

## **Mogućnost primjene analize slike za ranu prognozu priroda jabuke (*Malus domestica* Borkh.) u uvjetima Međimurja (Hrvatska)**

Possible application of image analysis for forecasting the yield of apples  
(*Malus domestica* Borkh.) in the north-eastern Croatia

**Denis Stajanko, Zlatko Čmelik, Damir Lučić**

### **SAŽETAK**

Cilj istraživanja bio je ispitati mogućnost upotrebe metoda procesiranja i analiziranja slike za ranu prognozu uroda jabuka sorti Golden Delicious, Jonagold i Idared, cijepljenih na podlozi M9 u pedoklimatskim uvjetima Međimurja. Kod analize slike najbolje prognoze u prosjeku su dobivene u srednje kasne sorte Idared (-734 kg/ha), a najslabije kod sorte Golden Delicious (-4.700 kg/ha), dok je kod sorte Jonagold urod u prosjeku precijenjen za 3.266 kg/ha. U buduća istraživanja potrebno je uključiti i ostale sorte iz asortimana te prilagoditi krivulje rasta lokalnim pedoklimatskim uvjetima.

Ključne riječi: analiza slike, jabuka, urod, prognoza

### **ABSTRACT**

The possibility of digital imaging and image processing for early forecasting of the apple yield was researched in the varieties Golden Delicious, Jonagold and Idared grafted on M9 in nine orchards of the Međimurje county (Croatia). Each variety was tested on three locations, whereby the highest accuracy was achieved with Idared (-734 kg/ha), followed by Jonagold (+3.266 kg/ha) and Golden Delicious (-4.700 kg/ha). The future experiments will involve new locally adopted growing curves and other apple varieties growing on locally.

Keywords: digital camera, image analysis, apple fruits, yield

### **UVOD**

Cilj intenzivnog uzgoja jabuka je redovita proizvodnja obilne količine prvorazrednih konzumnih plodova. Međutim, rodnost jabuke je rezultat pomotehničkih i agrotehničkih zahvata te ekoloških uvjeta, pa se time količina i

kakvoća plodova mijenjaju od godine do godine. Takva neujednačenost zahtijeva od voćara godišnje prilagođavanje radnih i skladišnih kapaciteta. Zbog tih razloga pravovremeno i učinkovito prognoziranje budućeg uroda jabuka vrlo je značajno i potrebno za profitabilnu proizvodnju (Hester i Cacho, 2003). Međutim, kako upotreba isključivo simulacijskih modela ne može u potpunosti opisati i predvidjeti sve čimbenike koji utječu na rodnost pojedinog voćnjaka, skupljanje i mjerenje podataka na terenu još uvijek predstavlja vrlo značajan dio prognoziranja, pa tako biva i kod 'Prognosfruit' metode kojom većina europskih proizvođača jabuka i krušaka danas ocjenjuje urod (Welte, 1994).

Mogućnost upotrebe metoda procesiranja i analiziranja slike za praćenje rasta i razvoja jabuka, te prognoziranja uroda prije berbe počela se intenzivno primjenjivati od 1999 do 2003 godine najprije u Sadjarskom centru Gačnik, te na Fakulteti za kmetijstvo u Mariboru (Stajanko i sur., 2001, 2004).

Nakon toga u 2005. godini proučavana je mogućnost primjene ranog prognoziranja uroda jabuka pomoću analize slike u pet srednjoeuropskih zemalja (Slovenija, Austrija, Italija, Švicarska, Njemačka) u deset voćarskih regiona. U prosjeku sav ubrani urod bio je manji od očekivanog za 5 %, dok je u pojedinim rajonima varirao između -9% i +8%. Najveće poteškoće predstavljale su prognoze na području Južnog Tirola-Italija (-18%) zbog jako neujednačenog uzorka pa i priroda oko 80 t/ha, te u kantonu Wallis-Švicarska (+16%) zbog mješanog uzgojnog oblika palmete i uskog vretena. Najbolje rezultate postigli smo kod sorti Golden Delicious (+3%) i Gala (+9%), a najslabije kod sorte Elstar (+21%) koja je jako podvrgnuta alternaciji (Stajanko i sur., 2007). U sljedećim godinama (2006 i 2007.) također su nastavljeni pokusi u već spomenutim zemljama i rajonima, pa je tako najbolja prognoza ostvarena kod rane sorte Gala (-3% /907 kg/ha), te srednje rane Elstar (1% /1936 kg/ha), dok su prognoze slabije kod sorti Fuji (-6 % /2140 kg/ha), Jonagold (-9% /4823 kg/ha) i Golden Delicious (-9% /4208 kg/ha). U dvogodišnjim pokusima primjena metode analize slike pokazala se prikladna za prognozu uroda jabuka u tim voćarskim područjima. Međutim, za još veću preciznost prognoze u neujednačenim voćnjacima potrebno je bilo povećati broj snimljenih stabala (Stajanko i Lakota, 2008).

Postizanje dobrih rezultata u susjednim voćarskim zemljama motiviralo nas je da slična istraživanja provedemo i u Hrvatskoj. Cilj našeg istraživanja bio je prikazati uporabu različitih algoritama prilagođenih izgledu stabala za ranu prognozu različitih sorti jabuka u suvremenim uzgojnim oblicima u pedoklimatskim uvjetima u Međimurju.

### **Materijal i metode rada**

U pokus rane prognoze priroda pomoću analize slike uključena su tri vlasnika s tri sorte jabuka:

#### **POKUS A**

Golden Delicious, podloga M9, oblik vretenasti grm (3,5 x 1,0m), godina sadnje 2003,

Jonagold, podloga M9, oblik vretenasti grm (3,35 x 1,0m), godina sadnje 2003,

Idared podloga M9, oblik vretenasti grm (3,5 x 1,0m), godina sadnje 2004

#### **POKUS B**

Golden Delicious, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 1,2 m), godina sadnje 1995,

Jonagold, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 1,2 m) godina sadnje 1995,

Idared, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 1,2 m), godina sadnje 1995,

#### **POKUS C**

Golden Delicious, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 0,8 m), godina sadnje 2003,

Jonagold, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 1,0 m) godina sadnje 2005,

Idared, podloga M9, oblik vitko vreteno (3,5 x 1,2 m), godina sadnje 1997,

U lipnju 2008. godine (24. 6. 2008) slučajnim odabirom pomoću digitalnog fotoaparata Olympus UZ 765 fotografirano je 20 stabala sa svake parcele. Svako stablo snimljeno je rezolucijom 1600x1200 piksela s prednje i zadnje strane pod kutom od 90° i udaljenosti od 1,40 m.

Za obradu slika primijenjen je poseban algoritam, a obrada slika obavljena je u laboratoriju na PC računalu s Pentium IV procesorom od 512 Mb RAM-a. Pomoću ranije opisanog postupka (Stajanko i sur., 2004) u prvom dijelu analize najprije su dobivene informacije o broju, prosječnim promjerima plodova i urodu na pojedinoj slikanoj površini stabala, a nakon toga na temelju očekivanog broja dana do berbe izračunat je prosječan promjer plodova ( $D_b$ ) jednadžbom:

$$D_b = 3,5 + 71,42 \cdot (1 - e^{-0,0196 \cdot t})^{1,6515} \quad (1)$$

kod koje je:

t.....broj dana nakon pune cvatnje

Budući da je Winter (1986) u svojim istraživanjima već pokazao kako je urod pojedine voćke linearno ovisan o njezinoj rodnoj površini, za izračun prognoze uroda u vrijeme berbe ulazni broj plodova morao se korigirati stvarnom površinom pojedine voćke. Prema tome, najprije je izračunata teoretska površina siluete voćnjaka kao funkcija razmaka sadnje u redu i između redova, visine, širine krošnje i visine prve grane, a nakon toga vrednovanjem snimljene površine i teoretske površine voćke dobiven je empirijski omjer:

$$f = \frac{\sum P_c}{\sum P_t} \quad (2)$$

kod kojeg je:

f.....faktor prekrivanja

P<sub>c</sub>.....snimljena površina voćke (m<sup>2</sup>)

P<sub>t</sub>.....teoretska površina voćke (m<sup>2</sup>),

pomoću kojeg je u zadnjem stupnju algoritma dobijena ocjena uroda plodova jabuka u pojedinom pokusu.

## Rezultati i diskusija

### 3.1 Indeksi prognoza u pojedinim pokusima

Na tablici 1. prikazani su rezultati prognoze uroda pomoću algoritma za analizu slika te indeksi uroda svih sorti u pojedinom pokusu iz kojih se vidi da je kod voćara C u prosjeku proizvedeno 42.000 kg/ha jabuka odnosno 367 kg/ha iznad prognoze (I=0,99), kod voćara B 46.567 kg/ha jabuka odnosno 734 kg/ha iznad prognoze (I=0,98) te kod voćara A 36.933 kg/ha jabuka odnosno 2.567 kg/ha manje od prognoze (I=1,10).

Prema tome u prvoj godini naših eksperimenata ranom prognozom urod jabuka u prosjeku je potcijenjen tek za 722 kg/ha (I=0,98), što predstavlja iznimno dobar rezultat, koji smo u prošlim pokusima (Stajanko i Lakota,2008) postigli tek u kantonu Waadt 2005 godine (I=1,01), Thurgau 2007 (I=0,98), Waadt (I=1,02), te u regiji Sachsen 2007 godine (I=1,02).

**Tablica 1: Ocijenjen i izvagan urod u svim pokusima (kg/ha)**

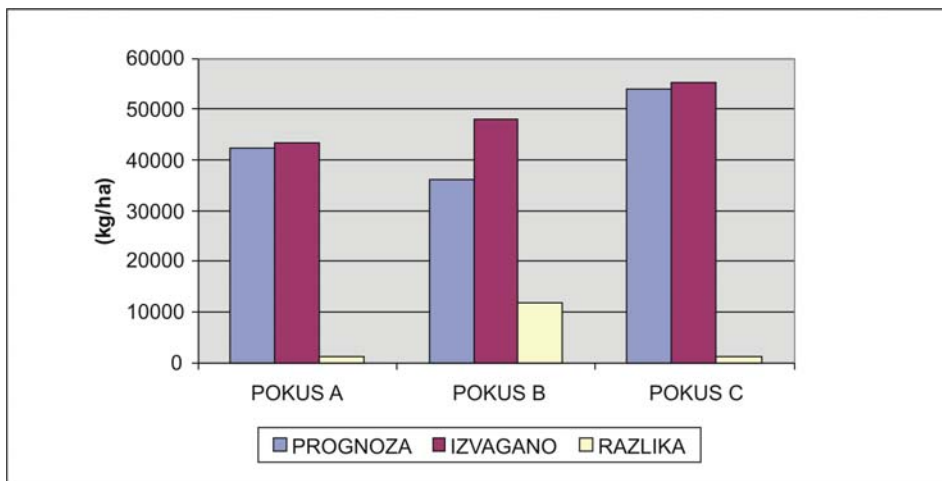
**Table 1 Evaluated and weighed yield in all experiments**

Pokus Experiment	Sorta Variety	Ocijenjeno algoritmom Evaluated by algorithm (kg/ha)	Izvagano Weighed (kg/ha)	Razlika Difference (kg/ha)	Indeks Index A=1,00
A	Golden Delicious	42.300	43.500	-1.200	0,97
	Jonagold	36.200	25.800	+10.400	1,40
	Idared	40.000	41.500	-1.500	0,96
	prosjek	39.500	36.933	+2.567	1,07
B	Golden Delicious	36.200	48.000	-11.800	0,75
	Jonagold	47.200	35.000	+12.200	1,34
	Idared	41.500	43.000	-1.500	0,96
	prosjek	41.633	42.000	-367	0,99
C	Golden Delicious	54.100	55.200	-1.100	0,98
	Jonagold	22.600	35.400	-12.800	0,63
	Idared	56.000	55.200	+800	1,01
	prosjek	41.789	42.511	-722	0,98

### 3.2 Prognoza po sortama

Golden Delicious je vodeća sorta u većini europskih voćarskih država pa su zbog toga izrađene vrlo dobre krivulje rasta plodova po pojedinim područjima. Boja kožice omogućava razmjerno jednostavnu detekciju plodova pa su, kao i u ranijim istraživanjima (Stajanko i sur., 2007), s tom sortom postignute najbolje prognoze. U tri odabrana voćnjaka u prosjeku je urod potcijenjen za 10% (-4.700 kg/ha) što je previše za kvalitetnu ranu prognozu.

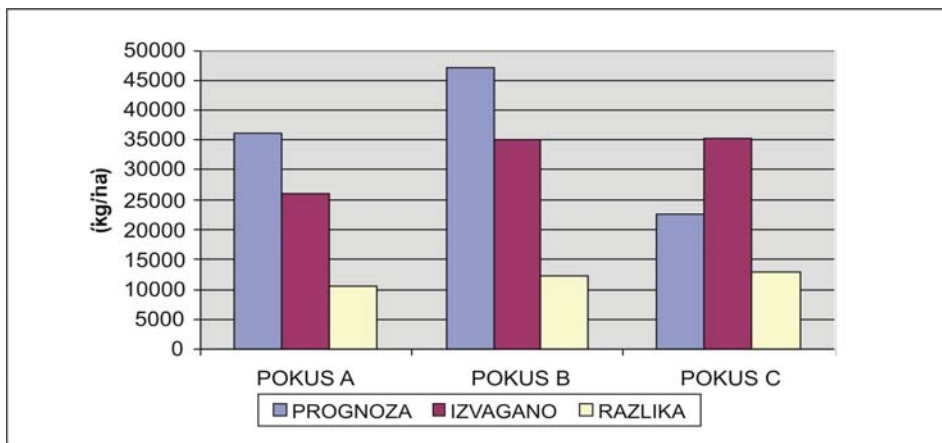
Kad se detaljno pogledaju rezultati berbe (Grafikon 1) kod voćara A i C postignuta je odlična prognoza ( $I=0,97$  te  $I=0,98$ ). No kod voćara B algoritmom za obradu slika očekivala se prosječna masa plodova od 176 g što je bilo dosta manje od stvarnog prosjeka od +200 g, pa tom čimbeniku možemo pripisati podbačaj prognoze od -11.800 kg/ha.



**Grafikon 1: Razlika između prognoziranih i ostvarenih priroda kod sorte Golden Delicious**

**Graph 1 Difference between forecast and realized yield of variety Golden Delicious**

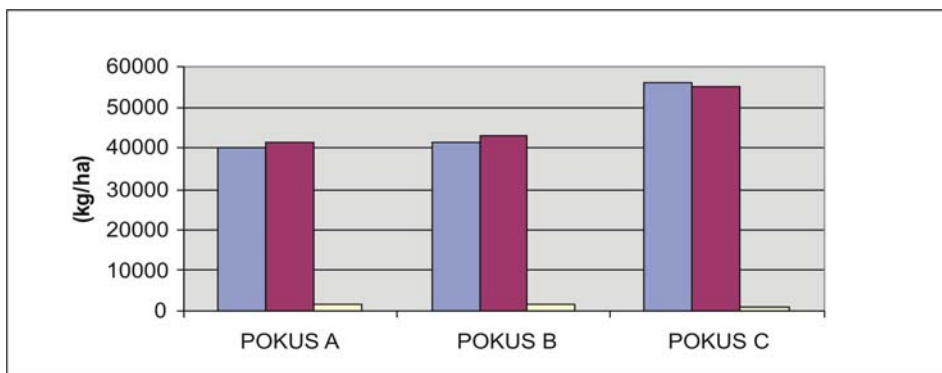
Sorta Jonagold poznata je po formiranju krupnih plodova u svim voćarskim regijama pa se prema tome i u našim prognozama računa na mase + 200 g. Crvenozelena boja kože u slabim svjetlosnim uvjetima ponekada sprečava detekciju svih plodova pa se kod te sorte u pravilu pojavljuje podejnenje prognoze (Stajanko i Lakota,2008). U uvjetima Međimurja kod ove sorte u prosjeku, pa i pojedinačno, postigli smo najslabije rezultate (Grafikon 2). Najvjerojatniji razlog za podbačaj prognoze kod voćara A i B je velika alternanca (-50 % odnosno -30 % prema godini 2007), a kod voćara C plodovi su postigli neočekivanu prosječnu masu (+ 250 g), što je jako premašilo očekivanu masu od 211 g.



**Grafikon 2: Razlika između prognoziranih i ostvarenih priroda kod sorte Jonagold**

**Graph 2 Difference between forecast and realized yield of variety Jonagold**

U srednjoeuropskim voćarskim uvjetima sorta Idared dozrijeva početkom listopada, međutim zbog lokalnih agroekoloških posebnosti moguća su značajna odstupanja u sjevernim geografskim širinama, te je zbog toga prognoziranje očekivane mase i uroda u pojedinim voćarskim područjima težak i nesiguran posao (Stajanko i Lakota, 2008). Iz grafikona 3. vidi se kako smo kod sorte Idared u prosjeku postigli najbolji rezultat. Detaljna analiza pokazala je kako su kod voćara A in B razlike između prognoze i uroda iste (-1.500 kg/ha) a kod voćara C još manje (-800 kg/ha).



**Grafikon 3: Razlika između prognoziranih i ostvarenih priroda kod sorte Idared**

**Graph 3 Difference between forecast and realized yield of variety Idared**

## ZAKLJUČAK

Prvi veći pokus u uvjetima Međimurja pokazao je da je metoda analize slike za potrebe prognoze uroda jabuka tehnički odlično izvedena u svih devet voćnjaka. Sveukupnim indeksom  $I=0,98$  između prognoze i izvaganog uroda postigli smo odličan rezultat, međutim detaljna analiza je pokazala da rezultati variraju u zavisnosti od sorte i lokacije. Najmanje pogreške utvrđene su kod sorte Idared (-734 kg/ha) dok je kod Golden Deliciousa i Jonagolda u prosjeku prognoza za 10% pogriješila izvagani urod. Najveća pojedinačna odstupanja utvrđena su kod sorte Jonagold kod koje su razlike u sva tri voćnjaka veće od 10.000 kg/ha, ponajviše zbog natprosječno krupnih plodova (+250 g). Kako bi se poboljšala prognoza i kod Jonagolda za buduća istraživanja planiraju se poboljšane krivulje rasta prilagođene specifičnim pedoklimastkim uvjetima Međimurja.

## LITERATURA

- HESTER, S. M., CACHO, O. (2003): Modelling apple orchard systems. *Agricultural systems*, 77, 137-154.
- STAJNKO, D., LAKOTA, M. (2001): Using image processing and analysis techniques for counting apple fruits in the orchard, *Horticultural Science (Prague)* 28, 2001(3), 95-99.
- STAJNKO, D., LAKOTA, M., HOČEVAR, M. (2004). Estimation of number and diameter of apple fruits in the orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42(1), 31-42.
- STAJNKO, D., LAKOTA, M., MURŠEC, B., SAGADIN, M. (2007): The Efficiency of apple yield forecasting based on the image analysis under the mideuropean growing conditions. V: KOŠUTIĆ, Silvio (ur.). *Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede : zbornik radova 35. međunarodnog simpozija iz područja mehanizacije poljoprivrede, Opatija, 19.- 23. veljače 2007 : proceedings of the 35. International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 19.-23. February 2007*. Zagreb: Zavod za mehanizaciju poljoprivrede, Agronomski fakultet Sveučilišta, str. 215-221.
- STAJNKO, D., LAKOTA, M. (2008): Natančnost napovedovanja pridelka jabolk s pomoćjo analize digitalnih slik v srednjeevropskih sadjarskih območjih = The Accuracy of the apple yield forecast based on the image analysis in the mid-European growing conditions. V: HUDINA, Metka (ur.). *Zbornik referatov 2. Slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno*



*udeležbo, Krško, 31. januar - 2. februar 2008.* Ljubljana: Strokovno sadjarsko društvo Slovenije, str. 167-175.

WINTER, F. (1986): Modelling the biological and economic development of an apple orchard, *Acta Horticulturae* 160, p. 353-360.

WELTE, H. (1994): Analyse und Simulation des Fruchtwachstums von Äpfeln, Grauer Verlag, Stuttgart, 161 p

**Adrese autora-Authors addresses:**

Doc.dr.sc. Denis Stajanko  
Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede,  
Pivola 10,  
2311 Hoče, Slovenija  
E-mail: denis.stajanko@uni-mb.si

Prof.dr.sc. Zlatko Čmelik  
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za voćarstvo  
Svetošimunska 25  
10000 Zagreb, Hrvatska  
E-mail: zcmelik@agr.hr

Damir Lučić, dipl.ing.  
Inventivna rješenja d.o.o.,

