

Primeren način za pridelavo sadja ali zgolj visokoleteče sanje?

EUFRIN je neformalno združenje evropskih raziskovalcev s področja sadjarstva in je organizirano v več strokovnih skupin, katere se ukvarjajo z redčenjem, namakanjem, skladiščenjem, testiranjem sort itd. Leta 2025 je bila ustanovljena skupina "Digital Orchards" (slovensko "Digitalni sadovnjaki"), del katere smo tudi Oddelek za sadjarstvo na Kmetijskem inštitutu Slovenije.

Cilj skupine je analiza digitalizacije in integracija različnih senzorjev v sadjarstvu ter povezovanje z drugimi EUFRIN skupinami. V skupini poteka učinkovito sodelovanje in izmenjevanje informacij v hitro spreminjajočem se sektorju sadjarstva. Člani se srečujemo v živo ali preko spleta ter prihajamo iz različnih evropskih držav, aktivno pa sodelujemo tudi z Avstralijo, Novo Zelandijo in ZDA. Spodaj so opisane posamezne dejavnosti, ki jih izvajamo člani skupine.

Laimburg, ITALIJA:

LIDO – Laimburg Integrated Digital Orchard

(odgovorni: Elias Holzknicht, Walter Guerra)

V raziskovalnem centru Laimburg so leta 2022 postavili raziskovalni sadovnjak ("open-air laboratory"), ki ponuja realno okolje za preizkus digitalne tehnologije, senzorje in robotiko v sadjarstvu in vinogradništvu. Cilj laboratorija je testiranje, validacija in nadaljnji razvoj digitalnih tehnologij v sadjarstvu v sodelovanju s podjetji in drugimi raziskovalnimi inštitucijami. Raziskovalni sadovnjak (0,5 ha, sorti 'Rosy Glow' in 'Pink Lady®') in raziskovalni vinograd (0,4 ha; sorta 'Chardonnay') sta opremljena z električno energijo, optičnimi kablji in spletno povezavo (Wi-Fi). LIDO je opremljen z inovativnim stacionarnim pršilnim sistemom (S.O.P.H.I.A., podjetje Netafim™) in centralno podatkovno infrastrukturo za zbiranje podatkov. Projektna skupina vsako leto določi temo raziskovanja in s pomočjo objave razpisov privabi nacionalne ter mednarodne partnerje k namestitvi svojih sistemov in senzorjev ter k sodelovanju pri raziskavah.

Rez dreves s pomočjo umetne inteligence (odgovorni: Frederik Kurz, Christian Andergassen)

V raziskovalnem centru poteka razvoj aplikacije za pomoč pri rezi sadnih dreves. Projekt se imenuje "AIpruning" (AI – umetna inteligenca, pruning – rez), financira pa ga Evropsko partnerstvo za inovacije (EIP) in ga sestavlja 14 partnerjev iz zvezne dežele Porenje-Pfalško (Nemčija) ter Južne Tirolske (Italija).

Za pravilno rez dreves so potrebne izkušnje in natančno poznavanje značilnosti rasti. To lahko predstavlja težavo za lastnike trajnih nasadov, zlasti ob vse večjem pomanjkanju usposobljenih delavcev, ki bi znali pravilno rez izvajati. Pomanjkanje znanja delavcev pri rezi lahko privede do nepravilne rezi, ki lahko drevesu celo škodi. Pogosto so delavci tujci, pri čemer dodatno težavo povzroča nerazumevanja jezika, zaradi česar je otežena komunikacija. Tekom projekta je cilj reševanja te težave tak, da se delavce nauči pravilne rezi, ki jo kasneje opravljajo sami.



Prikaz slike v aplikaciji, ki se razvija v projektu AIpruning

Prvi korak je ustvariti videoposnetke dreves, na katerih je potrebno opraviti rez. Ob začetku projekta pozimi leta 2023/2024 so sprva naredili malo manj kot 2400 videoposnetkov dreves v nasadu sorte 'Gala' pred izvedbo rezi. Posnetki so bili narejeni s pomočjo pametnega telefona, kar je vzelo preveč časa. V letu 2024 so zato izdelali okvir za kamero in jo namestili na traktor. S pomočjo teh posnetkov in umetne inteligence so ustvarili 3D modele posameznih dreves.

Na ustvarjene 3D modele so nato vnesli nabor pravil glede rezi dreves, na podlagi katerih se izračunajo oz. izmerijo položaji rezov. Pri oblikovanju pravil za rez sodelujejo strokovnjaki različnih projektnih partnerjev, kar naj bi omogočilo pripravo prilagojenih in primernih priporočil za rez posameznega drevesa.

Esteburg, Hamburg, NEMČIJA:

Zajemanje podatkov s pomočjo 'Sensorbox' pripomočka – ocenjevanje velikosti jabolk in štetje v sadovnjaku s pomočjo računalnika ter stereo vizualne odometrije za napoved pridelka (odgovorni: Jiahua Wei, Moritz Henschel)

Projekt 'SAMSON' se izvaja v Hamburgu in Spodnji Saški ter se ukvarja s trajnostnim upravljanjem sadovnjakov s pomočjo avtomatizacije in umetne inteligence. Raziskovalni projekt podpira nemško zvezno ministrstvo za kmetijstvo in prehrano.

Za natančno napovedovanje pridelka in kakovosti jabolk potrebujemo kar nekaj bistvenih parametrov (sorta jabolk, število plodov, velikost plodov, intenzivnost cvetenja), zato je cilj projekta pridobivanje teh podatkov avtomatizirati. Tekom procesa se srečujejo z izzivi, kot so spremenljiva osvetlitev, vremenske razmere in prekrivanje plodov zaradi listov. Med robustnim strojnim učenjem metode uporabljajo integriran senzorski sistem, ki vključuje RGB kamere, GPS senzorje in inercialno merilno enoto (IMU), ki pasivno zbira podatke med rutinskimi deli v sadovnjaku. Zbrani podatki bodo nato dostopni preko razvite aplikacije,



Sensorbox, nameščen na traktor



FieldRobotics rover v sadni steni (2D sadovnjak)

ki omogoča vizualizacijo podatkov na ravni sadovnjaka in posameznih dreves. Prvi prototip aplikacije je bil razvit v prvih dveh letih projekta in se od takrat nenehno izpopolnjuje. Trenutno se položaji posameznih dreves še vedno beležijo ročno z uporabo RTK merilnega droga (pripomoček, ki se uporablja za natančno določanje položaja s pomočjo satelitske navigacije). Poleg tega je bil razvit sistem na osnovi kamere, ki omogoča avtomatsko določanje položajev dreves glede na posnete slike. Tekom izvedbe projekta se bo ustrezna programska oprema za zaznavanje dograjevala in izboljševala. Algoritmi vizualne odometrije, ki temeljijo na samodejnemu učenju, rekonstruirajo okolje sadovnjakov, kar omogoča natančne slike, ki se uporabljajo za štetje in merjenje velikosti plodov. Natančnost zaznavanja plodov je bila ocenjena z nizom najsodobnejših algoritmov. Čeprav bi bil primernejši

in natančnejši sistem DETR, zasnovan na transformatorju, so za delo izbrali YOLOv8 zaradi hitrejšje obdelave in manjše računalniške obremenitve, kar zmanjšuje možnost napak pri zaznavah. V kombinaciji z znano lokacijo drevesa ta metoda omogoča natančno štetje in merjenje plodov, s čimer izboljšamo napoved pridelka. Napovedi temeljijo tudi na preteklih podatkih o pridelku in strokovnih vpogledih izkušenih raziskovalcev ter kmetijskih svetovalcev z območja Hamburga.

Univerza v Bolonji, ITALIJA:
ECOPOM: Vključevanje robotske inteligence v trajnost sadovnjakov
(odgovorni: Luigi Manfrini, Gianmarco Bortolotti, Mirko Piani, Cristiano Franceschini, Dario Mengoli)

Skupina ECOPOM (Ekofiziologija in precizno kmetijstvo v trajnih nasadih), ki

deluje na Univerzi v Bolonji, je vodilna na področju pametnega in trajnostnega upravljanja sadovnjakov, saj združuje ekofiziologijo z mehatroniko in elektroinženirstvom. Njihove inovacije podpirajo sadjarje s tehnologijami, ki optimizirajo pridelek, zmanjšujejo vpliv na okolje in izboljšujejo učinkovitost.

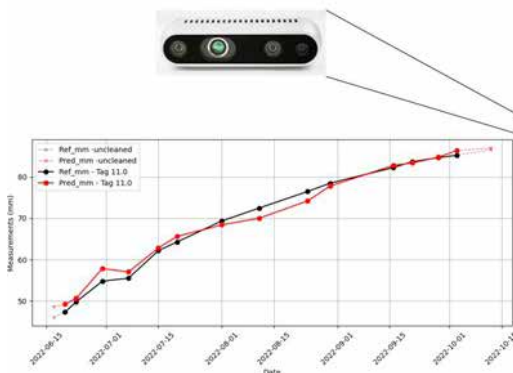
Osnova za delo ECOPOM skupine je električni robotski rover, zasnovan za sadovnjake. Opremljen je z GPS-RTK za natančno geolokacijo, LiDAR služi za 3D kartiranje in RGB/stereo kamere za zaznavanje okolja. Modularna zasnova robotskega roverja omogoča integracijo orodij, kot so multisenzorji, razpršilniki ali kosilnice. Na tak način so si omogočili izvajanje več opravil hkrati.

Platforma vključuje vgrajen sistem za zaznavanje plodov in oceno pridelka s pomočjo nevronske mreže na procesorjih z nizko uporabo energije. To omogoča sprotno štetje plodov, kar pomaga pri napovedovanju pridelka. Sistem za merjenje velikosti plodov je sestavljen iz RGB-D kamere (Intel RealSense D435i) in nevronske mreže na podlagi programa YOLO. Ocenjevanje premera jabolk je 92-odstotno natančno. Podpira upravljanje z možnostjo spremljanja rasti plodov skozi celo sezono.

Delo ECOPOM-a združuje različna področja (agronomijo, računalništvo, inženirstvo in analizo podatkov). Sistemi so modularni in preizkušeni v realnih pogojih v trajnih nasadih. Skupina podpira odprto inovativnost, deli podatke in orodja (github.com/ECOPOM) ter sodeluje s pridelovalci z namenom izboljšave uporabnosti in zmožljivosti.

Partnerstvo ECOPOM-a s FieldRobotics

Intel RealSense D435i depth camera



FieldRobotics rover v sadni steni (2D sadovnjak)

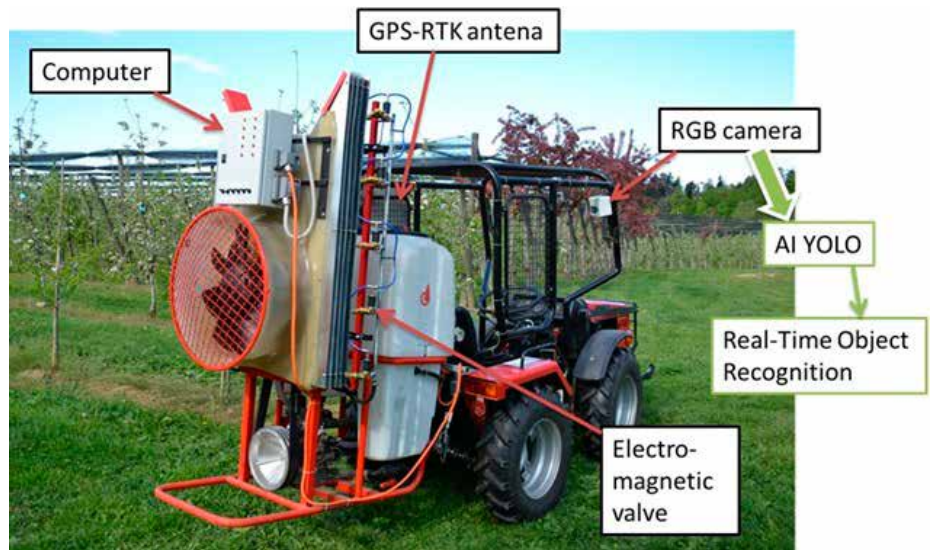
in Univerzo v Bolonji, prinaša naslednje inovacije na trg. Njihove komercialne platforme opravljajo natančno škropljenje, navigacijo in nadzorne naloge, s pomočjo katerih dokazujejo, kako se teoretično zanje uporabi na terenu. S pomočjo take tehnologije želijo reševati težavo pomanjkanja delovne sile in se spopadati s podnebnimi spremembami.

Vizija ECOPOM o digitalnem, odprnem sadjarstvu združuje robotiko, zaznavanje v realnem času in analizo podatkov v inteligentno hortikulturno infrastrukturo. Njihove raziskave združujejo akademsko strokovnost in praktični vpliv ter ponujajo prilagodljiv model za pametno in trajnostno kmetijstvo.

Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, SLOVENIJA:

Precizno redčenje plodičev
(odgovorni: Nika Hillmayr, dr. Matej Stopar, Eva Indihar)

Na Kmetijskem inštitutu Slovenije smo izdelali selektivni pršilnik za redčenje sadnega drevja. Pršilnik bo lahko samostojno pršil cvetoča drevesa na nizki, srednji ali visoki intenzivnosti, odvisno od gostote cvetenja. To pomeni, da se na slabo cvetočih drevesih ne bo izvedlo kemičnega redčenja, za srednje cvetoča drevesa se bo uporabil zmeren program in za bujno cvetoča drevesa močnejši program redčenja. Za prepoznavanje gostote cvetnih šopov se uporablja algoritem RGB ali YOLO. Računalnik, nameščen na pršilniku, izračuna gostoto



Prototip selektivnega pršilnika

cvetov in podatke skupaj s položajem drevesa pošlje računalniku, nameščenemu na traktorju. Sam položaj drevesa se določi s pomočjo GPS-RTK antene skupaj z ocenjeno gostoto cvetov. Ko pride pršilnik do posameznega drevesa, se elektromagnetni ventili na podlagi predhodnih prenesenih podatkov delno, popolnoma ali pa sploh ne odprejo. Enak princip je mogoče uporabiti tudi za program spodbujanja cvetenja za naslednje leto. Slabo cvetoča drevesa ne bi prejela škropljenja za spodbujanje cvetenja, bujno cvetoča drevesa pa bi bila škropljena s sredstvom za spodbujanje cvetenja po izvedenem redčenju. Kot je znano, alternanca pri jablanah povzroči bujno cvetenje dre-

ves, ki so prejšnje leto slabo cvetela, in obratno pri bujno cvetočih drevesih.

Poskusi so bili izvedeni s selektivnim pršilnikom, ki je uporabljal slike, narejene z industrijsko kamero. Tekom poskusov je bilo zaznano 10-odstotno odstopanje (npr. napačno škropljeno drevo). Dve vrsti dreves v sadovnjaku sta bili škropljeni s sredstvi za redčenje; v vsaki vrsti je bilo za namen poskusa izbranih 15 dreves. Nekatera z več kot 70 cvetovi na drevo, nekatera pa z manj kot 70 cvetovi na drevo (na tak način je bilo ocenjeno, ali ima drevo veliko ali malo cvetov). Pri standardnem redčenju (enakomerno škropljenje bujno cvetočih in manj cvetočih dreves) je bilo število plodov na drevo 143. Pri selektivnem redčenju (tj. škropljenje le bujno cvetočih dreves) je bilo število plodov na drevo 183, kar kaže na višji pridelek s pomočjo selektivnega pršenja.

Delo na selektivnem pršenju poteka v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani v okviru projekta CRP DIGISAD (V4-2230), ki ga financirata ARIS in MKGP.

IRTA, Katalonija, ŠPANJA:

Tehnologije umetnega vida za upravljanje redčenja v sadovnjakih
(odgovorni: Luis Gonzalez Nieto, David Caimel Montfuleda, Berta Cunill Vallrera in Jaume Lordan Sanahuja)

Projekt poteka pod okriljem IRTA (Institute of Agrifood Research and Technology, Španija) z namenom ocene sistemov umetnega vida podjetij, ki so že v fazi komercializacije. Drug cilj projekta je izvajanje natančnega upravljanja obremenitve pridelka na drevo z uporabo sistemov vida



Več kot zaščita pred pleveli



flash



flyer



shyfo

FLASH • FLYER • SHYFO

080 16 22 www.metrob.si

Fitofarmacevtska sredstva uporabljajte varno. Pred uporabo vedno preberite etiketo in informacije o sredstvu.



Prikaz programov različnih podjetij, ki jih preizkušajo v Španiji

v nasadih jabolane.

Tekom štirih let projekta so največji potencial pokazala podjetja CClair, Waatic in Vivid. CClair je francosko podjetje, ki ocenjuje intenzivnost cvetenja in ustvarja zemljevide za uporabo sredstev za redčenje s spremenljivo stopnjo uporabe. Waatic je špansko podjetje, ki ekonomsko sprejemljivo prilagaja komercialne pršilnike in s tem omogočijo uporabo sredstev z možnostjo različno intenzivnega nanosa. Podjetje Vivid prihaja iz Kanade in trži sistem, ki je sposoben šteti popke pozimi, kartirati intenzivnost cvetenja in napovedovati učinkovitost kemičnega redčenja jabolk ter zazna plodiče od 5 mm do obiranja in prav tako oceniti pridelek. Vsa podjetja in njihovi sistemi morajo biti predhodno preverjeni, da se španski pridelovalci lahko prepričajo o učinkovitosti še pred sklenitvijo pogodb s podjetji. Leta 2024 je bil izveden poskus z uporabo spremenljivega odmerka s sistemom Waatic in zemljevidi, ki jih je ustva-

rilo podjetje CClair. V poskusu je polovica nasada prejela enoten odmerek (po priporočilih proizvajalca), druga polovica nasada pa je bila škropljena selektivno. Rezultati so pokazali, da je uporaba večjega odmerka kemičnega sredstva za redčenje na območju z večjo intenzivnostjo cvetenja zmanjšala ročno redčenje za 42 ur na hektar in s tem zmanjšala stroške dela. Poleg tega je prilagoditev komercialnega pršilnika s sistemom Waatic omogočila natančno nanašanje s spremenljivo hitrostjo po popravku GPS-RTK pozicioniranja.

V drugem poskusu so ocenjevali, ali sistem Vivid zazna in izmeri plodiče velikosti od 5 do 30 mm. Hkrati so ocenjevali, ali lahko napove rezultate kemičnega redčenja z enako natančnostjo kot model rasti plodov, ki ga je razvil dr. Duane Green (Univerza v Massachusettsu, ZDA), ki temelji na ročnem merjenju plodov. Rezultati so pokazali, da sistem Vivid lahko zazna in izmeri omenjene plodiče z 90-odstotno natančnostjo.

Poleg tega je sistem v treh od štirih poskusov lahko napovedal število plodov sedem dni po kemičnem redčenju. Prve ocene so tako pokazale obetavne rezultate, ne glede na to pa je potrebno večletno testiranje, da se zagotovi zanesljivost programa.

Pcfruit, BELGIJA: Precizno sadjarstvo in selektivno pršenje

(odgovorni: Serge Remy, Yasmin Vanbrabant, Stephanie Delalieux, Wim Verjans, Reinout Sevenants, Dany Bylemans)

Za precizno sadjarstvo je bil vzpostavljen proces, ki vključuje zajemanje podatkov s pomočjo dronov, obdelavo slik, strokovno kalibracijo in nato ustvarjanje digitalnega zemljevida, ki vključuje naloge v sadovnjaku ter njihovo izvajanje. Pcfruit (Sadjarski raziskovalni center v Belgiji) je tako predstavil rezultate dveh poskusov prilagojenega redčenja hrušk sorte 'Konferans', kjer so uporabili prej opisan proces. V prvem poskusu, izvedenemu v letu 2021, so bile slike iz zraka in slike s tal združene v programu. Na podlagi podatkov se je izdelal zemljevid intenzivnosti cvetenja in pripravil načrt redčenja s pripravkom Brevis. Pripravili so tri mešanice z različno koncentracijo pripravka: brez pripravka, 1,10 kg/ha in 1,65 kg/ha. Izbrana mešanica je bila določena glede na število socvetij na drevo. Izkazalo se je, da je bil delež hrušk velikosti nad 65 mm večji v delu sadovnjaka, kjer so uporabili selektivno škropljenje. V drugem delu sadovnjaka so uporabili na vseh drevesih enako koncentrirano mešanico škropiva (1,1 kg/ha). Izkazalo se je, da selektivno škropljenje omogoča prihranek od 100 do 130 evrov na hektar in omogoča višji prihodek, vendar sta oba faktorja odvisna od vrste sredstva za redčenje in deleža dreves, ki redčenje potrebujejo. Enak poskus so izvedli še leta 2024. Vremenske razmere so pri uporabi sredstva Brevis zahtevale dodatno previdnost (hladno, vlažno vreme z malo sončnimi dnevi, med in po cvetenju – pričakovalo se je močno naravno junijsko redčenje). Ponovno so izvedli selektivno in neselektivno škropljenje. V tem primeru so bili pridelki podobni, ponovno pa so zabeležili večjo poprečno velikost plodov pri selektivnem škropljenju v primerjavi z neselektivnim škropljenjem.

*Eva Indihar, Nika Hillmayr
Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in
vinarstvo, Kmetijski inštitut Slovenije*

