Robot4Plants

KMETIJSKA ROBOTIKA V PRAKSI

# Avtonomni roboti v ekološkem nasadu leske

**Avtorji: David Voršič[1], Izidor Založnik[2], dr. Blaž Germšek[2]**

[1] Ekološka kmetija PeTiDa [2] Kmetijski inštitut Slovenije (KIS)

## Terenski preizkus pršilnika LJTech S500PRO in robotske kosilnice Yarbo v 5-hektarskem ekološkem nasadu leske




Avtonomni pršilnik LJTech S500PRO med preizkusom v nasadu leske. Foto: David Voršič.

Avtonomni roboti so v trajnih nasadih najbolj zanimivi tam, kjer lahko prevzamejo ponavljajoča se, zamudna in fizično naporna opravila. Nasad leske pa je za zaznavala ovir zahtevno okolje: krošnja je gosta, nižja in bolj nepravilna kot pri trti ali jablani v običajnih gojitvenih oblikah, posamezne veje in poganjki pa segajo v vozni prostor. V letu 2026 smo zato v 5-hektarskem nasadu ekološke kmetije PeTiDa preizkusili dve različni robotski rešitvi, in sicer avtonomni pršilnik LJTech S500PRO in robotsko kosilnico Yarbo. Preizkus je bil zelo poučen: prvi robot (LJTech S500PRO) je zaznal preveč ovir in se pogosto ustavljal, drugi (Yarbo) pa nekaterih nizkih poganjkov ni zaznal pravočasno, zato se je ob stiku z grmom poškodoval.

| 5 ha | 8 let | 4,8 m | 4–6 m |
|---|---|---|---|
| površina nasada | starost nasada | razdalja med vrstami | višina grmov |

Sofinancira Evropska unija

SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

## Nasad leske

Preizkus je potekal v osemletnem ekološkem nasadu leske na ekološki kmetiji PeTiDa v Kraljevcih. Nasad obsega 5 ha, razdalja med vrstami je 4,8 m, med grmi v vrsti 4,5 m, grmi pa so visoki približno 4 do 6 m. Prostor med vrstami je za vožnjo razmeroma širok, spodnji del krošnje pa je neenakomeren, z nizkimi, poševnimi in povešenimi vejami. Prav taka zgradba krošnje se je izkazala za najzahtevnejši preizkus za sisteme zaznavanja ovir.



Pogled iz zraka na nasad leske (ekološka kmetija PeTiDa), v katerem smo preizkušali robotske sisteme.

| Značilnost nasada | Vrednost | Pomen za avtonomni stroj |
|---|---|---|
| Površina | 5 ha | Dovolj velika površina za preizkus v pridelovalnih razmerah |
| Starost | 8 let | Razvita, gosta krošnja |
| Razdalja med vrstami | 4,8 m | Dovolj prostora za vožnjo, ki pa ne odpravi težav s krošnjo |
| Razdalja med grmi | 4,5 m | Posamezni grmi tvorijo nepravilen rob voznega prostora |
| Višina grmov | 4–6 m | Bujna rast in povešene veje |

***Ključni izziv*** *Pri robotih za trajne nasade ni dovolj vedeti, ali zna stroj slediti GNSS-poti. Enako pomembno je, kako zazna rastje, ki je hkrati pričakovani del nasada in morebitna mehanska ovira.*

Sofinancira Evropska unija

SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

## LJTech S500PRO

Avtonomni pršilnik LJTech S500PRO smo preizkusili 24. maja 2026. Okolico robot zaznava z radarjem in laserskim merilnikom razdalj LiDAR (angl. light detection and ranging). V nasadu leske se je pokazalo, da varnostni sistem v gosti in nizki krošnji povešeno vejo pogosto prepozna kot oviro. Posledica so bila ponavljajoča se ustavljanja, čeprav je šlo za rastje, ki je v takem nasadu nekaj povsem običajnega.




Preizkušeni avtonomni pršilnik LJTech S500PRO (zadaj) in obstoječi pršilnik kmetije (spredaj).

Ekološka kmetija za redno varstvo nasada že uporablja eno prvih različic avtonomnega pršilnika istega proizvajalca (Lanjiang Technology, tržna znamka LJ Tech): tip Orchard Multi-Function Sprayer, model 3WGZ-450-E, z rezervoarjem prostornine 450 l, nazivno močjo 14,5 kW, maso 550 kg in delovnim tlakom 0–3,5 MPa. Ta različica še ni imela vseh funkcij preizkušenega modela; S500PRO ima v primerjavi z njo bistveno več zaznaval in varnostnih funkcij.

Pričakovali smo, da nam bodo dodatne funkcije omogočile boljši nadzor nad porabo škropiva in zaradi večje stopnje avtomatizacije tudi večjo učinkovitost. Izkazalo se je, da temu ni tako. V našem nasadu so se te funkcije izkazale za neuporabne in so delo celo ovirale. Radar je grme, veje in visoko travo med vrstami pogosto zaznal kot ovire, zato se je robot neprestano ustavljal, upočasnjeval ali prekinjal škropljenje. Delo je bilo zato počasnejše in manj enakomerno kot brez teh funkcij. Na koncu smo morali radar in zaznavanje ovir izklopiti, da je robot lahko nemoteno deloval. To pa pomeni, da mora upravljavec med delom sam skrbeti za varnost v nasadu.

Sofinancira Evropska unija
SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

| Lastnost | Obstoječi pršilnik | LJTech S500PRO v preizkusu |
|---|---|---|
| Zaznavanje okolice | Manj samodejnih varnostnih funkcij | Radar in LiDAR; pogosto zaznavanje povešenih vej |
| Krmiljenje | Računalnik na stroju | Odvisno od telefona oziroma aplikacije |
| Povezljivost | Za osnovno delovanje zunanja povezava ni potrebna | Ob slabi ali prekinjeni povezavi robot ne deluje |
| Delovanje v gosti krošnji | Na kmetiji preizkušena rešitev | Potrebne dodatne prilagoditve zaznaval |

### Tehnične lastnosti LJTech S500PRO (po podatkih proizvajalca)

**Osnovni podatki:** 500-litrski rezervoar in gosenično podvozje; mere 2720 × 1290 × 1370 mm (d × š × v). Domet škropljenja je 15–28 m v širino in 5–7 m v višino.

**Pogon:** hibridni. Dizelski motor z močjo 33 kW deluje skupaj s superkondenzatorskim hranilnikom moči 15 kW, ki nadomešča klasično baterijo. Superkondenzator motorju pomaga pri večji obremenitvi in se polni, ko je obremenitev manjša. Motor ustreza emisijskemu standardu Euro V. Poraba goriva je 3–4 l/ha.

**Senzorji in navigacija:** t. i. fuzijska navigacija, ki združuje inercialno navigacijo, LiDAR, RTK, radar z milimetrskimi valovi in vizualno prepoznavo. Po navedbah proizvajalca robot uporablja fuzijsko navigacijo, ki združuje inercialno navigacijo, LiDAR, RTK, radar z milimetrskimi valovi in vizualno prepoznavo. Pri našem preizkušanju je bilo treba celotno predvideno pot predhodno prevoziti in jo shraniti v sistem za nadaljnje samodejno ponavljanje vožnje, vključno s prehodi med vrstami. Centimetrsko natančnost pozicioniranja navaja proizvajalec; v naših preizkusih je nismo neodvisno preverjali. Odsevnih trakov, priloženih robotu, nismo preizkusili. Po pojasnilu tehničnega predstavnika proizvajalca naj bi omogočali eno od rezervnih možnosti pozicioniranja ob težavah s povezavo RTK, zato njihovega delovanja in uporabnosti na podlagi naših izkušenj ne moremo oceniti.

Sofinancira Evropska unija
SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

Robot4Plants

## Na terenu: težava ni bila natančna vožnja

Fotografije s terena kažejo, da je robot po prostoru med vrstami vozil tudi na nagnjenem terenu in v bujnem rastju. Omejitev torej ni bila sposobnost vožnje, temveč presoja, kaj je v leskovem nasadu »običajna krošnja« in kaj dejanska nevarna ovira. Povešene veje so lahko segle v območje zaznaval in sprožile varnostno ustavitev.



LJTech S500PRO med vožnjo po različnih delih nasada leske.



Levo: značilen nizki, poševni del krošnje leske. Desno: robot tik ob rastju.

*Za prakso* *Pri avtonomnih strojih je lažna zaznava ovire z vidika varnosti manj kritična kot spregledana ovira, za delo pa pomeni zastoj. Če se ponavlja skoraj pri vsakem grmu, se lahko obljubljena samostojnost stroja hitro sprevrže v nenehno ročno potrjevanje in ponovno zaganjanje.*

Sofinancira Evropska unija

SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

Robot4Plants

## Yarbo: drugačna težava – nizkih vej ni zaznal pravočasno

Yarbo je modularni električni gosenični robot za vzdrževanje okolice, na katerega lahko namestimo različne delovne module, med drugim kosilnico. Po podatkih proizvajalca se pri vodenju opira na satelitsko določanje položaja s popravki RTK in dvema antenama, kamere, inercialno merilno enoto in odometrijo, ovire pa zaznava s kamerami in ultrazvočnimi zaznavali (proizvajalec jih imenuje »ultrazvočni radar«).

Robotsko kosilnico Yarbo smo preizkusili 19. maja 2026. Najprej smo določili površino za košnjo, nato smo robota preklopili v samodejni način. Že po nekaj minutah, ko se je približal grmu leske, se je ob stiku z grmom poškodovala antena. Ugotovili smo, da zaznavala niso pravočasno zaznali poševnih poganjkov grma leske, ki so bili zelo nizko ali zunaj učinkovitega območja zaznavanja. Do takšne poškodbe je prišlo dvakrat.



Levo: Yarbo med košnjo v visoki travi. Desno: antena, poškodovana ob stiku z grmom leske.

Z obstoječimi nastavitvami bi bila edina zanesljiva rešitev košnja z vsaj približno 1 m varnostne razdalje od grma. To pa bi v praksi pustilo širok pas nepokošene trave prav tam, kjer je vzdrževanje najzahtevnejše. Nadaljnje preizkušanje Yarba smo zato ustavili.

**Tehnične lastnosti preizkušenega Yarba (po podatkih proizvajalca)**

**Izvedba:** Yarbo Y40P Core s kosilnim modulom. Širina košnje je približno 51 cm (20 palcev), višina košnje je nastavljiva od približno 3 do 10 cm, robot pa po navedbah proizvajalca zmore naklon do 35° (70 %).

**Določanje položaja:** RTK z dvema antenama, stereo kamere, inercialna merilna enota in odometrija; kjer je signal RTK slabši (npr. pod krošnjami), si robot pomaga z vizualnim določanjem položaja.

**Zaznavanje ovir:** kamere, ultrazvočna zaznavala in odbijač.

***Pomembna primerjava*** *V istem nasadu sta se pokazali dve nasprotni težavi z zaznavanjem: LJTech je del rastja prepogosto prepoznal kot oviro, Yarbo pa nekaterih nizkih in poševnih poganjkov ni zaznal pravočasno.*

Sofinancira Evropska unija

SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

Robot4Plants

## Ugotovitve v prvem letu




Ključna težava ni bila avtonomna vožnja, temveč prilagojenost zaznavanja ovir zgradbi nasada leske.

Grafični povzetek obeh vrst težav z zaznavanjem ovir v nasadu leske. Prikaz temelji na opažanjih s terena in ne na statističnih meritvah deleža zaznav.

Ta razlika je pomembna. Pri prvem sistemu je varnostna logika v danih razmerah delovala preveč previdno, pri drugem pa je zaznavanje odpovedalo v kritičnem območju, nizko ob tleh in na robu vidnega polja zaznaval. Obe težavi vodita do istega spoznanja: zaznaval za trajne nasade ni smiselno preizkušati le na odprti poti ali v vrsti, urejeni po standardu. Preizkus mora vključevati dejansko zgradbo krošnje, nizke veje, naklon, sence, visoko travo in druge ovire, s katerimi se robot srečuje v pridelovalnih razmerah.

| Robot | Opravilo | Glavna omejitev | Posledica | Izid preizkusa |
|---|---|---|---|---|
| LJTech S500PRO | Pršenje | Povešene veje pogosto zaznane kot ovira | Pogosto ustavljanje; treba je prilagoditi varnostno logiko | Nemoteno delovanje šele po izklopu radarja in zaznavanja ovir |
| Yarbo | Košnja | Nizki, poševni poganjki niso bili pravočasno zaznani | Dvakratna poškodba antene | Preizkus predčasno končan |

## Kaj je pri leski drugače kot v vinogradu in intenzivnem sadovnjaku?

V vinogradu in intenzivnem sadovnjaku so rastline praviloma vzgojene v bolj urejeni obliki: debla, vrste in krošnje so predvidljivejše. Leska pa v obravnavanem nasadu oblikuje razvejane grme z nizkimi in poševnimi deli krošnje. Zato zahteva drugačno umerjanje varnostnih pragov in morda tudi drugačno razporeditev zaznaval. Rezultatov tega preizkusa ne smemo posploševati na vse trajne nasade ali na vse izvedbe obeh robotov, veljajo za preizkušeni izvedbi strojev in za ta osemletni nasad leske.

Sofinancira Evropska unija
SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

Robot4Plants

## Na kaj bomo pozorni v naslednjem preizkusu

Terenski zapisi dobro pojasnijo, zakaj sta se robota v tem nasadu ustavljala oziroma poškodovala, ne vsebujejo pa meritev, s katerimi bi lahko ovrednotili dejansko delovno storilnost, gospodarnost in delež uspešno zaznanih ovir. V naslednji sezoni bomo zato preizkus zasnovali kot načrtno meritev.

| Meritev | Predlagani kazalnik | Zakaj jo potrebujemo |
|---|---|---|
| Zaznavanje ovir | število pravilnih zaznav, lažnih zaznav in spregledov na 100 m vrste | Količinska ocena zaznaval |
| Zastoji | število ustavitev in minute zastojev na hektar | Vpliv zaznaval na storilnost |
| Košnja | delež dejansko pokošene površine in širina nepokošenega pasu ob grmu | Kakovost opravila |
| Škropljenje | čas na hektar, poraba (l/ha), kakovost nanosa, število posegov | Primerjava z obstoječim pršilnikom |
| Upravljavec | minute ročnih posegov na hektar | Dejanska stopnja samostojnosti |
| Teren | naklon, višina spodnjega dela krošnje, gostota oziroma število povešenih vej | Povezava med zgradbo nasada in napakami pri zaznavanju |

***Raziskovalni cilj*** *Naslednji korak ni le »ponovno preizkusiti«, temveč izmeriti, pri kakšni višini in obliki vej prihaja do lažnih ustavitev oziroma spregledov ter kako to vpliva na porabo delovnega časa in kakovost opravila na hektar.*

## Groba primerjava stroškov košnje (izračun)

V običajni sezoni nasad mulčimo 4- do 5-krat letno. Eno mulčenje celotnega nasada traja približno 8–10 ur, odvisno od mulčerja in od tega, ali mulčimo tudi prostor v vrsti med grmi. Poraba goriva za eno mulčenje je okoli 60–80 l oziroma 12–16 l/ha, kar pri ceni dizelskega goriva okoli 1,88 €/l (oktober 2026) znese približno 25–30 €/ha. Skupaj z delom traktorista je neposredni strošek enkratnega mulčenja približno 40 €/ha, brez amortizacije, vzdrževanja in drugih stroškov.

Yarbo pokosi približno 500 m² na uro. Za 5 ha (50.000 m²) bi tako potreboval okoli 100 ur čiste košnje. Ob približno 3,5 ure košnje na eno polnjenje in okoli 3 urah polnjenja to pomeni približno 7–8 dni skoraj neprekinjenega dela. Pri košnji na 14 dni bi en robot časovno lahko vzdrževal celoten nasad, vendar le ob skoraj neprekinjenem obratovanju; proizvajalec sicer navaja največjo površino okoli 2,5 ha na robota.

Robot porabi okoli 0,5 kWh električne energije na uro obratovanja, kar je pri približno 20 urah košnje na hektar okoli 10 kWh/ha. Pri ceni elektrike okoli 0,25 €/kWh to znese približno 2,5 €/ha za eno košnjo. Če kosimo na 14 dni od aprila do konca avgusta, je to približno 10 košenj letno, letni strošek energije pa okoli 25 €/ha. Pri traktorju z mulčerjem je neposredni strošek (gorivo in delo) pri 4–5 mulčenjih letno približno 160–200 €/ha. Robot dela samostojno, zato pri njem stroška dela upravljavca ni. V primerjavi niso upoštevani vzdrževanje, amortizacija in razlika v višini investicije. Prednost robota je tudi, da ne povzroča mehanskih poškodb grmov – a le, če zanesljivo zazna nizke poganjke.

Sofinancira Evropska unija
SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA

## Kaj to pomeni za pridelovalca?

Preizkus na kmetiji PeTiDa lepo pokaže, zakaj predstavitve robotske tehnologije ne smejo ostati v idealnih razmerah. V pravem nasadu leske sta oba robota pokazala svoje možnosti, pa tudi zelo konkretne meje sedanje izvedbe. LJTech je zaradi varnostnih zaznaval zahteval preveč prekinitev, Yarbo pa se je zaradi nezaznanih nizkih poganjkov preveč približal grmu in se mehansko poškodoval.



Robotski sistemi v nasadu leske: tehnologijo je treba prilagoditi dejanski zgradbi nasada, ne le širini prostora med vrstami.

> ***Sklep sezone 2026*** *V obravnavanem nasadu nobeden od robotov v preizkušeni izvedbi brez dodatnih prilagoditev ni bil primeren za povsem samostojno (avtonomno) delo. To ni argument proti robotizaciji, temveč jasen pokazatelj, kateri razvojni problem je treba rešiti: zanesljivo zaznavanje ovir v gosti, nizki in nepravilni krošnji leske.*

Pri razvoju robotskih rešitev za trajne nasade je zato ključno, da stroje preizkušamo v nasadih z različno zgradbo in v različnih razvojnih (fenoloških) fazah. Pri leski bi bile smiselne prilagoditve višine oziroma usmerjenosti zaznaval, boljše združevanje podatkov več zaznaval in možnost nastavitve varnostnega območja glede na vrsto nasada. Šele ko bo sistem zmogel ločiti pričakovano rastje od nevarne ovire brez pogostih lažnih ustavitev ali spregledov, bo mogoče stvarno oceniti njegovo delovno storilnost in ekonomsko upravičenost.

## Podatki o projektu in virih

**Projekt:** Robot4Plants - AKIS partnerstvo za uvedbo digitalnih in robotskih tehnologij v rastlinsko pridelavo

**Financiranje**: Projekt je financiran v okviru intervencije IRP38 Konzorciji institucij znanja v podporo prehodu kmetijstva v zeleno, digitalno in podnebno nevtralno iz Strateškega načrta Skupne kmetijske politike 2023–2027.

Več o projektu: spletna stran, LinkedIn

**Fotografije:** David Voršič, 2026.

**Opomba k interpretaciji:** Gre za enkraten terenski preizkus brez statističnih ponovitev.

Blaž Germšek
Digitalno podpisal Blaž Germšek
Datum: 2026.10.23 10:07:05 +02'00'

Sofinancira Evropska unija

SKUPNA KMETIJSKA POLITIKA