

Zmanjševanje uporabe fitofarmaceutskih sredstev v sadjarstvu s pomočjo digitalizacije

Simon Kolmanič¹, Stanislav Tojnko², Tatjana Unuk², Borut Žalik¹, Domen Mongus¹

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola 10, 2311 Hoče

E-pošta: simon.kolmanic@um.si

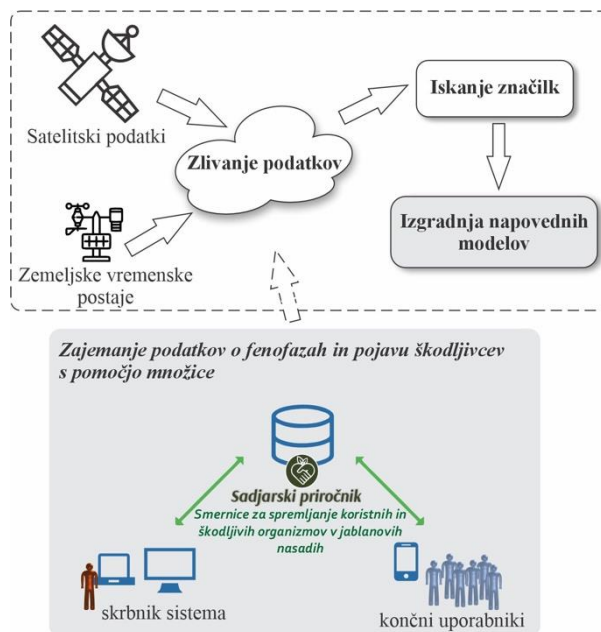
Reduction of plant protection products in fruit growing with the help of digitalization

Abstract. Modern agriculture strives to minimize the negative impact on the environment and the pesticide residues to the lowest levels. Thus, the plant cultivation process is digitalized, and the decision support platforms for the farmers are built. This article presents a digital guide for fruit growing, which is the first step to the system for decision support in integrated apple production. A digital manual secures reliable data about the phenological growth stages of the orchard and early pest infestations detection by crowdsourcing. It guides the growers through the monitoring processes of harmful organisms and their natural enemies to reduce pesticide use and lower greenhouse gas emissions.

1 Uvod

Današnji standardi v sodobnem kmetijstvu zahtevajo nove pristope, ki so z natančnim doziranjem, tako zaščitnih sredstev rastlin kot gnojenja, okolju bistveno bolj prijazni, zmanjšujejo pa tudi izpuste toplogrednih plinov. Istočasno se je povečalo tudi zavedanje o nevarnostih, ki jih za zdravje ljudi predstavljajo ostanki zaščitnih sredstev, predvsem na sadju in zelenjavi, kjer so raziskovalci posebno pozornost namenili jabolkom [4]. Vse to je od pridelovalcev zahtevalo prilagoditve, ki v veliki meri temeljijo na digitalizaciji in naprednih sistemih, ki pomagajo pri odločanju [8,9]. Vse te spremembe pa so povezane tako z visokimi stroški potrebnih naprav, kot tudi s potrebo po novih sodobnih znanjih, ki so velikokrat še večja ovira. Eden od možnih in stroškovno nekoliko bolj dostopnih odgovorov na sodobne zahteve v pridelavi, je integrirano varstvo rastlin [3]. Le-to temelji na kombinaciji biotičnih, obdelovalno gojitvenih, fizikalnih, biotehničnih in kemijskih načinov varstva rastlin, katerih cilj je zmanjševanje tveganja za gospodarnost kmetijske pridelave ter zdravja ljudi in okolja. Ker tudi ta način varstva rastlin zahteva veliko količino znanja, ki je težko dostopno, bi bila tudi pri tem načinu pridelave koristna podpora že omenjenih odločitvenih sistemov. V tem članku se bomo omejili na pridelavo jabolk s pomočjo integriranega varstva rastlin, kjer bomo za omejevanje populacije škodljivcev v sadovnjakih dali poudarek na njihovih naravnih sovražnikih. Tak sistem v prvi vrsti temelji na opazovanju, ki je časovno zahteven postopek, zato v ta namen velikokrat uporabljamo kar avtomatizirane pasti za škodljivce, s pomočjo katerih ugotavljamo njihove

populacije v nasadu [7]. Težava pa je, da na ta način ne moremo zaznavati populacije koristnih organizmov. Se pa v tem primeru srečamo še z eno težavo. Dogajanje v sadovnjaku je namreč vezano na razvojne faze sadovnjaka, imenovane tudi fenofaze [5], ki jih je z zaznavanjem na daljavo izjemno težko razpoznati. Oba problema lahko učinkovito razrešimo z zajemanjem podatkov s pomočjo množice, ki je učinkovit način zbiranja podatkov že v drugih aplikacijah s področja kmetijstva [6]. Seveda je uporabnike za sodelovanje potrebno primerno motivirati in jim v zameno za to nekaj ponuditi. V ta namen smo razvili mobilno aplikacijo Digitalni sadjarski priročnik, ki je namenjen usmeritvam sadjarja k pravilnemu spremljanju koristnih in škodljivih organizmov v nasadu in prepoznavanju situacij, ko je uporaba zaščitnih sredstev nujna. Priročnik teče na mobilnih telefonih Android.



Slika 1: Shema načrtovanega sistema za podporo pridelovalcev pri integrirani pridelavi jabolk.

Digitalni sadjarski priročnik uporabniku v sadovnjaku svetuje, kaj je v danem časovnem obdobju potrebno narediti z vidika monitoringa. Uporabnik ob aktiviranju tako najprej določi fenofazo, v kateri se nahaja njegov nasad, nakar mu sistem ponudi informacije o aktivnih škodljivih organizmih in potrebnih aktivnostih monitoringa. Ob predhodnem soglasju uporabnika podatke o fenofazi nasada skupaj z lokacijo GPS in

datumom shrani v podatkovno bazo. Prav tako v podatkovno bazo skupaj s prostorsko in časovno značko ob soglasju uporabnika vpiše tudi podatek o morebitni prekoračitvi praga škodljivosti. Ta podatek služi tudi kot opozorilo vsem ostalim uporabnikom sistema v predpisanem časovnem intervalu in radiju. Na ta način vsak uporabnik prispeva podatke o stanju nasada, ki bodo vhod v sistem za podporo pri odločanju pri upravljanju z nasadom, ki ga prikazuje slika 1. Podatke je potrebno predhodno očistiti, nato pa jih bomo zlili s satelitskimi podatki in meteorološkimi podatki ter drugimi koristnimi podatki, kakšne najdemo na primer na portalu Agrometeorološki portal Slovenije¹, kot je to običajno pri tudi podobnih rešitvah na tem področju [1,10].

Ker bodo naši vhodni podatki pridobljeni takoj ob zaznani prekoračitvi pragu škodljivosti, se bo sistem na to lahko odzval, preden bi nastala škoda, ki bi jo lahko zaznali z metodami za daljinsko zaznavanje. Zaradi tega je lahko načrtovani sistem, ob dovolj široki uporabi, učinkovitejši od tistih brez zajema podatkov s pomočjo množic. Tako pričakujemo, da bo tudi škoda na pridelku nižja. Da bi bil sistem še učinkovitejši, pa načrtujemo izgradnjo natančnih napovednih modelov, ki bodo sadjarje opozorili na možnost napada, preden se bo le-ta zgodil, kar pomeni, da se bo učinkovitost monitoringa na ta način še izboljšala. V nadaljevanju opisujemo prvi korak v načrtovanem sistemu za podporo sadjarjem pri integrirani pridelavi jabolk, to je Digitalni sadjarski priročnik.

2 Digitalni sadjarski priročnik

Digitalni sadjarski priročnik je sestavljen iz čelnega in zalednega dela. Čelni del sestavljata spletna aplikacija za vnos podatkov o škodljivcih in njihovih naravnih sovražnikih, ter mobilna aplikacija, ki je namenjena sadjarjem pri njihovem delu. Zaledni del tvori baza podatkov skupaj z vsemi vmesniki, ki omogočajo delovanje čelnega dela.

2.1 Zaledni del aplikacije

Za implementacijo podatkovne baze smo uporabili odprtokodno relacijsko podatkovno bazo MySQL, ki smo jo kombinirali z realno časovnim okoljem Node.js. Baza sestoji iz 21 tabel, v katerih hranimo podatke o škodljivcih, njihovih razvojnih stadijih, načinih monitoringa, skupaj s pragovi škodljivosti. Podobne podatke hranimo tudi o koristnih organizmih, to so naravni sovražniki škodljivcev. Razen tekstovnih podatkov lahko v bazo podatkov shranimo tudi poljubno število slik in videov, pri čemer smo zaradi hitrejšega prenosa omejili njihovo resolucijo. Hraniti je potrebno tudi podatke o razvojnih fazah, pri čemer smo uporabili Fleckingerjevo in klasifikacijo BBCH. Pri vsaki razvojni fazi hranimo najverjetnejši časovni interval, v katerem se

nasad v tej fenofazi nahaja, skupaj s fotografijami posamezne faze.

V kolikor se uporabnik s tem strinja, hranimo tudi povratne informacije, ki jih dobimo s strani uporabnika, to so podatek o razvojni fazi nasada in podatek o prekoračitvi praga škodljivosti.

2.2 Spletna aplikacija za vnos podatkov

Spletna aplikacija je namenjena strokovnjakom s področja sadjarstva, ki kreirajo vsebino digitalnega priročnika. Za implementacijo tega dela priročnika smo uporabili jezik, temelječ na predlogah, EJS (ang.: Embedded JavaScript), v kombinaciji z ogrodjem Express.js.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'https://sad-eprirocnik.farnum.si/pesti/vnos/'. The page title is 'E - priročnik' and the breadcrumb is 'Škodljivi organizmi'. The form is titled 'Vnos škodljivcev' and contains the following fields:

- Slovensko ime: [text input]
- Vnesite slovensko ime škodljivega organizma: [text input]
- Latinsko ime: [text input]
- Vnesite latinsko ime škodljivega organizma: [text input]
- Vnesite opis škodljivega organizma: [text area]
- Vnesite opis poškodbe, ki jo povzroča škodljiv organizem: [text area]
- Nahajatišča: [text area]

At the bottom, there is a note: 'Vnesite, kje se nahaja škodljiv organizem.'

Slika 2: Forma za vpis podatkov o škodljivcu.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'https://sad-eprirocnik.farnum.si/fenofaza/pregled/'. The page title is 'Vnos podatkov za sadjarski e-priročnik'. The page displays a list of pest development stages with the following information:

- ZELENI POPEK (B) | BBCH 56 31**
Začetek fenofaze: 1 April
Konec fenofaze: 15 April
Slika: [Image of a green leaf with a pest]
- RDŽIČ, RÖZHNATI POPEK (B) | BBCH 57 /**
Začetek fenofaze: 10 April
Konec fenofaze: 18 April
Slika: [Image of a leaf with reddish-brown spots]

Each entry has 'Izbrisi' and 'Uredi' buttons below it.

Slika 3: Pregled in naknadno urejanje podatkov o razvojnih fazah nasada.

¹ <http://agromet.mkgp.gov.si/APP2/Home/Index> [zadnji obisk, 19. 7. 2023]

Vpisovanje vsebine priručnika je zaščiteno z geslom. Ob prijavi se odpre forma za vpisovanje podatkov o škodljivcu, glej sliko 2. Ti podatki so centralni, saj se nanje navezuje večina ostalih podatkov, ki jih vpisujemo. Ob vpisovanju podatkov o škodljivcu je tako priporočljivo vpisati tudi vse povezane podatke (npr. razvojne stadije, metode monitoringa, pragove škodljivosti, itd.), saj je tak način bolj pregleden. Podatke, vpisane v bazo, lahko v vsakem trenutku pregledujemo in urejamo. Na sliki 3 lahko vidimo primer pregledovanja podatkov o razvojnih fazah nasada.

2.3 Mobilna aplikacija, namenjena končnemu uporabniku

Najpomembnejši del digitalnega priručnika predstavlja mobilna aplikacija. Izdelana je s pomočjo orodja Android studio, saj je to ciljna platforma, ki smo jo izbrali. Ob zagonu aplikacije uporabnik najprej določi razvojno fazo sadovnjaka, saj napadi škodljivcev v prvi polovici vegetacijske dobe sovpadajo z njimi. Naprednejši uporabnik lahko fenofazo izbere kar iz seznama fenofaz, pri čemer sistem ponuja samo tiste fenofaze, kjer obstaja nevarnost napada. Manj večjemu uporabniku aplikacija pri določitvi ustrezne fenofaze ponudi pomoč v obliki slike najverjetnejše fenofaze in slike dveh predhodnih in dveh fenofaz, ki tej fazi sledita. Uporabnik izbere tisto, ki ustreza stanju v nasadu. Po določitvi fenofaze aplikacija ob soglasju uporabnika ta podatek shrani v podatkovno bazo za kasnejšo uporabo.



Slika 4: Spisek aktivnih škodljivcev in nujnih opravil, glede na določeno fenofazo.

Po določitvi fenofaze aplikacija izpiše vse škodljivce, ki se lahko pojavijo v tem časovnem obdobju (glej sliko 4)

in spisek opravil, ki jih je potrebno opraviti. V kolikor je v sistemu zabeleženo, da je bil v bližini napad škodljivcev s preseženim pragom škodljivosti, uporabnika obvesti tudi o tem.

S klikom na fotografijo ali ime škodljivca v seznamu aktivnih škodljivcev, se izpišejo vsi podatki o škodljivcu, skupaj s seznamom njegovih naravnih sovražnikov, katerih podrobnosti si lahko ogledamo s klikom nanje. Tako pri škodljivcih kot pri koristnih organizmih imajo pomembno vlogo fotografije, ki omogočajo, da organizem lažje prepoznamo. Fotografije si je mogoče podrobneje pogledati s klikom nanje. V tem primeru je fotografijo možno tudi povečevati in si ogledati dodatne podrobnosti, glej sliko 5. Fotografije pa ne prikazujejo zgolj organizmov, ampak lahko z njimi prikažemo tudi poškodbe, ki jih organizem povzroči v nasadu, ali pa ukrepe, ki pripomorejo k povečanju populacije koristnih organizmov.



Slika 5: Ogled fotografije koristnega organizma, ki jo lahko poljubno povečujemo.

V priručnik je možno vključevati tudi povezave na sorodne vsebine na spletu. To je še posebej koristno v primeru preseženega praga škodljivosti, ko lahko uporabnik takoj dobi podatke o dovoljenih zaščitnih sredstvih, s katerimi lahko zaščiti svoj nasad.

3 Čiščenje in bogatenje pridobljenih podatkov od uporabnikov

Eden od pomembnih ciljev, ki smo jih zasledovali pri razvoju Digitalnega sadjarskega priručnika, je zbiranje podatkov za kasnejše strojno učenje in gradnjo napovednih modelov. Zaradi tega je nujno, da

identificiramo in odpravimo vse morebitne nepravilnosti v njih. Čeprav ne poznamo identitete uporabnika, ki je prispeval podatke, pa so le-ti geolocirani. Tako za vsak podatek, preden ga v zalednem delu priročnika shranimo v podatkovno bazo, s pomočjo javno dostopnega sloja GERK-ov in Registra kmetijskih gospodarstev preverimo, ali je bil ta generiran v nasadu jablan, sicer tak podatek zavržemo. Na ta način v bazi hranimo le tiste podatke, ki dejansko odražajo stanje na terenu. Glede na dobljeno lokacijo nato iz Agrometeorološkega portala Slovenije pridobimo zbrane podatke za tri najbližje vremenske postaje, namenjene sadjarjem. Omenjeni portal omogoča dostop do vseh podatkov za zadnjih 48 ur v formatu XML. Čeprav je mreža teh postaj redka, vsebujejo celo vrsto podatkov, ki jih bomo lahko kasneje uporabili pri tvorbi modelov. Pri nadaljnjem razvoju bomo tako najprej poskusili izboljšati prostorsko-časovno ločljivost hranjenih prametov s pomočjo meritev splošnih meteoroloških postaj in satelitskih slik [2].

4 Zaključek

Predstavljeni Digitalni sadjarski priročnik v prvi vrsti ponuja sadjarjem težko dostopna znanja o varovanju rastlin na naraven način s pomočjo koristnih organizmov, ki jim v sadjarstvu običajno namenjajo malo pozornosti. S pravilnim uravnavanjem populacije koristnih organizmov lahko bistveno zmanjšamo potrebe po uporabi fitofarmacevtskih sredstev in s tem tudi zmanjšamo izpuste toplogrednih plinov, ki so s tem povezani.

Še pomembnejši vidik za naše nadaljnjo delo pa je to, da je priročnik hkrati tudi orodje za pridobivanje podatkov s pomočjo množice, ki jih je sicer težko pridobiti. Priročnik je bil strokovni javnosti predstavljen na Posvetu v okviru projekta EIP 16.5 Okoljski vidiki preusmeritve v ekološko pridelavo sadja, ki je potekal na Fakulteti za kmetijstvo in biosistemske vede, Univerze v Mariboru, kjer je naletel na veliko zanimanje. Z uporabo priročnika v praksi upamo, da nam bo uspelo zbrati kvalitetne podatke, potrebne za razvoj končnega podpornega sistema za učinkovito zaščito jabolk, ki bo prispeval k trajnostni pridelavi tega sadja v Sloveniji.

Zahvala

Avtorji izjavljamo, da je raziskavo finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenija v okviru programa P2-0041, projekta EIP 16.5 Okoljski vidiki preusmeritve v ekološko pridelavo sadja in L7-2633 Implementacije digitalnih dvojčkov ekosistemov agrikulturnih površin.

Literatura

- [1] Jayme Garcia Arnal Barbedo. 2022. Data fusion in agriculture: Resolving ambiguities and closing data gaps. *Sensors* 22, 6 (2022), 2285.
- [2] Jernej Cukjati, Domen Mongus, Krista Rizman Žalik, and Borut Žalik. 2022. IoT and satellite sensor data integration for assessment of environmental variables: a case study on NO₂. *Sensors* 22, 15 (2022), 5660.
- [3] Dominique Holtappels, Kiandro Fortuna, Rob Lavigne, and Jeroen Wagemans. 2021. The future of phage biocontrol in integrated plant protection for sustainable crop production. *Current Opinion in Biotechnology* 68, (2021), 60–71.
- [4] Magdalena Jankowska, Bożena Lozowicka, and Piotr Kaczyński. 2019. Comprehensive toxicological study over 160 processing factors of pesticides in selected fruit and vegetables after water, mechanical and thermal processing treatments and their application to human health risk assessment. *Science of the total environment* 652, (2019), 1156–1167.
- [5] R Martínez, P Legua, JJ Martínez-Nicolás, and P Melgarejo. 2019. Phenological growth stages of “Pero de Cehégín”(Malus domestica Borkh): Codification and description according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae* 246, (2019), 826–834.
- [6] Julien Minet, Yannick Curnel, Anne Gobin, Jean-Pierre Goffart, François Mélard, Bernard Tychon, Joost Wellens, and Pierre Defourny. 2017. Crowdsourcing for agricultural applications: A review of uses and opportunities for a farmsourcing approach. *Computers and Electronics in Agriculture* 142, (2017), 126–138.
- [7] Michele Preti, François Verheggen, and Sergio Angeli. 2021. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: Strengths and limitations. *Journal of pest science* 94, 2 (2021), 203–217.
- [8] Kelly Rijswijk, Laurens Klerkx, and James A Turner. 2019. Digitalisation in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: Initial understandings and emerging organisational responses to digital agriculture. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 90, (2019), 100313.
- [9] Uferah Shafi, Rafia Mumtaz, José García-Nieto, Syed Ali Hassan, Syed Ali Raza Zaidi, and Naveed Iqbal. 2019. Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors* 19, 17 (2019), 3796.
- [10] Hao Sheng, Xiao Chen, Jingyi Su, Ram Rajagopal, and Andrew Ng. 2020. Effective data fusion with generalized vegetation index: Evidence from land cover segmentation in agriculture. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 60–61.