

# PRILOŽNOSTI IN PREDNOSTI DIGITALNO PODPRTEGA KMETIJSTVA

JURIJ RAKUN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Hoče, Slovenija.  
E-pošta: jurij.rakun@um.si

**Povzetek** Kmetijstvo je ena izmed panog, ki ob podpori digitalizacije doživlja ponoven preporod. Množica novih tehnoloških rešitev, kot so sistemi bližnjega ali oddaljenega zaznavanja, mobilne aplikacije, IoT in druge tehnologije ponujajo nove možnosti, ki jih izkoriščajo principi preciznega kmetijstva. Precizno kmetijstvo kmetovalcem omogoča selektivno, usmerjeno in natančno obdelavo, kar pa omogoča precejšnje prihranke pri porabi vhodnih surovin, manjšo ekološko obremenitev okolja in večji donos. V sklopu vabljenega predavanja je predstavljenih nekaj izbranih tem, ki zajemajo uporabo avtonomnih poljedelskih robotov, brezpilotnih letalnikov in naprednih senzorskih sistemov, ki temeljijo na postopkih digitalne obdelave signalov. V sklopu izbranih tem bodo predstavljene prednosti in priložnosti, ki jih postopki digitalizacije nudijo za sodobna kmetijska gospodarstva.

**Ključne besede:**

digitalizacija,  
kmetijstvo,  
precizno  
kmetijstvo,  
kmetijski  
roboti,  
senzorika,  
digitalna  
obdelava  
signalov

# POSSIBILITIES AND ADVANTAGES OF DIGITALLY SUPPORTED AGRICULTURE

JURIJ RAKUN

University of Maribor, Faculty of Agriculture and Life Sciences, Hoče, Slovenia.  
E-mail: [jurij.rakun@um.si](mailto:jurij.rakun@um.si)

**Abstract** Agriculture is one of the disciplines that is experiencing a rebirth in support of the digitalisation. A multitude of new technological solutions, such as near or remote sensing systems, mobile applications, IoT and other technologies, offer new possibilities that are exploited by the principles of precision agriculture. Precise agriculture enables farmers to cultivate selectively, focused and precisely, which in turn enables significant savings in the consumption of input raw materials, lower ecological burden on the environment and higher yields. As part of the invited lecture, some selected topics are presented, including the use of autonomous agricultural robots, drones and advanced sensor systems based on digital signal processing procedures. The selected topics will present the advantages and opportunities that digitization processes offer for modern agricultural estates.

**Keywords:**  
digitalization,  
agriculture,  
precision  
agriculture,  
agricultural  
robotics,  
sensors,  
digital signal  
processing

## **1 Uvod**

Kmetijstvo se nahaja pred množico ključnih vprašanj; kako zagotoviti hrano za naraščajoče število prebivalstva, kako to napraviti ob omejenih možnostih, kot je velikost potencialno uporabnih kmetijskih površin in nenazadnje kako pridelek pridelati na trajnosten način, s čimer ne uničujemo narave in jo lahko prenesemo še v naslednje rodove.

Odgovor na to ponujajo tehnologije preciznega kmetijstva. Te zajemajo različne postopke, različne rešitve in spremenjeno miselnost na običajne pristope h kmetovanju. Tehnologije preciznega kmetijstva temeljijo na prostorski in časovni variabilnosti, ki omogočajo, da običajna kmetijska opravila opravimo selektivno, v pravih količinah in na pravih mestih. Na ta način lahko zagotovimo optimalne pogoje za rast rastlin in po drugi strani prihranimo na vhodnih surovinah. Večja kakovost pridelka in poraba manj surovin pa vpliva tudi na končno ceno in večji donos.

To delo povzema nekaj izbranih primerov s katerimi se ukvarjamo na Katedri za biosistemsko inženirstvo iz Fakultete za kmetijstvo in biosistemske vede, Univerze v Mariboru. Delo povzema naše izkušnje iz množice različnih projektov in jih povezuje z različnimi digitalizacijskimi postopki, ki vključujejo tudi postopke digitalne obdelave signalov.

## **2 Stanje na področju preciznega kmetijstva v Sloveniji**

Precizno kmetijstvo se po svetu razvija različno hitro (Rihter, 2020). Ob tem srečamo kmetovalce, ki so pripravljene nove tehnologije prevzeti že zelo zgodaj, do kmetovalcev, ki sledijo večini in tudi takih, ki se držijo predvsem ustaljenih praks in nove tehnologije prevzamejo, ko je to nujno. Seveda na vse to vplivajo tudi različni dejavniki, kot so starost prebivalstva, velikost in vrsta kmetijskih gospodarstev, subvencije in drugo.

V sklopu izvedene anketne raziskave preciznih tehnologij na slovenskih kmetijah, smo iskali razloge za njihovo uporabo oziroma neuporabo. Prišli smo do zanimivih dognanj. Ugotovili smo namreč, da dobre tri tretjine anketiranih, vprašani so bili lastniki kmetij različnih starosti z različno velikimi kmetijami in dejavnostmi, na svojih kmetijah še ni uporabljala preciznih tehnologij, vendar pa jih njihova uporaba v bližnji prihodnosti zanima, kar je vzpodbudno za prihodnost slovenskih kmetij.

Pri vprašanju o vplivih deležnikov na njihovo neuporabo je večina vprašanih pripisala trenutno zastavljenim političnim instrumentom, izobraževanju in svetovanju na področju preciznih tehnologij in inovacij v kmetijstvu. Slabih 70 % vprašanih meni, da bi v primeru nižjih cen oziroma nižje začetne investicije pogosteje kupovali naprednejše tehnologije za pomoč na kmetijah. Prav tako imajo pomisleke zaradi možnih nastalih vzdrževalnih stroškov in tehničnih podpor v primeru okvar.

Zanimalo nas je tudi, če anketirani poznajo prednosti uporabe preciznih tehnologij. Med poglavitne razloge za začetek uporabe so izbrali: prijaznost do uporabnika, sledljivost delovnih procesov in dobičkonosnost. Medtem ko so kot največji potencial navedli različne platforme za vodenje kmetijskih evidenc in drugih podatkov. Na podlagi analiz smo ugotovili, da je sprejemanje novih tehnologij iz strani kmetov odvisno tudi od drugih dejavnikov.

V Sloveniji imata na uporabo naprednejših tehnologij zagotovo vpliv velikostna in agrarna struktura kmetij, saj je povprečna velikost kmetijskega gospodarstva leta 2016 znašala le 6, 9 ha. Ugotovljeno je bilo, da države z večjimi kmetijami te tehnologije prevzemajo pogosteje in jih uporabljajo v večji meri, kar pa je sicer povezano s kmetijskim ekonomskim in proizvodnim obsegom v smislu višjih donosov. Na (ne) sprejemanje vplivajo tudi socialne strukture. Velik problem je visoka povprečna starost nosilcev kmetij v Sloveniji (leta 2016, 57 let). Bolj spodbudna je izobrazbena struktura, saj se povečuje delež gospodarjev z različnimi oblikami formalne kmetijske izobrazbe. Dokazano je, da so mlajši nosilci bolj spretni pri upravljanju in bolj razvojno naravnani, kar vpliva na vpeljavo novih, inovativnih tehnologij v njihovo okolje. Za nemoteno uporabo tehnologij preciznega kmetovanja so nujne osnovne internetne povezave, kar pa je zaradi slabe infrastrukture in dostopa do širokopasovnih povezav kmetom velikokrat onemogočeno, saj je v Sloveniji še vedno veliko t.i. belih lis predvsem na podeželju.

### **3 Izbrani projekti**

V naslednjih podpoglavjih povzemamo nekaj izbranih projektov, ki se deloma nanašajo na kmetijstvo in na digitalno obdelavo signalov.

### **3.1 Pilotni projekt – razvoj nizkocenovnega multispektralnega sistema**

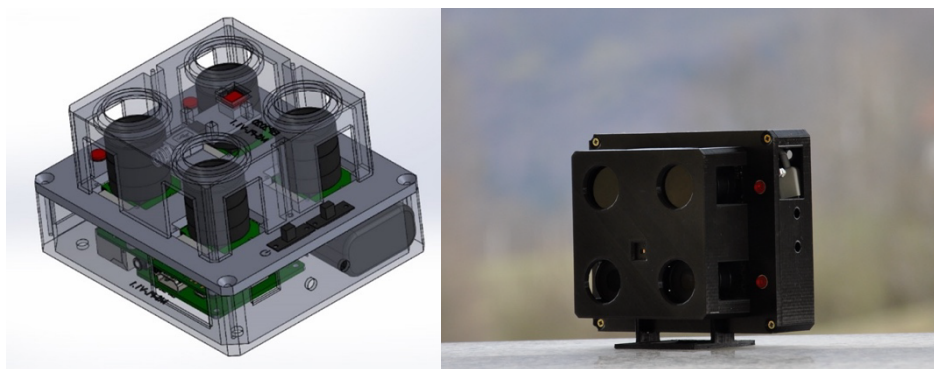
Del tehnologije preciznega kmetijstva temelji na periodičnih pregledih kmetijskih površin, ki se občajno izvajajo s pomočjo satelitskih posnetkov ali s pomočjo posebej opremljenih brezpilotnih letalnikov (Mongus, 2019). To pridelovalcu omogoča izboljšanje proizvodnega in tržnega potenciala. Nenazadnje pa te tehnologije nudijo tudi večjo skrb za okolje.

Izboljšanje proizvodnega potenciala se kaže v smeri obveznih pravo- oz. pred-časnih tretmajev rastlin s fitofarmaceutskimi sredstvi (FFS), ki se običajno nanašajo pavšalno, tehnologije preciznega kmetijstva pa omogočajo bolj premišljeno uporabo (Berk et al., 2019). Na podlagi meritev zajetih v vidnem in bližnjem IR spektru lahko namreč vidimo razlike med zdravimi rastlinami in rastlinami, ki so v stresu. Tako lahko rastlinam zagotovimo dovolj hrane ali pa jih zaščitimo ob zaznavi potencialnih žarišč, kar lahko opravimo na podlagi posameznih opazovanj ali na podlagi predvidevanj iz več preteklih sezon. S selektivno obdelavo lahko zmanjšamo cikle ali posamezno aplikacijo tretiranja s FFS. S tem pa zmanjšamo njihove negativne vplive, kot je npr. kopičenje v okolju, kjer se njihov negativni potencial lahko celo množi in posledično zmanjšuje sam proizvodni potencial tal.

Posredni rezultat takšne tehnologije ima seveda tudi tržni potencial (Lepej et al. 2016 in 2017), saj bolj kvaliteten pridelek dosega boljšo odkupno ceno in ima večji domet na trgu doma in v tujini (npr. omejitve glede kumulativne uporabe fito-farmaceutskih sredstev). Po drugi strani odločna in pravočasna, premišljena dejanja pridelovalca storjena na podlagi analize predstavljenega sistema omogočajo prihranke pri vhodnih surovinah (pogonska goriva, fito-farmaceutska sredstva, gnojila,...), kar še dodatno povečuje konkurenčno prednost, obenem z manjšimi negativnimi posledicami na okolje.

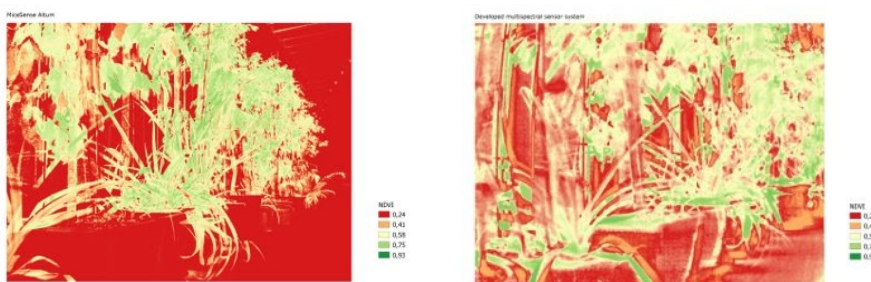
Imajo pa običajno uporabljeni pristopi tudi svoje omejitve. Satelitski posnetki so omejeni glede na pogostost zajetih podatkov, vremenske pogoje ob zajemu in nenazadnje glede na ločljivost, ki znaša nekje okoli 10 m x 10 m na en slikovni element. Te omejitve lahko rešimo z uporabo brezpilotnih letalnikov in multi- ali hiper-spektralnih kamer. Slabost te tehnologije pa se skriva v sami ceni in usposobljenosti operaterjev.

V sklopu ukrepa M16.2 tako izvajamo pilotni projekt, v katerem preučujemo možnost razvoja in uporabe nizkocenovne rešitve, ki bi tehnologijo lahko napravila bolj dostopno za uporabnike. V ta namen smo izdelali svoj nizkocenovni multispektralni senzor, ki temelji na uporabi dostopnih računalniških komponent. Te zajemajo računalnik RaspberryPI 3, eno 5 MP RGB kamero z nameščenim IR filtrom za opazovanje vidnega dela svetlobnega spektra, tri 5MP NOIR kamere z nameščenimi filtri v vidnem in NIR spektru, 1 FLIR PureThermal 2 Lepton kamero, multipleksersko vezje za povezavo vseh kamer in akumulatorsko enoto za napajanje celotnega sistema. Slika 1 prikazuje načrt in izdelano multispektralno kamero, slika 2 pa primerjavo dobljene slike v primerjavi s sliko iz komercialne multispektralne kamere Altum Micasense.



Slika 1: Načrt (levo) in izdelana multispektralna kamera (desno).

Vir: lasten.



Slika 2: Izračun NDVI indeksa s pomočjo meritev kamere Altum Micasense (levo) in NDVI indeks izračunan iz nizkocenovno dostopne kamere (desno).

Vir: lasten.

### 3.2 Rovitis 4.0

Del prihodnosti kmetijstva bodo nedvomno avtonomni roboti (Lepej, 2017), ki bodo opravljali različna dela na poljih, v vinogradih, v sadovnjakih in drugje. Delo bo opravljeno hitreje, natančneje in bolj varno, saj fizična prisotnost ljudi ne bo več potrebna. Roboti bodo delo opravili avtonomno, najprej ob nadzoru operaterja, kasneje pa tudi brez neposrednega nadzora operaterja. S tem se bo spremenila tudi paradigma nakupa kmetijske mehanizacije, kjer so kmetovalci v zadnjih letih posegali po vedno večjih, težjih in dražjih strojih, ki so s svojo močjo načeloma res lahko opravili več, a jih je bilo v primeru odpovedi stroja težko nadomestiti. Uporaba avtonomnih strojev pa ponuja drugo možnost; več cenovno dostopnih avtonomnih naprav, ki delajo v skupini in v primeru odpovedi enega izmed strojev, delo opravijo ostali. V sklopu projekta Rovitis 4.0 (Pantano, 2020) smo izračunali, da se strošek nakupa takšnega stroja s ceno okoli 80 000 eur v Italiji povrne že v približno 4 letih, saj za njegovo uporabo ne potrebujemo dodatnega traktorista, en operater pa lahko istočasno opravlja nadzor več takšnih strojev.



**Slika 3: Avtonomni vinogradniški robot Rovitis 4.0.**

Vir: lasten.

Robot Rovitis 4.0, prikazan na sliki 3, je bil financiran kot italijanski EIP AGRI projekt, kjer je Univerza v Mariboru nastopala kot edini tuj partner znotraj vseh dosedanjih njihovih EIP AGRI razpisov. Naša naloga je bila razvoj programske opreme na avtonomnem robotu, kjer smo uporabili meta robotski sistem ROS, znotraj tega vzpostavili podporo gonilnikov za vso uporabljeno senzorično in visokonivojsko logiko, ki jo za delovanje robot potrebuje. Ta del je zajemal vozlišča, ki skrbijo za fuzijo senzorskih podatkov, lokalizacijo sistema v prostoru, načrtovanje in sledenje poti, podporo za delovanje v strukturiranih okoljih podprto s proženjem aktuatorskih sistemov, »teach & repeat« funkcionalnost in drugo. Ob tem je potrebno poudariti, da sistem uporablja nizkocenovne komponente, kar sistem res naredi potencialno bolj dostopen za široko množico uporabnikov, a po drugi strani zahteva podporo ustrezne visokonivojske programske logike, ki nekoliko manj robustno delovanje enega sistema kompenzira z drugim.

### 3.3 Transform 4.0

Projekt Transform 4.0 (Interreg CE) naslavlja tematiko uporabe tehnologij preciznega kmetijstva. V ta namen partnerji iz petih različnih srednjeevropskih držav vzorčimo področje, ugotavljamo potencialne priložnosti in prenašamo dobre prakse na mednarodnem nivoju. Del aktivnosti pa zajema izvedbo treh pilotnih podprojektov, kjer se prvi nanaša na tematiko ISOBUS aplikacij, drugi na bližnje zaznavanje in tretji obdelavo gruče podatkov (»big data«).

Drugi pilotni projekt tako naslavlja izzive bližnjega zaznavanja lastnosti kmetijskih površin oz., še natančneje, lastnosti rastlin, ki jih želimo ustrezno tretirati. V projektu naslavljamo tudi enega izmed ciljev Evropske komisije, ki je postavila cilj, da do leta 2030 zmanjšamo količino porabljenih FFS za 50 %. V ta namen smo ob pomoči LiDARsko podportega sistema izdelali krmilno enoto, ki vklaplja elektro-magnetne ventile na mestih, kjer je zaznana prisotnost rastlin, in izklaplja na mestih, kjer rastlin ni.

Da je to mogoče, sistem uporablja 2 LiDARski tipali, kjer je prvo nameščena horizontalno, drugo pa vertikalno. Namen horizontalnega tipala je zagotoviti podatke o premiku sistema. Podatek o premiku je pomemben, saj se senzorski sistem in šobe ne nahajajo eden ob drugemu, saj bi delovanje šob motilo meritve ali pa zaradi morebitne korozivnosti FFS celo negativno vplivalo na senzor. Zato sistem oceni lokacijo zajema podatka in ugotovi, kdaj se je pršilnik premaknil toliko, da so



na tej lokaciji prisotne šobe. Ob tem se sistem zanaša na meritve SLAM algoritma, ki smo ga razvili (Lepej, 2016). Alternativa SLAM algoritmu bi bila uporaba RTK-GPS sistema, ki pa bi sistem naredilo še bolj zapleten, dražji in posledično slabše dostopen za končne uporabnike. Ob podpori lokalizacije pa lahko uporabimo še meritve vertikalno nameščenega LiDARskega sistema, ki v prostoru »tipa« na katerih višinah so prisotne rastline in na katerih ne. V primeru, da sistem krošnjo zazna, proži ustrezne elektro-magnetne ventile, ko se pršilnik premakne in ko so šobe na pravi poziciji.

Sistem ob podpori omogoča precej bolj natančen nanos FFS. Seveda so prihranki specifični glede na lastnosti posameznega vinograda oz. sadovnjaka. Preliminarni izsledki kažejo, da v običajnih sadovnjakih prihranimo nekje okoli 30 % FFS, v bolj ekstremnih razmerah, kjer nasad pestijo različne bolezni, kot je npr. esca, in del rastlin v vrsti manjka, pa lahko prihranimo 50 % ali več FFS.



**Slika N+3: Pršilnik z nameščenim senzorskim sistemom za zaznavo krošenj in lokalizacijo sistema.**

Vir: lasten.

### 3.4 Farmbeast

Ena izmed pomembnih komponent, ki bo v prihodnosti krojila področje preciznega kmetijstva, je priprava ustreznega kadra. Ti bodo nove tehnologije uporabljali, vzdrževali in seveda tudi razvijali. V ta namen na Katedri za biosistemsko inženirstvo že od leta 2008 izvajamo obštudijski projekt Farmbeast (Kajbič et al., 2021). Gre za projekt, kjer k reševanju izzivov sodobnega kmetijstva pristopamo interdisciplinarno, z združevanjem znanj s področja računalništva, elektrotehnike, strojništva in sorodnih drugih ved z namenom rešiti izzive sodobnega kmetijstva.

V sklopu projekta Farmbeast študenti razvijajo manjšega študentskega robota, s katerim se vsako leto pomerimo s podobnimi roboti na mednarodnem tekmovanju Field Robot Event (FRE, 2022). Roboti na tekmovanju FRE so zaradi zahtev ožji od 0,75 m, navadno manjši od 0,5 m in z maso običajno nekje do 20 kg. Vseeno pa na njih tečejo prava robotska okolja (ROS (Stanford Artificial Intelligence Laboratory et al., 2018) in algoritmi, ki so lahko del večjih, tudi komercialnih robotskih sistemov.

Farmbeast tako uporablja distribuiran računalniški sistem, z manj zmogljivim ARM računalnikom (RaspberryPI 3B), namenjen nizkonivojskim procesom, in računalnik z i7 procesorjem za visokonivojske procese (Intel NUC7I7BNH), ki ga prvi vklaplja in izkaplja po potrebi. Robot zajema množico različnih senzorskih sistemov, ki vključujejo MEMS inercialno enoto, večkanalni LiDARski sistem (Velodyne VLP-16), dve 5 Mpix PoE kameri, dodati SICK TIM310 LiDAR za podporo orodijem, odometrijo, itd. Robota poganjajo štirje BLDC motorji s skupno močjo 800 W in dodatni štirje DC motorji za zasuk posameznega pogonskega sklopa, ki omogoča tudi različne načine vožnje, kot so skid-steer, ackermann in drugi.

Cilj projektne skupine je razviti oz. izboljšati manjšega avtonomnega robota, ki bo oz. je sposoben opravljati na polju različna opravila. To pa je tudi cilj tekmovanja FRE, kjer se študenti z izpopolnjenim robotom pomerijo z drugimi roboti oz. skupinami v 4 + 1 disciplinah. Prve štiri discipline zajemanje osnovo navigacijo, kjer se robot samodejno premika po polju v medvrstnem prostoru rastlin. V sklopu druge naloge se robot samodejno premika po polju, kjer lahko del rastlin tudi manjka, premika pa se po v naprej določenem zaporedju, kar pomeni, da se v danem trenutku mora »zavedati« kje se nahaja. V sklopu tretje naloge roboti izvajajo različna opravila povezana z zaznavo plevelov, z zaznavo obolelih rastlin oz. podobno. V sklopu

četrte naloge pa te rastline ustrezno tretira tako, da jih poškropi, odstrani ali naredi kaj tretjega, odvisno od teme tekmovanja, ki so jo organizatorji določili za trenutno leto.



**Slika N+4: Robot Farmbeast, ki je nastal v sklopu interdisciplinarnega študentskega dela.**

Vir: lasten.

Običajnim štirim nalogam pa sledi še dodatna disciplina Freestyle, kjer lahko skupine še posebej izrazijo svojo kreativnost in ideje, ki jih imajo na področju robotike v kmetijstvu. Običajno skupine v ta namen izdelajo nove priključke, ki robotom omogoča opraviti dodatna opravila, na hitrejši način, z bolj natančno obdelava, vse to pa običajno popolnoma samodejno.

## **5 Zaključek**

Kmetijstvo je strateška panoga, ki jo moramo ohraniti tudi v prihodnje. To pa bo verjetno mogoče le, če bomo sledili tehnološkemu razvoju, kar bo omogočalo domačim pridelovalcem hrane, da bodo ostali primerljivi v svetovnem merilu. Ob podpori tehnologije bodo lahko pridelali visokokvalitetno hrano, hrano v dovolj

velikih količinah, hrano, ki bo cenovno dostopna, ob vsem tem, pa bodo kmetovali na trajnosten način, ki bo omogočal nadaljevanje kmetijske panoge tudi prihodnjim rodovom.

V sklopu prispevka so predstavljeni nekateri izzivi preciznega kmetijstva, kamor nedvomno sodi tudi računalništvo in, še natančneje, tudi postopki digitalne obdelave signalov. Glede na te so bili predstavljeni štirje projekti, ki pa še potekajo ali pa so se nadavno končali. Vsem tem pa je skupno to, da pri vsakem izmed njih vidimo dodatne možnosti, ki bi rešitve lahko še izboljšale, vse te dodatne rešitve, pa bodo nekoč v pomoč domačim pridelovalcem hrane, pa tudi še širše.

## Literatura

- Berk, P., Stajniko, D., Hočevnar, M., Malneršič, A., Jejčič, V., Belšak, A. (2019). Plant protection product dose rate estimation in apple orchards using a fuzzy logic system. *PloS one*. April 2019, vol. 14, no. 4, e0214315, ISSN 1932-6203.
- Field Robot Event, (2022), <https://www.fieldrobot.com/event/>, (15.2.2022).
- Kajbič, M., Kenda, U., Popič, G., Toš, D., Bernik, R., Lakota, M., Rakun, J. (2021) Farmbeast. V: GRIEPENTROG, H. W. (ur.), Proceedings of the 18th Field Robot Event 2021, June 8th – 10th, 2021 : Conducted in conjunction with the DLG-Feldtage/ DLG Field Days. University of Hohenheim, Technology in Crop Production, January 2022. Str. 78-87.
- Lepej, P., Rakun, J. (2016). Simultaneous localisation and mapping in a complex field environment. *Biosystems eng.* October 2016, vol. 150, str. 160-169, ISSN 1537-5110.
- Lepej, P., Rakun, J. (2017). Uporaba avtonomnih mobilnih robotov v kmetijstvu. V: MUNIH, Marko (ur.). SI robotika. Ljubljana: Slovenska matica, 2017. Str. 77-88, ilustr. ISBN 978-961-213-266-8. [COBISS.SI-ID 11702868]
- Pantano, M. (2020). Evento finale progetto, Rovtisi 4.0 – Webinar 4.12.2020, [https://www.rovitis.veneto.it/wp-content/uploads/2020/12/20200923\\_Rovitis40\\_conclusion\\_FINAL.pdf](https://www.rovitis.veneto.it/wp-content/uploads/2020/12/20200923_Rovitis40_conclusion_FINAL.pdf).
- Rihter, E. (2020). Pregled stanja in smernice razvoja preciznega kmetijstva v Sloveniji : magistrsko delo. Maribor: [E. Rihter], 2020. XIII, 67, [5] f., [COBISS.SI-ID 17701891]
- Mongus, Ž. (2019) Uporaba brezpilotnih letalnikov za določanje NDVI indeksa na rastlinah oljne ogrščice : diplomsko delo. Maribor: [Ž. Mongus], 2019. VI, 34. [COBISS.SI-ID 4616236]
- Stanford Artificial Intelligence Laboratory et al. (2018). Robotic Operating System. [www.ros.org](http://www.ros.org).