity and color of the fruit, preserved bluish powder (powder) on the skin and must have an undamaged fruit stalk (pedicle) with which the plum is attached to the branch of the fruit tree. Edible plums are usually delivered in crates or stacked in cardboard boxes, in special plastic baskets (nest boxes), individually, in order to preserve the biological values, freshness and sanitary quality of the fruits as long as possible. The robotic platform for picking, classifying and packing edible plums on large plantations enables the automated procedure (technology) of mechanical, automated picking of plum fruits, which involves tearing off the fruits "piece by piece" from the branches of the fruit tree. The paper describes the concept of a robotic platform with emphasis on the mechanical subsystems of the platform.

Robotic platform for picking, classification and packaging of edible plums in orchards

Aleksandar Rodić, Ilija Stevanović i Uroš Ilić