

## PRIMJENA AEROSNIMAKA U UREĐIVANJU ŠUMA U HRVATSKOJ

### APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS IN FOREST MANAGEMENT IN CROATIA

Ivan BALENOVIĆ<sup>1</sup>, Hrvoje MARJANOVIĆ<sup>1</sup>, Miroslav BENKO<sup>1</sup>

*SAŽETAK: U uređajnoj inventuri šuma u Hrvatskoj koriste se isključivo terestričke metode prikupljanja podataka, koje iziskuju velik utrošak vremena i radne snage, a samim time i značajna novčana sredstva. Primjenom metoda daljinskih istraživanja smanjuje se terenski rad, što otvara mogućnost ušteda vremena i novca. Iako su posljednjih tridesetak godina provedena različita istraživanja o mogućnostima primjene daljinskih istraživanja u šumarskoj praksi, klasične fotogrametrijske metode nisu našle širu praktičnu primjenu u uređivanju šuma. Razvojem digitalnih aerofotogrametrijskih kamera i digitalnih fotogrametrijskih stanica ponovno je otvoreno pitanje mogućnosti primjene fotogrametrije u praktičnom uređivanju šuma.*

*U radu je dan pregled dosadašnjih istraživanja i rezultata primjene aerosnimaka na poslovima uređivanja šuma u Hrvatskoj. Prikazano je trenutno stanje razvoja tehnologije na području digitalne fotogrametrije, te nekoliko odabranih istraživanja u kojima se opisuju mogućnosti i ograničenja primjene suvremenih fotogrametrijskih metoda u uređivanju šuma u Europi i svijetu. Cilj rada je pružiti doprinos u određivanju smjernica za primjenu aerosnimaka u praktičnom uređivanju šuma u Hrvatskoj. Jedno od područja gdje se ponajprije može očekivati primjena aerosnimaka u uređivanju šuma u Hrvatskoj su područja privatnih šuma, za koja još ne postoje programi gospodarenja.*

*Ključne riječi: daljinska istraživanja, aerosnimke, digitalna fotogrametrija, izlučivanje sastojina, procjena sastojinskih elemenata*

#### UVOD – Introduction

U uređajnoj inventuri šuma u Hrvatskoj, kod izrade osnove ili programa gospodarenja gospodarskom jedinicom, koriste se isključivo terestričke metode prikupljanja podataka. Prema važećem Pravilniku o uređivanju šuma (NN 111/06, NN 141/08), izmjera se obavlja na primjernim površinama određenog intenziteta, i to minimalno 2 %, odnosno 5 % ukupne površine ovisno o načinu gospodarenja i uzgojnom obliku sastojina. U jednodobnim sastojinama koje se u sljedećih deset godina propisuju za sječu glavnog prihoda, drvena zaliha utvrđuje se izmjerom prsnih promjera svih stabala u sastojini. Iz navedenog je očito da je opseg teren-

skih poslova pri izradi osnove ili programa gospodarenja vrlo velik.

Terestrički načini prikupljanja podataka su spori, često neekonomični ili skupi, a ponekad i neizvedivi s obzirom na postojeće uvjete na terenu (npr. minirana područja). Informacije o šumama mogu se, osim klasičnim metodama, prikupljati i metodama daljinskih istraživanja. Primjenom metoda daljinskih istraživanja smanjuje se opseg terenskog rada, te se otvara mogućnost ušteda (Pernar i Šelendić 2006).

U Hrvatskoj su u posljednjih 30-tak godina provedena različita istraživanja o mogućnostima primjene daljinskih istraživanja u šumarskoj praksi. Unatoč tomu, u praktičnom uređivanju šuma, primjena daljinskih istraživanja bila je ograničena na korištenje aerosnimaka i to uglavnom u svrhu lakšeg snalaženja na

<sup>1</sup> Ivan Balenović, dipl. ing. šum. e-mail: ivanb@sumins.hr  
Dr. sc. Hrvoje Marjanović, Dr. sc. Miroslav Benko  
Hrvatski šumarski institut, Trnjanska cesta 35, 10000 Zagreb

terenu (Kušan 1998). Jedan od glavnih razloga ograničenoj uporabi metoda daljinskih istraživanja bila je visoka cijena aerosnimaka i opreme, a često i zahtjevan uredski rad (npr. u konvencionalnoj fotogrametriji). S druge strane, rezultati dobiveni daljinskim istraživanjima često nisu udovoljavali svim potrebama u poslovima praktičnog uređivanja šuma. Razvojem digitalne fotogrametrije, preciznije digitalnih aerofotogrametrijskih kamera i digitalnih fotogrametrijskih stanica, ponovo je otvoreno pitanje mogućnosti primjene fotogrametrije, kao jedne od metoda daljinskih istraživanja, u praktičnom uređivanju šuma.

Cilj ovog rada je doprinijeti određivanju smjernica za primjenu aerosnimaka u praktičnom uređivanju šuma u Hrvatskoj s obzirom na nove okolnosti. U tu svrhu, u radu je dan pregled dosadašnjih istraživanja i rezultata primjene aerosnimaka u Hrvatskoj na poslovima uređivanja šuma, izlučivanja sastojina i procjene sastojinskih parametara. Nadalje, dan je osvrt na postojeća tehnološka rješenja na području digitalne fotogrametrije, te neka novija istraživanja o mogućnostima njene primjene u uređivanju šuma u Europi.

## DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA PRIMJENE AEROSNIMAKA U UREĐIVANJU ŠUMA U HRVATSKOJ – Past research of application of aerial photographs in forest management in Croatia

Provedena su razna istraživanja primjenjivosti daljinskih istraživanja u uređivanju šuma, poput mogućnosti kartiranja i izlučivanja sastojina pomoću aerosnimaka (Tomašegović 1956, 1961a, 1965, Vukelić 1984, Čurić 1986, Benko 1993, Pernar 1997, Klobučar 2004), mogućnosti procjene sastojinskih veličina na aerosnimkama (Tomašegović 1954, 1961b, Lukić 1981, Kušan 1992, Kušan i Krejči 1993,

Benko 1993, 1995, Pavičić 1983, Kostijal 1986, Pernar 1997, Pernar i dr. 2003, Pernar i Klobučar 2003, Klobučar 2008, Klobučar i Pernar 2009). Glavnina istraživanja provedena su fotointerpretacijom i fotogrametrijskom izmjerom klasičnih analognih aerosnimaka na analitičkim stereoinstrumentima, dok je manji dio novijih istraživanja proveden primjenom digitalnih analiza slika.

### I. Izlučivanje (delineacija) sastojina

#### *I. Stands exclusion (delineation)*

Izlučivanje sastojina na odjele i odsjeke, koje pretihodi izmjeri sastojina, zahtjevan je i dugotrajan posao pri uređajnoj inventuri šuma. To je posebno izraženo za ona šumska područja za koja ne postoji prethodna gospodarska podjela. Stoga je fotogrametrijsko izlučivanje sastojina vizualnom interpretacijom na aerosnimkama, koje se obavljalo pomoću stereoinstrumentata, bilo predmet prvih istraživanja.

U Hrvatskoj je s kartiranjem za potrebe uređivanja šuma pomoću aerosnimaka započeo Tomašegović (1956) izradom i korištenjem fotoplanova. Kasnije je areofotosnimke koristio i za procjenu izlučenih površina (Tomašegović 1961a).

Benko (1993) je izradio delineiranu topografsku kartu s ucrtanim izlučenim sastojinama i njezinim dijelovima, koristeći vizualnu interpretaciju infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka mjerila 1:10000. Izlučio je obrasle i neobrasle površine (ceste, kanali), poljoprivredne kulture, plješine i vlažnije tlo. Šumom obrasle površine dalje je izlučio prema dobi (starije, mlađe) i sklopljenosti (potpuna, nepotpuna).

Pernar (1997) je izlučivala sastojine prema vidljivim razlikama na ICK aerosnimkama i to: vrsti drveća, omjeru smjese, sklopljenosti sastojina, veličini krošnja, stupnju oštećenosti, pojavi matičnog supstrata itd. Izlučivanje sastojina provedeno je pomoću zrcalnog stereoskopa s povećanjem od 8 puta, na aerosnimkama srednjeg mjerila 1:5754, uzdužnog preklopa 55–70 %.

U navedenim istraživanjima nije uspoređivana razlika između terenskog i fotogrametrijskog izlučivanja, već je fotogrametrijsko izlučivanje poslužilo samo kao predradnja pri procjeni drugih parametara.

Klobučar (2004) istražuje mogućnost korištenja digitalnog ortofota, izrađenog od crno-bijelih aerosnimaka približnog mjerila 1:20000, u izlučivanju sastojina prema sklopu. Uspoređujući tako dobivene granice i površine odsjeka s onim dobivenim izravno na terenu, zaključuje da su utvrđene razlike u većini odsjeka prihvatljive, uz opasku da izlučivanje pomoću digitalnog ortofota može poslužiti samo kao uredska podloga za terenski rad u izlučivanju sastojina.

### II. Procjena sastojinskih veličina

#### *II. Assessment of stand parameters*

Najranija istraživanja na tom području proveo je Tomašegović, gdje je istraživao mogućnost procjene sastojinskih veličina pomoću aerosnimaka (Tomašegović,

1954) te odnose između prsnog promjera, visine stabla i širine krošnje (Tomašegović, 1961b).

Prema Kušan (1996) istraživanja procjene sastojinskih veličina mogu se podijeliti na dvije grupe ovisno o njihovom cilju:

- istraživanja pouzdanosti i točnosti procjene sastojinskih veličina i

- istraživanja odnosa između sastojinskih veličina i veličina mjerljivih na aerosnimkama.

### Istraživanja pouzdanosti i točnosti procjene sastojinskih parametara

#### *Research of reliability and accuracy assessment of stand parameters*

Lukić (1981) je ispitivao pouzdanost fotointerpretacijske inventure drvnih masa šuma jele. Fotogrametrijskom izmjerom promjera krošanja i visine stabala, izračunao je volumen srednjeg stabla elementarne jedinice uzorka po formuli:

$$\log V = a + b \log D + c \log h.$$

Za parametre  $a$ ,  $b$ , i  $c$  koristio je vrijednosti iz istraživanja Pranjić (1963) i to  $a = -4,359$ ;  $b = 0,932$  i  $c = 2,726$ , te je dobio da je pogreška u iznosu volumena po hektaru 14,08 %.

Procjenu sklopa na aerosnimkama pomoću mreže točaka proučavao je Pavičić (1983) koji je utvrdio da je mreža točaka dovoljno dobra i ekonomična metoda za procjenu sklopa.

Kostijal (1986) je u bukovim šumama procjenjivao razliku broja krošanja na aerosnimkama u odnosu na broj stabala po ha utvrđen na terenu, te je dobio odstupanja između 5 i 38 %. Utvrdio je da su razlike u snažnoj negativnoj korelaciji s promjerom srednjeg plošnog stabla uz Pearsonov koeficijent korelacije ( $r$ ) od -0,902.

Benko (1993) je procjenjivao taksacijske elemente stabla na ICK aerosnimkama mjerila 1:10000. Na temelju 30 terestrički i fotogrametrijski izmjerenih ploha uspoređivao je promjere krošanja i visine stabala poljskog jasena, običnog bagrema i crne johe. U svojem istraživanju navodi da postoji značajna razlika između mjerenja promjera krošanja na aerosnimkama i mjerenja na terenu za sve tri vrste, tj. sustavno podcjenjivanje promjera krošnje izmjerene na aerosnimci. Promjer krošnje koji je mjerio na aerosnimkama u prosjeku je iznosio: 60 % za crnu johu, 66 % za poljski jasen, te 62 % za bagrem, od promjera izmjerenog na terenu.

Pri mjerenju visina dominantnih stabala, kod sve tri vrste Benko (1993) je dobio dobru podudarnost visina mjerenih na aerosnimkama s visinama izmjerenim na terenu.

Kušan (1992) je istraživao mogućnost određivanja volumena sastojina jele i smreke fotointerpretacijom aerosnimki, uz pomoć prirasno-prihodnih tablica, pri čemu je koristio Hauserove i švicarske prirasno-prihodne tablice za jelu. Ulazni podaci za prirasno-prihodne tablice mjereni na aerosnimkama bili su: broj stabala po ha, srednja sastojinska visina te sklop kao faktor redukcije. Vrijednosti prosječnog volumena po hektaru, dobi-

vene putem terenske izmjere prsnih promjera i visina na 23 plohe, uspoređio je s volumenom po hektaru dobivenim pomoću fotogrametrijske izmjere i prirasno-prihodnih tablica. Pri tomu je prosječno odstupanje između vrijednosti dobivenih terenskom izmjerom i fotogrametrijskom izmjerom bilo -3,2 % kada su korištene Hauserove tablice, odnosno -5,7 % kada su korištene švicarske tablice. Međutim, regresijska analiza pokazala je da se pomoću švicarskih prirasno-prihodnih tablica može postići pouzdanija procjena volumena sastojina ( $r = 0,925$ ) nego Hauserovim tablicama ( $r = 0,766$ ).

Usporedbu terestrički i fotogrametrijski određenih podataka dendrometrijskih provela je Pernar (1997). Na prethodno izlučenim sastojinama na 878 ploha odredila je: vrstu drveća, promjer krošnje, te broj stabala unutar plohe. Volumen sastojina određen je pomoću prirasno-prihodnih tablica na osnovi broja stabala, te je reduciran sklopom kako bi se dobili stvarni podaci za svaku izlučenu sastojinu po ha. Temeljica je određena na temelju promjera krošnje i površine projekcije krošnje. Utvrđena je visoka korelacija između fotogrametrijskih i terenskih podataka za sve promatrane dendrometrijske parametre.

Pernar i dr. (2003) istražili su mogućnost primjene aerofotosnimaka iz cikličkog snimanja RH u uređivanju šuma. Na pet različitih načina procijenili su volumene sastojina po hektaru: (I) uz pomoć Špirančevih prirasno-prihodnih tablica, (II) uz pomoć normala prema ekološko-gospodarskim tipovima, (III) svrstavanjem odsjeka u klase prema uređajnom i dobnom razredu i bonitetu uz korištenje referentnog odsjeka, (IV) svrstavanjem odsjeka u klase prema uređajnom i dobnom razredu bez referentnog odsjeka, (V) na osnovi terestrički izmjerene maksimalne, minimalne i prosječne drvne zalihe po hektaru. Kao najprihvatljiviju metodu navode procjenu pomoću Špirančevih prirasno-prihodnih tablica, za koje su ustvrdili odstupanje od -2,08 % u odnosu na terestrički izmjerenu drvnu zalihu.

Pernar i Klobučar (2003) istraživali su mogućnosti primjene histograma vrijednosti piksela sastojinske scene (256 nijansi, od bijele do crne) i vizualne interpretacije digitalnog ortofota u procjeni relativnog obrasta i stanja sastojine. U tu svrhu koristili su crno-bijele aerofotosnimke približnog mjerila 1:20000, s 60 % preklopom, dobivene tijekom cikličkog snimanja Republike Hrvatske. Utvrdili su tri oblika histograma prvoga



reda, koji se mogu pridružiti odgovarajućim kategorijama obrasta.

Klobučar (2008) je istraživao dodatnu mogućnost primjene cikličkih snimaka, izradom histograma drugog reda i utvrđivanjem njihove povezanosti s tri

kategorije relativnog obrasta, te je dao alternativnu metodu klasificiranja. Nešto kasnije, Klobučar i Pernar (2009) proširili su svoja istraživanja korištenja digitalne analize slike u šumarstvu primjenjujući neuronske mreže u kategorizaciji obrasta.

### Istraživanja odnosa između sastojinskih veličina i veličina mjerljivih na aerosnimkama

#### *Research of relationships between stand parameters and parameters measurable on aerial photographs*

Kostijal (1986) je istraživao odnos između broja uočljivih krošanja na aerosnimkama ( $N_f$ ) i promjera srednjeg volumnog stabla ( $d_{1,30}$ ). Istraživanjem je dokazao da je korelacija između te dvije veličine vrlo čvrsta (0,944) i da se može izraziti jednadžbom:

$$d_{1,30} = 84,494 - 0,1924 N_f + 0,0001442 N_f^2$$

Na temelju proučavanja odnosa između sklopa izmjerenog na aerosnimkama i obrasta u sastojinama jele i smreke, Kušan (1992) zaključuje da je veza između sklopa i obrasta vrlo čvrsta ( $r = 0,733$ ) te da sklop može zamijeniti obrast prilikom primjene prirasno-prihodnih tablica.

Odnos između srednje sastojinske visine ( $h_s$ ), broja stabala po ha ( $N/ha$ ) srednje sastojinske širine krošnje ( $D_s$ ) i volumena sastojine po ha ( $V/ha$ ) u sastojinama hrasta lužnjaka i običnog graba istraživali su pomoću multiple korelacije Kušan i Krejči (1993). Testirali su 14 linearnih i nelinearnih modela. Najbolje izjednačenje podataka ( $r = 0,954$ ) s najmanjim koeficijentom varijacije postignuto je pomoću modela:

$$V = 0,00171 \cdot h_s^{1,0741} \cdot N^{0,8504} \cdot D_s^{2,0360}$$

Korištenjem toga modela za procjenu volumena standardna pogreška bila im je manja od 4,5 %, osim u

mladim sastojinama za koje su dobili veća odstupanja (oko 12 %).

Benko (1995) je istraživao odnos između volumena stabala hrasta lužnjaka i različitih varijabli stabla (visine, promjera krošnje, površina projekcije krošnje, duljine osvjetljenog dijela krošnje i dr.) koje je mjerio na aerosnimkama pomoću analitičkog stereoinstrumenta. Multiplom regresijom izradio je više linearnih modela ovisnosti volumena stabla o mjerenim varijablama uz koeficijente determinacije između 30 % i 70 %.

Pernar (1997) je istraživala odnos između prsnih promjera, odnosno temeljnice mjerenih na terenu, te promjera krošnje odnosno površine projekcije krošnje mjerene na aerosnimkama. Unatoč korištenju jednostavnih linearnih modela ovisnost prsnog promjera o promjeru krošnje, odnosno temeljnice stabla o površini projekcije krošnje, Pernar je dobila vrlo jake korelacije. Pri tomu se za sve tri istraživane vrste drveća, običnu jelu, običnu smreku i običnu bukvu, boljim pokazao model procjene prsnog promjera pomoću promjera krošnje ( $r_{jela} = 0,953$ ;  $r_{smreka} = 0,980$ ;  $r_{bukva} = 0,978$ ) dok je model za temeljnicu imao nešto niže vrijednosti koeficijenta korelacije ( $r_{jela} = 0,877$ ;  $r_{smreka} = 0,936$ ;  $r_{bukva} = 0,942$ ).

### III. Ostala istraživanja primjene aerosnimaka u uređivanju šuma

#### *III. Other research of application of aerial photographs in forest management*

Seletković i dr. (2006) istraživali su primjenjivost višefaznog uzorka u inventarizaciji šumskog prostora. Nastojali su ustanoviti kako se sa što manjim intenzitetom uzorkovanja, uporabom višefaznog uzorka mogu dobiti zadovoljavajući rezultati procjene sastojinskih strukturnih elemenata, koji bi mogli poslužiti u uređajnoj inventuri šuma. Seletković i dr. (2006) ukazuju da primjena višefaznog uzorka ima značajna ograničenja u kasnijim fazama obrade i interpretacije. Koristili su aerofotosnimke mjerila 1:20000, koje su se u prvoj fazi (fotointerpretacija i delineacija stratuma) pokazale upotrebljive, dok su se u drugoj fazi (aerofototaksacija) pokazale neupotrebljive uslijed sitnog mjerila

snimaka. Slijedom toga zaključuju da višefazni uzorak može poslužiti za delineaciju stratuma te planiranje mreže uzoraka kao predradnje za terensku izmjeru.

Pernar i Šelendić (2006) istraživali su mogućnost povećanja interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka. Kombinacijom crno-bijele aerosnimke velike prostorne rezolucije (0,5 m) i multispektralnog Landsat ETM+ satelitske snimke male prostorne rezolucije (30 m), udružili su njihove međusobne karakteristike, kombiniranjem različitih kanala Landsat ETM+ i crno-bijelog snimka. Ostvarivanjem sinergijskog učinka ustvrdili su da se na taj način omogućava bolje vizualna interpretacija snimaka.

### SADAŠNJE STANJE – FOTOGRAMetriJA I PRIMJENA U UREĐIVANJU ŠUMA

#### *Current state – fotogrammetry and application in forest management*

Razvojem tehnologije, razvijala se i fotogrametrija, te je u posljednjih tridesetak godina prošla put od ana-

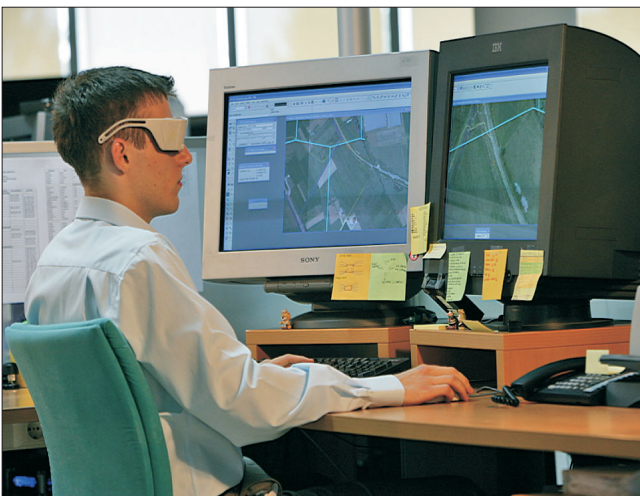
logne, preko analitičke do digitalne fotogrametrije (Lapaine i Frančula 2001). U analognoj i analitičkoj foto-

grametriji koriste se klasične analogne aerosnimke, a fotointerpretacija se obavlja analognim i analitičkim stereoinstrumentima. U digitalnoj fotogrametriji analogne snimke zamijenjene su digitalnim snimkama, a fotointerpretacija se obavlja na zaslonu računala, na digitalnim fotogrametrijskim stanicama (Magnusson i dr. 2007).

Posljednjih desetak godina, digitalna aerofotogrametrijska kamera (slika 1) i digitalna fotogrametrijska stanica (slika 2) postali su najvažniji alati digitalne fotogrametrije, posebice u geodeziji.



Slika 1. Vexcel Ultra Cam X (izvor Geofoto d.o.o.)  
Figure 1 Vexcel Ultra Cam X (source Geofoto d.o.o.)



Slika 2. Digitalna fotogrametrijska stanica (izvor Geofoto d.o.o.)  
Figure 2 Digital photogrammetric workstation  
(source Geofoto d.o.o.)

Cramer (2005) te Petrie i Walker (2007) u svojim radovima prikazali su trenutačno stanje i budući razvoj tehnologije na području digitalnih aerofotogrametrijskih kamera, te ih usporedili s analognim kamerama. Uporabom digitalne kamere prestaje potreba za filmovima, fotoobradom i skeniranjem. Prilikom aerosnimanja istovremeno se bilježe pankromatski, crveni, plavi, zeleni i infracrveni dijelovi elektromagnetskog

spektra. Digitalne kamere odlikuju se i boljom radio-metrijskom rezolucijom u odnosu na analogne, bržom i jednostavnijom distribucijom snimljenog materijala, što cjelokupni proces pripreme za fotointerpretaciju čini jeftinijim. Uz potporu GPS-a i inercijalnih sustava, moguće je već nakon slijetanja aviona, imati orijentirane slike. Dobivene digitalne aerosnimke vrlo su visokih prostornih rezolucija, manjih i od 10 cm. Trenutno se na tržištu nalazi nekoliko digitalnih aerofotogrametrijskih kamera velikog formata, npr. Z/I DMC, Leica ADS40, Vexcel Ultracam (D i X).

Prema Dörstelu (2003), standardna pogreška pri mjerenju visina na ZI/DMC digitalnim snimkama, uključujući kvalitetu snimaka, pogrešku instrumenta i pogreške profesionalnog fotointerpretatora, iznosi manje od 0,008 % visine leta za jasno vidljiv objekt.

Schenk (2005) je usporedio digitalnu fotogrametrijsku stanicu s analitičkim stereoinstrumentima, te kao prednosti digitalne fotogrametrijske stanice navodi: povećanje ukupne produktivnosti, s obzirom da je velik broj operacija automatiziran i ubrzan, brza i jednostavna manipulacija digitalnim snimcima, automatsko i jednostavno dobivanje digitalnog modela reljefa, jednostavna proizvodnja digitalnog ortofota, mogućnost višestrukog povećavanja prikaza stereomodela, jednostavna (2D i 3D izmjera objekata) izmjera u stereomodelu, smanjenje umora interpretatora itd.

Razvoj digitalne fotogrametrije potaknuo je istraživanja o mogućnostima njene primjene u šumarstvu, odnosno inventuri šuma.

Zagalikis i dr. (2005) ispitali su mogućnost praktične primjene digitaliziranih aerosnimaka za procjenu parametara pojedinačnih stabala, odnosno sastojine. Istraživanje su proveli na dvije plantaže sitkanske smreke (*Picea sitchensis* /Bong./ Carrière) uz korištenje snimaka M 1:10000, prostorne rezolucije 32 cm i digitalne fotogrametrijske stanice. Iz stereoparova skeniranih aerosnimaka dobili su digitalni model površine (tj. digitalni model visine krošanja) i digitalni ortofoto. Digitalni model reljefa dobili su na temelju postojećih topografskih karata. Zatim su primijenili automatiziranu obradu slike (ortofota) kako bi dobili delineirane krošnje pojedinačnih stabala iz kojih su potom kreirali poligone, koji su predstavljali projekcije krošanja pojedinačnih stabala ili skupina stabala. Poligonima su potom određene koordinate centroida, minimalni i maksimalni te prosječni promjer, a korištenjem modela ovisnosti širine krošnje o prsnom promjeru za sitkansku smreku (Tabbush i White, 1988), dobili su prsne promjere pojedinačnih stabala. Preliminarne vrijednosti visine stabala odredili su na temelju razlike u visinama digitalnog modela visine krošanja i digitalnog modela reljefa za danu koordinatu centroida poligona. Usporedbom visina izmjerenih na terenu i preliminarnih visina dobivenih fotogrametrijski načinili su model

kojim su potom korigirali preostale (preliminarne) vrijednosti visina stabala. Korištenjem volumnih tablica, odnosno tarifa dobili su vrijednosti volumena po hektaru koje su potom usporedili s vrijednostima izmjerenim na terenu za obje plantaže. Usporedbom rezultata s različitim lokaliteta Zagalikis i dr. (2005) ustvrdili su da postoje razlike u kvaliteti rezultata s obzirom na vrstu terena. Za sastojinu smještenu na ravnom terenu, koja je relativno jednolika, procijenjene veličine bile su slične veličinama izmjerenima na terenu. S druge strane, na neravnom terenu u sastojinama različitih visina stabala ista metodologija pokazala je značajna odstupanja gotovo svih procjenjivanih veličina. Osim toga, Zagalikis i dr. (2005) zaključili su kako pouzdanost istražene metode ovisi i o kvaliteti aerosnimaka (npr. o uvjetima za vrijeme aerosnimanja) i njihovih proizvoda (npr. o rezoluciji digitalnog modela reljefa, digitalnog ortofota, deformacijama reljefa).

Njihovo istraživanje pokazalo je da metoda delinacije krošanja u pravilu podcjenjuje broj stabala po hektaru najčešće uslijed nemogućnosti razlučivanja točne granice između krošanja. To dovodi do precjenjivanja u

## ZAKLJUČCI – Conclusions

U proteklih tridesetak godina u Hrvatskoj je proveden značajan broj istraživanja o različitim mogućnostima primjene aerosnimaka u uređivanju šuma. Iako su pojedina istraživanja polučila vrlo dobre rezultate, posebice pri procjeni nekih sastojinskih veličina, te ukazala na mogućnost primjene daljinskih istraživanja u uređivanju šuma, do šire primjene u praksi nije došlo.

I u slučaju primjene fotogrametrijskog izlučivanja sastojina utvrđene su prednosti kada se fotogrametrijske metode kombiniraju s terestičkim izlučivanjem sastojina, ali se u praksi korištenja ortofoto snimaka uglavnom svodilo na primjenu za snalaženje u prostoru pri inventuri šuma. Postoji niz razloga za to, a među glavnima su svakako visoka cijena opreme i aerosnimaka, nedovoljno stručnih kadrova, ali i nepovjerenje u nove metode. U konačnici, može se zaključiti da je omjer dobivenog i uloženog u prošlosti u pravilu bio na strani konvencionalne metode uređivanja šuma.

U prikazanim dosadašnjim istraživanjima primjene digitalne fotogrametrije u uređivanju šuma korištene su skenirane analogne aerosnimke (Zagalikis i dr. 2005), dakle aerosnimke pridobivene klasičnim fotogrametrijskim kamerama, ili digitalne aerosnimke slabijih prostornih rezolucija (48 cm) (Magnusson i dr. 2007). U oba slučaja radi se o aerosnimkama slabijih geometrijskih (prostornih) i radiometrijskih rezolucija. Pregled domaće i strane literature ukazuje na činjenicu da je primjena digitalnih snimaka visoke prostorne rezolucije, kakve nam omogućuju današnje digitalne kamere, te digitalne fotogrametrijske stanice nedovoljno istražena, posebice u inventuri šuma. Kako je trošak

procjeni širine krošnje, a time i do precjenjivanja prsnog promjera. Što se volumena tiče, ove dvije pogreške djelomično se dokidaju tako da je pogreška u procijenjenom volumenu manja od očekivane. Međutim, s gledišta uređivanja šuma važno je naglasiti da struktura sastojine dobivena na ovaj način ima tendenciju prikazivanja sastojine rjeđom (s manjim brojem stabala) i sa stablima većih promjera nego što to sastojina uistinu jest.

Magnusson i dr. (2007) ispitali su točnost procjene taksacijskih elemenata: visine stabala, volumena sastojina i omjera smjese vrsta drveća aerofotointerpretacijom Z/I DMC digitalnih snimaka prostorne rezolucije 48 cm na digitalnoj fotogrametrijskoj stanici. Procjenu su neovisno vršila četiri profesionalna interpretatora, čiji rezultati su potom uspoređivani s terenskim izmjerama. Rezultati istraživanja pokazuju da je pouzdanost aerofotointerpretacije Z/I DMC digitalnih snimaka uporabom digitalne fotogrametrijske stanice usporediva sa sličnim istraživanjima provedenim fotointerpretacijom analognih snimaka uporabom analognih ili analitičkih stereoskopa.

aviosnimanja i računalne tehnologije u stalnom opadanju, a njihove mogućnosti u stalnom porastu, situacija se mijenja i može se očekivati intenziviranje aktivnosti u području daljinskih istraživanja, odnosno digitalne fotogrametrije. Digitalne aerofotogrametrijske kamere znatno ubrzavaju i olakšavaju proces dobivanja digitalnih snimaka visokih prostornih rezolucija. Također, primjena digitalne fotogrametrijske stanice u odnosu na analogne i analitičke stereoinstrumente znatno ubrzava i olakšava rad, smanjuje naprezanje interpretatora, pa time povećava njegovu produktivnost.

Osim pri uređivanju gospodarenih državnih šuma, jedno od mogućih područja primjene digitalne fotogrametrije u Hrvatskoj predstavljaju i poslovi na uređenju i gospodarenju šuma privatnih šumoposjednika. To područje pokazuje se u posljednjih nekoliko godina najdinamičnijim u hrvatskom šumarstvu. Privatne šume se unazad nekoliko godina intenzivno uređuju, odnosno izrađuju se programi gospodarenja. Za većinu predmetnih šuma to je prvo uređivanje, odnosno ne postoje podaci prethodnih izmjera, kao ni prethodno izrađena gospodarska podjela. Dio površina privatnih šuma je zapušten, nepristupačan ili teško prohodan, a česta je usitnjenost i razbacanost površina (katastarskih čestica šumoposjednika). Sve navedeno otežava terenski rad, povećava troškove i vrijeme potrebno za obilazak terena.

Za pretpostaviti je da bi se upravo u inventuri privatnih šuma u Hrvatskoj digitalna fotogrametrija mogla pokazati korisnom i dovesti do smanjenja obima terenskih poslova, što bi u konačnici moglo dovesti do smanjenja troškova.



Navedeni razlozi potiču nova istraživanja, koja bi za cilj trebala imati ispitivanje mogućnosti primjene novih metoda i alata digitalne fotogrametrije u inventuri šuma u Hrvatskoj. Istraživanja bi trebala dati odgovore na pitanja da li su podaci fotogrametrijskih izmjera dovoljno precizni da mogu zamijeniti terensku izmjeru, i u kojoj mjeri. Nadalje, potrebno je utvrditi da li je primjena digitalne fotogrametrije prihvatljiva i s ekonomskog gledišta, odnosno da li pruža zadovoljavajući odnos troškova i točnosti dobivenih rezultata.

Jednom pridobivene, digitalne snimke visoke rezolucije šumskih površina važan su dokument za budućnost. Stanje koje se na njima zabilježi može se koristiti u budućnosti u cijelom nizu istraživanja i kao monitoring (rast i prirast, oštećenost, sječa). Ukoliko bi se primjena digitalne fotogrametrije pokazala cjenovno povoljnijom (pa čak i kada bi bila nešto skuplja od klasične metode), to bi trebao biti snažan poticaj razvoju i širenju njene primjene u šumarstvu Hrvatske.

#### LITERATURA – References

- Benko, M., 1993: Procjena taksacijskih elemenata sastojina na infracrvenim kolornim aerosnimkama, *Glas. šum. pokuse*, 29:199–274, Zagreb.
- Benko, M., 1995: Procjena drvne zalihe sastojine multivarijantnom analizom čimbenika mjerljivih na aerosnimkama, *Disertacija*, 237, Šumarski fakultet Zagreb.
- Cramer, M., 2005: Digital airborne cameras – Status and future, U: C. Heipke, K. Jacobsen, M. Gerke (ur.), *High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1–8, Hanover.
- Čurić, T., 1986: Fotointerpretacijsko izlučivanje sastojina, *Diplomski rad*, 22, Šumarski fakultet Zagreb.
- Dörstel, C., 2003: DMC – Practical experiences and photogrammetric system performance, U: D. Fritsch (ur.), *Photogrammetric Week 2003*, Wichmann, 59–66, Heidelberg.
- Geofoto, 2009: Photogrammetric production line in Geofoto. Technical description. Geofoto d.o.o., Zagreb.
- Klobučar, D., 2004: Izlučivanje sastojina prema sklopu na digitalnom ortofotu i usporedba s terestičkim izlučivanjem, *Rad. Šumar. inst. Jastrebar.*, (39) 2: 223–230, Jastrebarsko.
- Klobučar, D., 2008: Primjena histograma drugoga reda u procjeni relativnog sastojinskog obrasta, *Šum. list*, 132 (9–10): 419–429, Zagreb.
- Klobučar, D., R. Pernar, 2009: Umjetne neuronske mreže u procjeni sastojinskih obrasta s cikličkih snimaka, *Šum. list*, 133 (3–4): 145–155, Zagreb.
- Kostijal, V., 1986: Korelacijski odnos uočljivog broja krošnji u stereomodelima jednodobnih šuma bukve s prsnim promjerom centralnog plošnog stabla, *Magisterij*, 56, Šumarski fakultet Zagreb.
- Kušan, V., 1992: Procjena volumena sastojina četinjača fotointerpretacijom aerosnimaka uz pomoć prirasno-prihodnih tablica, *Meh. šumar.*, 17 (3–4): 53–66, Zagreb.
- Kušan, V., 1996: Pristup daljinskim istraživanjima i GIS-u u hrvatskome šumarstvu, *Šum. list*, 120 (3–4): 171–178, Zagreb.
- Kušan, V., 1998: Fotogrametrija i daljinska istraživanja u šumarstvu Hrvatske, U: V. Kušan (ur.), *Sto godina fotogrametrije u Hrvatskoj*, HAZU, 115–121, Zagreb.
- Kušan, V., V. Krejčić, 1993: Regresijski model za procjenu volumena sastojina hrasta lužnjaka, *Rad. Šumar. inst. Jastrebar.*, 28 (1–2): 69–77, Jastrebarsko.
- Lapaine, M., N. Frančula, 2001: O pojmovima analogno i digitalno, *Bilt. daljin. istraž. fotointerpret.*, 15–16: 135–144, Zagreb.
- Lukić, N., 1981: Ispitivanje pouzdanosti fotointerpretacijske inventure drvnih masa šuma jele u odnosu na listu podataka dobivenu mjernom fotointerpretacijom, *Šum. list*, 105 (3–4): 133–145, Zagreb.
- Magnusson, M., J. E. S. Fransson, H. Olsson, 2007: Aerial photo-interpretation using Z/I DMC images for estimation of forest variables, *Scand. J. For. Res.*, 22 (3): 254–266, Knivsta, (Sweden).
- Pavičić, D., 1983: Pouzdanost fotointerpretacijskog određivanja horizontalnog sklopa u sastojinama, *Diplomski rad*, 54, Šumarski fakultet Zagreb.
- Pernar, R., 1997: Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry, *Glas. šum. pokuse*, 34: 141–149, Zagreb.
- Pernar, R., D. Klobučar, 2003: Estimating stand density and condition with use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos, *Glas. šum. pokuse*, 40: 81–111, Zagreb.
- Pernar, R., D. Klobučar, V. Kušan, 2003: The application of aerial photographs from cyclic recordings in the Republic of Croatia to forest management, *Glas. šum. pokuse*, 40: 113–168, Zagreb.

- Pernar, R., D. Šelendić, 2006: Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma, Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5: 467–477, Zagreb.
- Petrie, G., A. S. Walker, 2007: Airborne Digital Imaging Technology: a New Overview, The Photogrammetric Record, 22 (119): 203–225, London.
- Pranjić, A., 1963: Ovisnost drvene mase stabla o promjeru krošnje i visini, Šum. list, 87 (9–10): 364–366, Zagreb.
- Pravilnik o uređivanju šuma, 2006: Narodne novine, 111, Zagreb.
- Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uređivanju šuma, 2008: Narodne novine, 141, Zagreb.
- Schenk, T., 2005: Introduction to photogrammetry, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, 79–95, Columbus.
- Seletković, A., R. Pernar, M. Benko, 2006: Višefazni uzorak u inventarizaciji šumskog prostora, Rad. Šumar. inst. Jastrebar., izv. izd. 9: 297–306, Jastrebarsko.
- Tabbush, P. M., I. M. S. White, 1988: Canopy closure in Sitka spruce – the relationship between crown width and stem diameter for open grown trees, Forestry, 61: 23–27, Oxford.
- Tomašegović, Z., 1954: O pouzdanosti aerofototaksacije za neke dendrometrijske potrebe šumskog gospodarstva, Glas. šum. pokuse, 12: 167–220, Zagreb.
- Tomašegović, Z., 1956: Razmatranja o fotoplanu Turopoljskog luga, Šum. list, 80 (5–6): 154–166, Zagreb.
- Tomašegović, Z., 1961a: Stereofotogrametrijska linearna taksacija, Šum. list, 85 (1–2): 36–45, Zagreb.
- Tomašegović, Z., 1961b: Ovisnost promjera  $d_{1,3}$  jele i smreke o krošnji i visini stabala, Šum. list, 85 (7–8): 254–261, Zagreb.
- Tomašegović, Z., 1965: O pouzdanosti fotogrametrijskih slojnica šumskih područja, Geod. list, 19 (10–12): 259–304, Zagreb.
- Vukelić, J., 1984: Doprinos fotointerpretacijske analize vegetaciji istraživanih šumskih zajednica Nacionalnog parka Risnjak, Magisterij, 81, Šumarski fakultet Zagreb.
- Zagalikis, G., A.D. Cameron, D.R. Miller, 2005: The application of digital Photogrammetry and image analysis techniques to derive tree and stand characteristics, Can. J. For. Res. 35: 1224–1237, New Westminster (Canada).

*SUMMARY: In forest inventory, in Croatia, data acquisition is performed using exclusively terrestrial methods which are costly and time consuming. With application of remote sensing methods, the need for the field work is reduced which might open the possibility of reducing costs. In the last thirty years various research about possibility of applying remote sensing methods in practical forestry in Croatia were conducted. But, practical applications of data obtained by remote sensing methods were limited mainly to their use for the orientation in the field.*

*Classical photogrammetric methods were one of the methods that were tested, but also did not find wider application in practical forest inventory. However, development of new digital image acquisition and processing technology has encouraged us to reconsider the application of digital photogrammetry in the forest inventory. The aim of this work is to give contribution in determining the guidelines for application of aerial photographs (digital images) in practical forest management.*

*In the last thirty years photogrammetry developed from analogue, over analytical to digital photogrammetry. Film based aerial photographs are still used in analogue and analytical photogrammetry, and photointerpretation is performed with analogue or analytical stereoinstruments. In digital photogrammetry film based aerial photographs are replaced with digital images, and photointerpretation is performed using specialized computer 3D monitor. In the last decades, digital aerophotogrammetric camera (Figure 1) and digital photogrammetric workstation (Figure 2) became the most important tools of digital photogrammetry, especially in geodesy.*



*In this paper we presented the overview of the past research and results of application of aerial photographs in forest management in Croatia. Research of stand delineation, tree and stand attributes, and other application of aerial photographs in forest management are presented. Most of those researches were carried out with photointerpretation and photogrammetric measurements on film based aerial photographs with analytical stereoinstruments. However, several pioneering researches using digital image analysis were reviewed here as well.*

*We presented the current state of the technology in the field of digital photogrammetry. Also, a review was given of several selected research from Europe, which described the possibility and limitations of application of modern photogrammetric methods in forest management. Overview of domestic and foreign literature indicates that an application of digital images of high spatial resolution, which can be obtained from digital aerophotogrammetric camera for use at digital photogrammetric workstations, are insufficiently explored, especially for application in forest management. One possible area of application of digital photogrammetry in Croatia is in the management of private forests. Because of the lack of proper management and of inventory data for private forests, we can assume that digital photogrammetry could prove useful in this area of forestry. This could lead to reduction of the required field work and related costs in creating forest management plans. In addition, when obtained, high resolution digital images of forested area are an important document that could be used in future (research and monitoring of growth, forest health, harvesting, etc.). Should costs in data acquisition for forest inventory by employing digital photogrammetry prove to be lower (or in worst case only slightly higher) than those employing classical methods, this should be a strong sign to the forestry community in Croatia to consider the use of digital photogrammetry in forest management.*

*Key words: remote sensing, aerial photographs, digital photogrammetry, stands exclusion, stand parameters assessment*

### ZELENA KRSTAČA (*Bufo viridis Laurenti*)

U Hrvatskoj žive dvije (siva i zelena) od tri vrste europskih krstača. Krstače u narodu nazivaju raznim imenima poput baburače, copernice, gubače, gubavice, kamenjarke, napuhače i uz njih postoji niz basni, legendi i praznovjerica.



Slika 1. Zelena krstača s karakterističnom obojenošću i dugim nožnim srednjim prstom

Zelena krstača naraste u dužinu 8–10 cm i širinu 4–5 cm. Odozgo je svjetlo do maslinasto zelena, s velikim zelenkastim pjegama. Odozdo je svijetlo siva sa rijetkim tamno zelenim pjegama. Koža joj je bradavičasta i suha. Bradavice su brojne, crvenkaste i u slučaju opasnosti ako ne uspije pobjeći stegne kožu, a iz bradavica se izlučuje bjelkasti pjenušavi sekret neugodnog mirisa, koji odvraća potencijalnog neprijatelja. Oči imaju crnu vodoravno eliptičnu zjenicu sa sitno točkastom zelenom šarenicom. Razmnožava se od travnja do lipnja kada se pari u vodi u kojoj odlaže vrlo duge nizove vrpca, s preko 10 000 jajašca. Zameci se razvijaju vrlo brzo, tako da punoglavci izlaze za 3–4 dana. Aktivna je tijekom noći, kreće se po tlu, može daleko skakati, penje se i

pliva. Tijekom dana skriva se u pukotinama između stijena, kamenja, drvnog materijala, te u suhim rupama u zemlji u kojima i prezimljuje (od listopada) nakon što zatvori ulazni otvor. U proljeće (krajem ožujka) izlazi iz zimskog boravišta, odlazi do vodenih površina gdje započinje s parenjem. Često je susrećemo unutar naseljenih mjesta po vrtovima i okućnicama, gdje je zbog svog načina prehrane izuzetno korisna za povrtlarske nasade. Hrani se manjim kukcima i njihovim ličinkama, paučima, gujavicama i puževima.



Slika 2. Izgled zelene krstače odozgo

Naseljava srednju, istočnu i južnu Europu. U Hrvatskoj je široko rasprostranjena i naseljava različita staništa. Dobro podnosi sušu i sol, pa je možemo opaziti i uz samu morsku obalu.

Zelena krstača je strogo zaštićena svojta u Republici Hrvatskoj.

Tekst i fotografije:  
Mr. Krunoslav Arač, dipl. ing. šum.