

DIGITALNO VREDNOTENJE NARAVNIH LASTNOSTI KROŠENJ DREVES V SADOVNJAKU

Peter BERK¹, Denis STAJNKO²

^{1,2}Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola

IZVLEČEK

V prihodnosti bo mogoče zmanjševanje odmerkov fitofarmaceutskih sredstev, pomešanih z vodo (škropilna brozga) v predpisanih koncentracijah, v sadovnjakih samo z upoštevanjem naravnih lastnosti krošenj dreves. V praktičnem eksperimentu v sadovnjaku smo vrednotili listno površino sorte jablan ('Zlati delišes') na različnih segmentih z leve in desne strani krošenj dreves. Primerjali smo rezultate ročnih meritev in laserske merilne tehnologije (LIDAR) s pripadajočim algoritmom, s katerim smo omogočili digitalno rekonstrukcijo krošnje drevesa. Z uporabo regresijske metode smo ocenili zvezo med odvisno spremenljivko (digitalno število točk v oblaku) ter neodvisno spremenljivko (ročno izmerjena listna površina). Analiza na petih naključno izbranih krošnjah dreves v sadovnjaku je pokazala, da znaša maksimalna vrednost korelacijskega koeficienta $r = 0,906$ za levo stran ter $r = 0,862$ za desno stran krošnje.

Ključne besede: algoritem, fitofarmaceutsko sredstvo, krmiljenje, krošnja drevesa, merjenje

ABSTRACT

DIGITAL EVALUATION OF THE NATURAL CHARACTERISTICS OF TREE CANOPIES IN THE ORCHARD

In the future, the reduction of the plant protection product dosage mixed with water (spray mixture) in a prescribed concentration will be possible only by sensing the natural characteristics of the tree canopy. In practical experiment in the orchard, the leaf area of apple trees ('Golden delicious') was evaluated on different tree canopy segments. The results of manual measurements were compared with laser (LIDAR) measurements and the application of own algorithm, which enabled digital reconstruction of individual tree canopy. By using regression method the relationship between dependent variable (digital number of point clouds) and independent variable (leaf area, manually measured) were evaluated for five segments of tree canopies. The analysis on five randomly selected tree orchards in the orchard showed the maximum value of the correlation coefficient $r = 0.906$ for the left half and $r = 0.862$ for the right half of the crown.

Keywords: algorithm, plant protection product, controlling, tree canopy, measurement

¹ dr., Pivola 10, SI-2311 Hoče, e-pošta: peter.berk@um.si

² red. prof., dr., prav tam

1 UVOD

Razvoj in širitev digitalizacije na kmetijskem gospodarstvu pri organizaciji pridelave v sadjarstvu zahtevata razvoj novih sadjarskih praks, ki se nanašajo na precizni proces merjenja različnih razvojnih stadijev listne površine v sadovnjakih. Za zmanjšanje porabe količin odmerkov fitofarmaceutskih sredstev (FFS, pomešanimi z vodo, v trajnih nasadih je potrebno natančno poznavanje karakterističnih lastnosti krošnje drevesa jabolka v sadovnjakih, kar predstavlja najpomembnejši dejavnik pri izboljšanju aplikacije FFS. Najpomembnejši dejavnik predstavlja listna površina na krošnji drevesa jabolka, ki jo je mogoče izmeriti tudi ročno. Vendar je to destruktiven, dolgotrajen in drag postopek, pri katerem iz posamezne krošnje potrgamo vse liste ročno.

Opredeleitev naravnih lastnosti krošenj dreves v sadovnjaku je zelo kompleksna naloga. Zato so začele posamezne raziskovalne skupine v preteklosti uporabljati elektronske merilne sisteme za rekonstruiranje krošenj dreves, ki so delovali na principu ultrazvočnih, stereoskopskih in optičnih merilnih sistemov.

Ultrazvočni merilni sistemi delujejo s pomočjo ultrazvočnih merilnih senzorjev, sestavljenih iz komponente za sprejemanje in komponente za oddajanje ultrazvočnega signala v bližnjo okolico. Z njihovo pomočjo je omogočeno brezkontaktno merjenje razdalje, in sicer na podoben način kot z radarji, tako da lahko ovrednotimo lastnosti objektov (krošnja drevesa), (Ladd in Reichard, 1988; Giles et al., 1989; Balsari in Tamagnone, 1998; Doruchowski et al., 1998; Stajanko et al., 2012; Molto et al., 2001; Berk et al., 2016).

Stereoskopski merilni sistem deluje na osnovi fotografij, posnetih iz zraka (zračna fotogrametrija). Le-te so namenjene izdelavi natančne pozicije točk na površju Zemlje, kjer slikovne koordinate določajo lokacije točk objekta (krošnja drevesa) in jih lahko posnamemo, (Meron et al., 2003; Shimborsky, 2003). Obstaja več različnih optičnih merilnih sistemov, ki delujejo na principu optičnih merilnih senzorjev in lahko zelo natančno rekonstruirajo lastnosti krošnje drevesa. Optični merilni sistemi delujejo na osnovi svetlobe, ki se pri optičnem senzorju odbija od objekta nazaj v sprejemnik senzorja. Če objekt ni prisoten pred senzorjem, sprejemnik senzorja ne dobi svetlobe, v primeru prisotnosti objekta, pa se svetloba od objekta odbije v sprejemnik in senzor zazna objekt. Laserska merilna tehnologija, ki deluje na principu metode LIDAR za merjenje razdalje od tarče na osnovi laserskih žarkov, ponuja rešitve za širok spekter aplikacij v geodeziji, geomatiki, arheologiji, geografiji, geologiji, geomorfologiji, seizmologiji, gozdarstvu in kmetijstvu. Na osnovi laserskih merilnih sistemov zajemamo podatke o dvodimenzionalnih in tridimenzionalnih geometrijskih oblikah objektov. Za poskuse v sadovnjaku, vinogradu ali laboratoriju merilne podatke obdelujemo v realnem času, kar je velika prednost merilnega sistema, (Escolà et al., 2007; Sanz et al., 2011).

2 MATERIAL IN METODE DELA

Raziskovalno delo je zajemalo dva glavna dela. V prvem delu smo z lasersko merilno tehnologijo LIDAR digitalno s pomočjo laserskih žarkov zajemali listno površino na

krošnji drevesa jabolka (slika 1). V drugem delu smo iz posameznih krošenj v sadovnjaku ročno potrgali liste, določili njihovo število in površino ter slednje primerjali s številom odbitih laserskih žarkov.

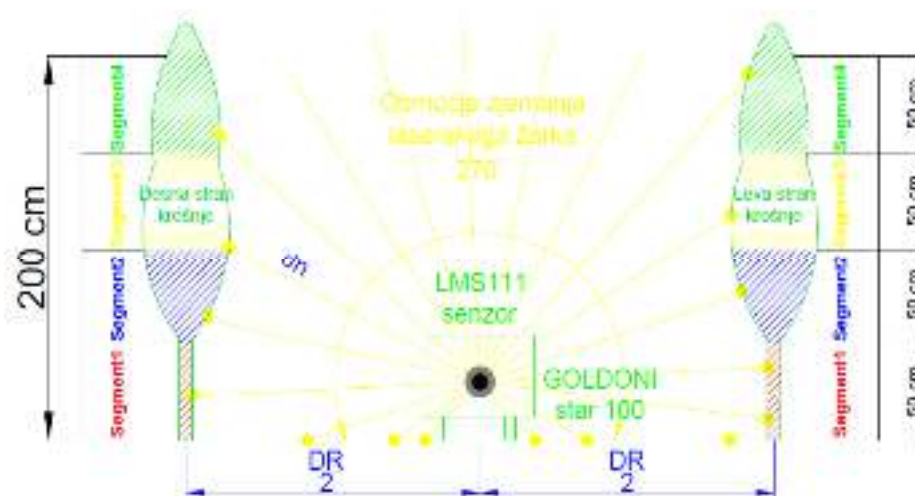
2.1 Sadovnjak

V eksperimentalne namene smo uporabili sadovnjak 'Po bloki IV' Univerze v Mariboru, Fakultete za kmetijstvo in biosistemske vede. Velikost površine sadovnjaka je znašala 41.000 m², lokacije poskusa je bila 46°30'9.01" N, 15°37'38.94" E. V intenzivnem nasadu sadovnjaka so nasajene cepljene sadike drevesa jablane na šibki podlagi M9, ki omejuje rast nadzemnega dela (žlahtne sorte oziroma cepiča), zato hitro vstopijo v rodno obdobje in omogočajo manjše gojitveno obliko za doseganje optimalnega pridelka. Gojitvena oblika dreves jablan v sadovnjaku je ozko vreteno. V eksperimentu v sadovnjaku za vrednotenje listne površine smo zajeli sorto jablan 'zlati delišes' (starost 5 let), pri čemer je bila fenološka faza rasti BBCH91 po Fleckingerju (Štampar et al., 2005).

2.2 Rekonstrukcija krošnje drevesa v sadovnjaku

Za rekonstrukcijo krošnje drevesa v sadovnjaku smo ločeno izmerili velikosti listne površine leve in desne strani krošnje z lasersko merilno tehnologijo, ki smo jo namestili na traktor GOLDONI star 100. Pri premikanju traktorja med dvema vrstama v vinogradu smo v realnem času merili razdalje od sredine vrste do leve in desne strani krošnje s pomočjo odbitih laserskih žarkov. Podatke smo sproti v realnem času zapisovali na trdi disk prenosnega računalnika. Iz oblaka točk smo določili število točk posamezno za štiri individualne segmente leve in desne strani krošnje, skupaj za vsako drevo 8 segmentov. Individualne vrednosti števila točk v oblaku smo nato primerjali z dejansko listno površino, ki smo jo opredelili na osnovi ročnih meritev za vsak individualni segment posebej. Za analizo listne površine smo izbrali 5 krošenj.

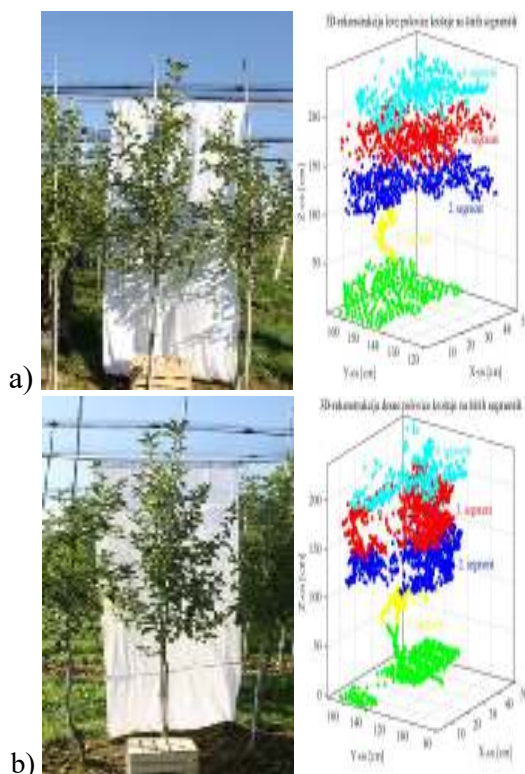
157



Slika 1: Rekonstrukcija krošnje drevesa v sadovnjaku s pomočjo laserske merilne tehnologije.

Po meritvah listne površine krošenj z lasersko merilno tehnologijo smo na istih krošnjah še ročno določili število listov in njihovo površino. Ročne meritve listne površine v poskusu so potekale tako, da smo iz vsake krošnje drevesa potrgali vse liste iz leve in desne strani krošnje drevesa jabolane v širini 50 cm in višini 200 cm. Izbrani štirje bloki segmentov za levo in desno stran krošnje se ujemajo z razvrstitvijo šob, ki so po višini nameščene na pršilni armaturi pršilnika na razmaku 50 cm. Širina individualnega segmenta na krošnji drevesa je znašala 50 cm in merila v višino pa 50 cm (slika 1). Število listov in velikost listne površine smo določili za vsak individualni segment s pomočjo avtomatiziranega slikovnega sistema Optomax (Jejčič).

158



Slika 2: 3D-digitalna rekonstrukcija krošnje drevesa jabolane, in sicer za levo in desno stran prve izbrane krošnje v poskusu v sadovnjaku a) leva in b) desna stran krošnje.

Na principu zajemanja meritev v sadovnjaku s pomočjo laserske tehnologije, pri ločljivosti kota merilnega sistema 0.5° smo omogočili natančno digitalno rekonstrukcijo naravnih oblik krošenj, ki smo jih umestili v virtualni 3D-prostor. Preko uporabniškega vmesnika, razvitega v programskem orodju NI LabVIEW 2015, smo v realnem času zajemali laserske meritve in jih shranjevali v Excelovo datoteko. Obdelavo podatkov laserskih meritev smo izvedli s pomočjo algoritma, napisanega v programskem orodju

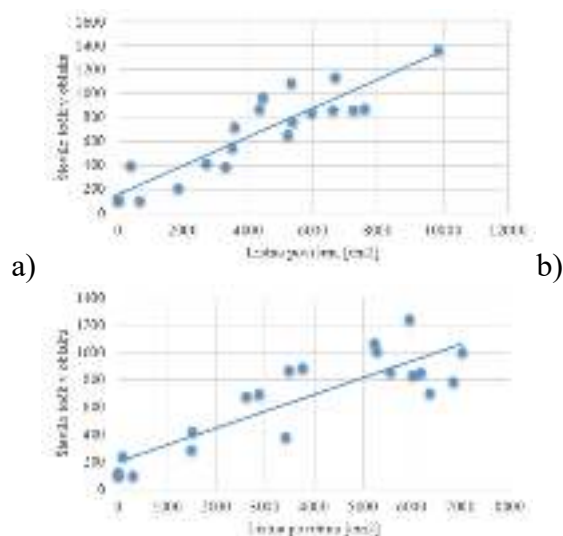
Matlab R2015a. 3D-digitalno rekonstrukcijo leve in desne strani krošnje smo predstavili preko grafičnega uporabniškega vmesnika v obliki digitalnega števila točk v oblaku (slika 2).

Za vsak individualni segment krošnje dreves smo določili število točk v oblaku in ga primerjali z ročno izmerjeno listno površino na individualnih segmentih krošnje. Za analizo z metodo linearne regresije smo uporabili programsko orodje Excel (funkcija CORREL).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Na sliki 2 a, b je prikazana 3D-digitalno rekonstrukcija krošnje za levo in desno stran prvega naključno izbranega drevesa v poskusu v sadovnjaku. Na podoben način smo naredili 3D-rekonstrukcijo krošnje še za preostale štiri krošnje dreves.

159



Slika 3: Korealacija med številom točk v oblaku in listno površino na vseh štirih segmentih leve (a) in desne (b) strani 5-ih zajetih krošenj dreves jablan v sadovnjaku.

V raziskavi smo ugotovili, da znaša vrednost korelacijskega koeficienta za levo stran petih zajetih krošenj $r = 0,906$ in za desne strani petih zajetih krošenj v sadovnjaku $r = 0,862$. Iz vrednosti korelacijskih koeficientov lahko sklepamo, da gre v našem primeru za pozitivno visoko povezanost med dvema spremenljivkama. Iz rezultatov meritev lahko sklepamo, da je avtomatizirana merilna tehnologija LIDAR primerljiva oziroma še boljša od rešitev drugih raziskovalcev. Npr. Llorens et al., (2011) so izmerili maksimalno vrednost korelacijskega koeficienta $r = 0,409$ glede na razmerje med številom odbitih laserskih žarkov in listno površino).

4 SKLEPI

Digitalno rekonstrukcijo krošnje smo prikazali v tridimenzionalnem virtualnem prostoru programa Matlab R2015a, v katerem smo kreirali grafični uporabniški vmesnik. Z digitalno rekonstrukcijo krošnje smo omogočili izvedbo analiz naravnih lastnosti krošnje jablane, kar dokazujemo s pozitivno visoko povezanostjo med digitalnim številom oblakov točk na štirih individualnih segmentih leve in desne strani krošnje ter dejansko izmerjeno listno površino. V primeru leve strani petih zajetih krošenj v sadovnjaku smo ocenili vrednost korelacijskega koeficienta $r = 0,906$ in v primeru desne strani petih zajetih krošenj v sadovnjaku $r = 0,862$.

Brez dvoma optični merilni sistemi, ki vključujejo laserski merilni senzor za električno opredelitev krošnje, zagotavljajo najbolj precizne in podrobne informacije o strukturi naravne oblike krošnje v sadovnjaku. Z ustreznim algoritmom lahko krmilimo delovanje optičnega merilnega sistema in ustvarimo 3D-virtualno okolje ob nizkih stroških namestitve merilnega sistema na traktor. Iz vseh naštetih razlogov bi morali v komercialne namene namestiti na prototipe traktorjev optične merilne sisteme; le-ti delujejo na principu laserskega merilne tehnologije, ki bodo v bližnji prihodnosti na osnovi pametnih odločitvenih modelov zagotavljali enakomernejše krmiljenje odmerkov škropilne brozge po celotni strukturi krošnje drevesa jablane v sadovnjaku. Primerjalna analiza bo v bližnji prihodnosti predstavljala močno orodje za krmiljenje odmerkov škropilne brozge v sadovnjakih in vinogradih. Informacijo v obliki ocenjene velikosti listne površine na individualni krošnji drevesa jablane v sadovnjaku bomo zajeli v pametni odločitveni model s katerim bomo lahko krmilili odmerke škropilne brozge v območju od 0 % do 100 %.

160

5 LITERATURA

- Balsari, P., Tamagnone, M. 1998. The necessity to determine the correct amount of air to use in airblast sprayer. In Proc. Intl. Conf. Agric. Eng. Aas, Norway: Norges Landbruksheogskole; NLH, Paper 98-A-075.
- Berk, P., Hočevar, M., Stajnko, D., Belšak, A. 2016. Development of alternative plant protection product application techniques in orchards, based on measurement sensing systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 273–288.
- Doruchowski, G., Jaeken, P., Holownicki, R. 1998. Target detection as a tool of selective spray application on trees and weeds in orchards. SPIE Conference on Precision Agriculture and Biological Quality, 1998: 290–301.
- Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Llorens, J., Planas, S., Rosell, J. R., Gràcia, F., Gil, E., Val, L. 2007. "Variable dose rate sprayer prototype for dose adjustment in tree crops according to canopy characteristics measured with ultrasonic and laser LIDAR sensors," *Proceedings ECPA-6th European Conference on Precision Agriculture*, 2007: 563–571.
- Giles, D. K., Delwiche, M. J., Dodd, R. B. 1989. Sprayer Control by Sensing Orchard Crop Characteristics: Orchard Architecture and Spray Liquid Savings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 43: 271–289.
- Jejčič, V., Godeša, T., Hočevar, M., Širok, B., Malneršič, A., Štrancar, A., Lešnik, M., Stajnko, D. 2011. Design and testing of an ultrasound system for targeted spraying in orchards. *Strojniški vestnik*, 57 (7/8): 587–598.
- Ladd, T. L., Reichard, D. L. 1988. Photoelectrically-operated intermittent sprayers for insecticidal control of horticultural pests. *Journal of Economic Entomology*, 73: 525–528.

- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A. 2011. Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. *Sensors*, 11 (2): 2177–2194.
- Meron, M., van de Zande, J. C., van Zuydam, R. P., Heijne, B., Sharagai, M., Liberman, J., Hetzroni, A., Andersen, P. G., Shimborsky, E. 2003. "Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer – the PRECISPRAY FP5 project," v In: Precision Agriculture '03, Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, 2003: 411–416.
- Molto, E., Martin, B., Gutierrez A. 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78: 35–41.
- Sanz Cortiella, R., Llorens Calveras, J., Escolà, A., Arnó Satorra, J., Ribes Dasi, M., Masip Vilalta J., Camp, F., Gràcia Aguilà, F. J., Solanelles Battle, F., Planas de Martí, S., Pallejà Cabré, T., Palacín Roca, J., Gregorio López, E., Del Moral Martínez, I., Rosell, P. 2011. Innovative LIDAR 3D Dynamic Measurement System to Estimate Fruit-Tree Leaf Area. *Sensors*, 11: 5769–5791.
- Shimborsky E. 2003. Digital tree mapping and its applications. *Precision Agriculture*, 2003: 645–650.
- Stajniko, D., Berk, P., Lešnik, M., Jejčič, V., Lakota, M., Štrancar, A., Hočevar, M., Rakun, J. 2012. Programmable ultrasonic sensing system for targeted spraying in orchards. *Sensors*, 12, 11: 15500–15519.
- Štampar, F., Lešnik, M., Veberič, R., Solar, A., Koron, D., Usenik, V., Hudina, M., Osterc, G. 2005. *Sadjarstvo*, Ljubljana, Kmečki glas: 416 str.