

## PROŠLOST, SADAŠNJOST I BUDUĆNOST PRIMJENE METODA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA PRI INVENTURI ŠUMA U HRVATSKOJ

### PAST, PRESENT AND FUTURE OF APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS IN CROATIAN FOREST INVENTORY

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

*SAŽETAK: Zadatak inventure šuma je kvalitetno prikupljanje informacija, što predstavlja temelj za donošenje pravilnih odluka u gospodarenju šumama. Uz uobičajene terestričke načine prikupljanja podataka, podaci o šumama sve se više prikupljaju i metodama daljinskih istraživanja, čijom se primjenom smanjuje opseg terenskog rada te otvara mogućnost uštede vremena i novca. Cilj rada je dati pregled dosadašnjih istraživanja te mogućnosti primjene metoda daljinskih istraživanja u inventuri šuma u Hrvatskoj. Dosadašnja istraživanja prikazana u radu dat će uvid u sadašnje stanje i ulogu daljinskih istraživanja u inventuri šuma u Hrvatskoj, a zajedno s novim spoznajama mogu poslužiti kao smjernice za buduća istraživanja i primjenu novih metoda daljinskih istraživanja u inventuri šuma.*

*Ključne riječi: daljinska istraživanja, inventura šuma, aerosnimke, satelitske snimke, digitalna fotogrametrija, LiDAR*

#### UVOD – Introduction

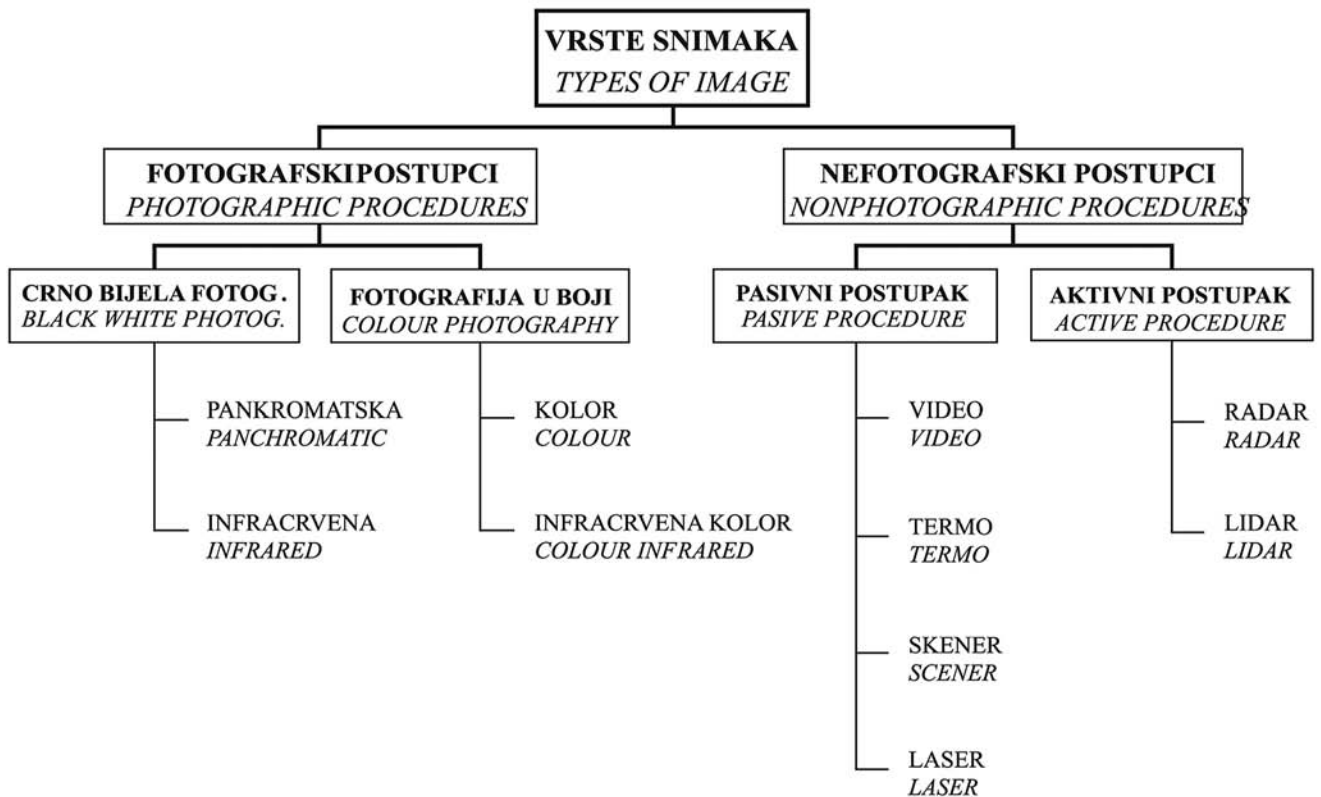
Donošenje pravilnih odluka u gospodarenju šumama temelji se na kvalitetno prikupljenim informacijama. Prikupljanjem informacija o šumama bavi se uređivanje šuma, odnosno inventura šuma. Ovisno o području primjene te s obzirom na preciznost i značenje potrebnih informacija razlikujemo operativnu (pogonsku) inventuru, uređajnu inventuru, nacionalnu inventuru, te posebne inventure šuma u koje ubrajamo razne vrste urbanih izmjera, inventarizaciju oštećenosti šuma, estetske izmjere i sl. (Pranjić i Lukić 1997).

Usljed brzog razvoja tehnologije, u drugoj polovici 20. stoljeća dogodile su se velike promjene u načinu prikupljanja podataka, posebice u razvijenijim zemljama (Kalačević i Kušan 1991). Uz uobičajene terestričke načine prikupljanja podataka, podaci o šumama sve se više prikupljaju i metodama daljinskih istraživanja. Primjenom metoda daljinskih istraživanja smanjuje se opseg terenskog rada te otvara mogućnost ušteda vremena i novca (Pernar i Šelendić 2006).

Prema postupcima pridobivanja snimaka metode daljinskih istraživanja mogu se podijeliti na one koji koriste fotografske postupke i one koje koriste nefotografske postupke (slika 1). Uređaji za snimanje mogu biti smješteni na zrakoplovima, helikopterima, balonima, a u novije vrijeme i na malim bespilotnim letjelicama te na satelitima i svemirskim letjelicama (Donassy i dr. 1983, Weng 2010).

Stalnim razvojem i napretkom tehnologije proširilo se i nadalje se proširuje područje i mogućnosti primjene metoda i tehnika daljinskih istraživanja. Šira primjena aerosnimaka u šumarstvu počela je nakon I. svjetskog rata, a posebice nakon II. svjetskog rata. Osim za kartiranja te kao pomoć pri orijentaciji u šumi, aerosnimke su se počele rutinski koristiti za inventure velikih šumskih površina u Sjevernoj Americi, Kanadi, Njemačkoj, Skandinaviji i tropskim šumama (Benko 1995, Laari i Akça 2007). Danas aerosnimke nalaze sve veću primjenu i u uređajnoj inventuri šuma. Tako su, primjerice u Švedskoj i Norveškoj, metode fotointerpretacije i fotogrametrijske izmjere aerosnimaka krupnijih mjerila postale njezin sastavni dio (Magnusson i dr. 2007, Næsset 2002, Næsset i dr. 1992).

<sup>1</sup> Dr. sc. Miroslav Benko, Ivan Balenović, dipl. ing. šum.  
Hrvatski šumarski institut, Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku Trnajska cesta 35, 10000 Zagreb



Slika 1. Pojednostavljeni shematski prikaz vrsta snimaka  
Figure 1. Simplified scheme of remote sensing images

Od 60-ih godina prošloga stoljeća provode se u europskim zemljama sustavna istraživanja primjene infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka za ustanovljavanje oštećenosti šumske vegetacije (Murtha 1972). Metodologija procjene oštećenosti šuma na ICK aerosnimcima radi inventarizacije oštećenosti šuma je operacionalizirana i u svjetskim se razmjerima primjenjuje rutinski u šumarskoj praksi. U Hrvatskoj su se prva istraživanja iz tog područja provela krajem 80-tih godina 20. stoljeća (Kušan 1996).

Za praćenje stanja šuma i određivanje sastojinskih parametara od šezdesetih godina prošloga stoljeća koriste se i satelitske snimke. Danas imaju sve veće značenje i primjenu u šumarstvu, budući da su prostornih rezolucija manjih i od 1 m (Seletković 2008).

Kontinuirani razvoj novih i suvremenih metoda daljinskih istraživanja otvara nove mogućnosti njihove primjene na poslovima inventura šuma, a u cilju bržeg, lakšeg, jednostavnijeg i jeftinijeg prikupljanja potrebnih podataka.

U radu je prikazan pregled dosadašnjih istraživanja te mogućnosti primjene metoda daljinskih istraživanja u inventuri šuma u Hrvatskoj. U cilju usporedbe Hrvatske i svijeta prikazan je kratak pregled istraživanja primjene digitalne fotogrametrije u uređivanju šuma provedenih u Europi i svijetu u posljednjih desetak godina. Time se pokušalo odgovoriti na pitanja: 'što je učinjeno u prošlosti', 'gdje se sada nalazimo' i 'u kojem smjeru treba ići u budućnosti' u pogledu istraživanja u Hrvatskoj. Nadalje, od novijih tehnologija daljinskih istraživanja prikazana je LiDAR tehnologija i dio provedenih istraživanja njene primjene u šumarstvu.

Uvid u dosadašnje i sadašnje stanje primjene daljinskih istraživanja u hrvatskom šumarstvu i mogućnosti novih metoda daljinskih istraživanja na primjeru istraživanja provedenih u svijetu, mogu poslužiti kao smjernice za buduća istraživanja i primjenu novih metoda daljinskih istraživanja u inventuri šuma u Hrvatskoj.

## DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA TE PRAKTIČNA PRIMJENA METODA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U INVENTURI ŠUMA U HRVATSKOJ

### *Past research and practical application of remote sensing methods in croatian forest inventory*

U Hrvatskoj su u posljednjih 30-ak i više godina provedena razna istraživanja primjenjivosti daljinskih istraživanja na poslovima inventure šuma, ponajprije

na aerosnimkama te u novije vrijeme na satelitskim snimkama (Balenović i dr. 2010).

## I. AEROSNIMKE – *Aerial photographs*

### Uredajna inventura šuma – *Forest management inventory*

Detaljan uvid u provedena istraživanja i dobivene rezultate primjene aerosnimaka u uređivanju šuma, odnosno na radovima izlučivanja sastojina i procjene sastojinskih veličina dali su Balenović i dr. (2010). Stoga ćemo samo nabrojati dosadašnja istraživanja po pojedinim grupama radova.

U Hrvatskoj su mogućnosti kartiranja i izlučivanja sastojina vizualnom interpretacijom na stereoparovima analognih aerosnimaka pomoću analognih stereoinstrumenata proučavali Tomašegović (1956, 1961a, 1965), Vukelić (1984), Čurić (1986), Benko (1993) i Pernar (1997), dok je Klobučar (2004) istraživao mogućnost korištenja digitalnog ortofota u izlučivanju sastojina prema sklopu.

### Inventarizacija oštećenosti šuma – *Forest damage assessment*

Inventarizacija oštećenosti pomoću aerosnimaka bazira se na pretpostavci da između zdravih i oštećenih stabala postoje jednoznačne razlike u načinu preslikavanja na aerosnimkama, uvjetovane promijenjenim oblikom krošnje i promjenama u spektralnom sustavu reflektiranih Sunčevih zraka (Kalafadžić i Kušan 1990).

Inventarizacija oštećenosti šuma pomoću aerosnimaka temelji se na procjeni stupnja oštećenosti pojedinačnih stabala (krošanja) koja se vide na aerosnimkama. Veza između stanja na terenu i na aerosnimkama, odnosno način preslikavanja pojedinih stupnjeva uspostavlja se pomoću pažljivo izrađenog fotointerpretacijskog ključa (Pernar i dr. 2007a).

Na ICK aerosnimkama oštećenost se lagano uočava, ponekad i prije nego se u prirodi pojave oku vidljivi znakovi, zbog promjene spektralne refleksije oboljele vegetacije. Oštećenost se najčešće javlja kao promjena u morfologiji ili fiziologiji biljaka. Morfološke promjene u većini slučajeva povezane su s gubitkom lišća, odumiranjem grana i dijelova krošnje, a fiziološke promjene uglavnom predstavljaju promjene boje lišća, što uvjetuje promjene u refleksiji (Pernar 1994).

U Hrvatskoj su se nakon pokusnih snimanja ICK filmom (Tomašegović 1982, Kalafadžić 1987) od 1988. godine na većim površinama počeli primjenjivati ICK aerosnimci za inventarizaciju oštećenosti područja (Kalafadžić i Kušan 1990, Pernar i dr. 2011).

Pernar (1994) istražuje pouzdanost određivanja oštećenosti na ICK aerosnimkama. Na temelju istraživanja provedenog u nizinskim šumama hrasta lužnjaka u Slavonskoj Posavini izrađen je detaljno raščlanjeni fotointerpretacijski ključ za hrast lužnjak kao pomoć pri određivanju oštećenosti na ICK aerosnimkama. Pouzdanost fotointerpretacijskog ključa ispitana je usporedbom procijenjene oštećenosti fotointerpretaci-

Mogućnost procjene strukturnih elemenata šumskih sastojina metodama fotogrametrijske izmjere i fotointerpretacije također je bio predmet brojnih istraživanja (Tomašegović 1954, 1961b, Lukić 1981, Pavičić 1983, Kostijal 1986, Kušan 1992, Benko 1993, 1995, Kušan i Krejči 1993, Pernar 1997, Pernar i dr. 2003 i Seletković 2006). Provedena su i određena istraživanja primjene digitalne analize slike pri procjeni relativnog obrasta sastojina i to primjenom histograma prvog (Pernar i Klobučar 2003) i drugog reda (Klobučar 2008) te primjenom neuronskih mreža (Klobučar 2008).

jom u stereomodelu na ICK aerosnimkama i na terenu. Provedenim analizama ustanovljeno je da se rezultati procjene oštećenosti na ICK aerosnimkama ne razlikuju od terenskih. Pernar zaključuje kako izrađeni fotointerpretacijski ključ u potpunosti omogućuje objektivnu fotointerpretaciju ICK aerosnimaka za potrebe određivanja oštećenosti stabala i sastojina hrasta lužnjaka te se kao takav može primjenjivati u budućim inventarizacijama pomoću ICK aerosnimaka, uz određene korekcije s obzirom na primijenjenu kameru.

Pernar i dr. (2007a, 2007b, 2008) nastavljaju istraživanja procjene oštećenosti fotointerpretacijom na ICK aerosnimkama u kojima se rezultati dobiveni fotointerpretacijom ne razlikuju od terenskih. Uz to navode i niz drugih prednosti:

- objektivnost – provedena istraživanja procjene oštećenosti na ICK aerosnimkama mogu provesti iste osobe, te je time isključen utjecaj eventualnih razlika uslijed različitih opažачa;
- aerosnimke ostaju kao trajan dokument o stanju šuma u vrijeme snimanja;
- na aerosnimkama se opažanja u svakom trenutku mogu ponoviti, provjeriti i nadopuniti, a prema potrebi i nastaviti.

Klobučar i dr. (2010) istražuju mogućnost primjene segmentacije scene i samoorganizirajuće neuronske mreže u otkrivanju oštećenosti šuma i utvrđivanja njezinog prostornog rasporeda na ICK aerosnimcima. Autori ističu kako se primjenom navedenih metoda postiže visok stupanj automatizma kojim se uklanja subjektivnost klasičnih metoda daljinskih istraživanja tj. vizualne interpretacije. Klobučar i dr. (2010) zaključuju kako se primijenjena metoda može pouzdano primijeniti u otkrivanju oštećenosti sastojina na ICK aerosnimcima.

## II. SATELITSKE SNIMKE – *Satellite imagery*

Satelitske snimke kao izvor informacija imaju sve veće značenje i primjenu u šumarstvu Hrvatske (Seltković i dr. 2008, 2011).

Najranija istraživanja u šumarstvu Hrvatske provedena su na satelitskim snimkama malih prostornih rezolucija, gdje je uglavnom istraživana mogućnost kartiranja zemljišta (Lampak i Kušan 1994).

Mogućnost primjene satelitskih snimaka u uređivanju i inventuri šuma istraživali su mnogi autori. Pejnović (2000) je uspoređivao digitalnu i vizualnu interpretaciju Landsat TM satelitske snimke za potrebe inventure šuma.

Primjenjivost regresijskih modela za procjenu sastojinskih veličina na temelju podataka o spektralnim odbijanjima na Landsat TM satelitskim snimkama proučavali su Kovač (2001) te Kušan i Pernar (2001). Istraživanja su ukazala na jedan od mogućih načina procjene sastojinskih veličina pomoću satelitskih snimaka, čije je najveće značenje u mogućnosti brzog dobivanja informacija, uz značajno niske troškove.

Pernar i Šelendić (2006) istraživali su mogućnost povećanja interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma. Kombinacijom crno-bijelog aerosnimka visoke prostorne rezolucije (0,5 m) i multispektralnog Landsat ETM+ satelitskog snimka male prostorne rezolucije (30 m), udružili su njihove međusobne karakteristike, i to kombiniranjem različitih kanala Landsat ETM+ i crno-bijelog snimka. Na taj način dobili su snimke poboljšanih mogućnosti interpretacije.

Krajem 90-tih godina 20. stoljeća lansiranjem nove generacije satelita visoke prostorne rezolucije (IKONOS), počinje nova era daljinskih istraživanja. U Hrvatskoj su prvo istraživanje na satelitskim snimkama visokih prostornih rezolucija proveli Seltković i dr. (2008). Cilj istraživanja bio je pronaći najbolji način interpretacije IKONOS satelitske snimke visoke rezolu-

cije koji će biti jednostavan i prihvatljiv za operativnu primjenu, a kojim će se dobiti dovoljno pouzdani podaci o sastojinskim veličinama primjenjivi u uređivanju šuma. Provedene su vizualna i digitalna (nadgledana i nenadgledana) interpretacija satelitske snimke te su ocijenjene točnosti klasifikacija. Najbolji rezultati svih provedenih interpretacija (klasifikacija) dobiveni su vizualnom interpretacijom. Provedenim metodama nadgledane klasifikacije IKONOS satelitske snimke utvrđeno je da je najtočnija metoda za operativnu primjenu tzv. klasifikacija pomoću prepoznavanja značajki (eng. *Feature extraction*) s modulom prepoznavanja prirodnih oblika (eng. *natural features*), gdje se neklasificirana područja pridružuju najbližijoj klasi.

Klobučar i dr. (2008) procjenjuju sastojinske parametre (broj stabala, volumen, starost, relativni obrast i temeljnicu) primjenom umjetnih neuronskih mreža na satelitskoj snimci IKONOS (PAN 1×1 m). Provedeno istraživanje ukazalo je na mogućnost korištenja umjetnih neuronskih mreža pri procjeni sastojinskih parametara.

U posljednje vrijeme, uz aerosnimke i satelitske snimke imaju sve veću praktičnu primjenu prilikom provođenja nacionalnih inventura šuma raznih zemalja. Za potrebe Nacionalne inventure šuma Hrvatske obavljena je satelitska obrada prostornih podataka za utvrđivanje granica i površine šuma te podstratuma unutar šuma i šumskog zemljišta. Provedena je obrada i povezivanje podataka terenske procjene i izmjere s prostornim podacima satelitske klasifikacije. Karta šuma u obliku vektorske baze prostornih podataka dobivena je klasifikacijom na IRS satelitskim snimkama visoke prostorne rezolucije od 5,8 m uz ocijenjenu točnost klasifikacije od 90,84 %. Provedena je i klasifikacija šuma na pet potkategorija (bjelogorične, crnogorične i mješovite šume, mlade sastojine i neobraslo šumsko zemljište), uz cjelokupnu točnost klasifikacije od 78,1 % (Čavlović i Božić 2008).

## DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U EUROPI I SVIJETU

### *Remote sensing in Europe and world*

Nove tehnologije i istraživanja mogućnosti njihove primjene u bilo kojoj grani privrede pa tako i u šumarstvu zahtijevaju značajna novčana sredstva. Upravo je to jedan od glavnih razloga zašto su istraživanja primjene novih metoda daljinskih istraživanja u šumarstvu u Europi i svijetu u usporedbi s Hrvatskom uvijek korak ispred.

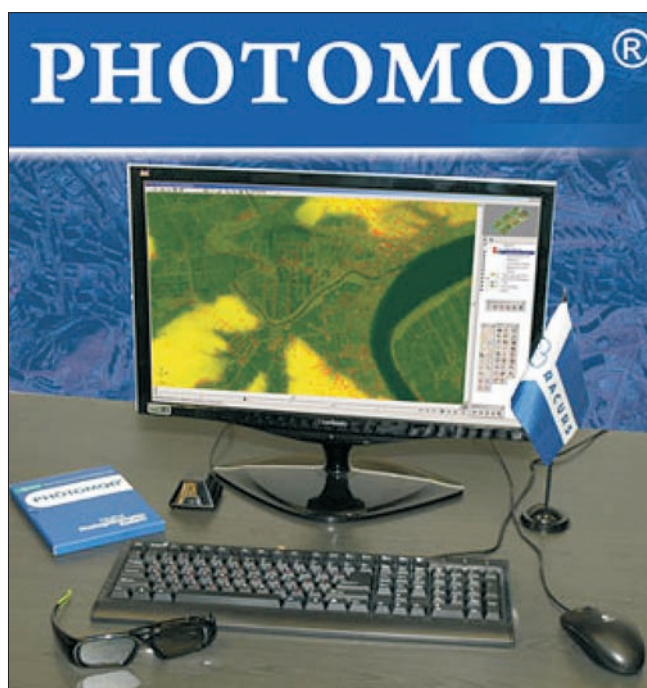
Razvoj računalne tehnologije 80-tih i 90-tih godina prošloga stoljeća utjecao je i na snažan razvoj metoda i tehnika daljinskih istraživanja. Od tada je u svakom području šumarstva proveden velik broj istraživanja na materijalima (snimkama) prikupljenim optičkim, radarskim ili laserskim senzorima sa zrakoplovnih ili svemirskih letjelica.

Budući je nemoguće prikazati sva istraživanja provedena u Europi i svijetu koja bi bila bitna za ovaj rad, prikazat će se samo dio istraživanja provedenih iz područja najnovije razvojne faze fotogrametrije – digitalne fotogrametrije. Osnovna razlika u odnosu na ostale razvojne faze fotogrametrije (analogne i analitičke fotogrametrije) je u primjeni digitalnih snimaka te digitalnih fotogrametrijskih stanica (DFS) (slika 2) čime je niz fotogrametrijskih postupaka manje ili više automatiziran, a dobivanje fotogrametrijskih proizvoda znatno olakšano i ubrzano (Walker 1999, Schenk 2005, Linder 2009).

Na temelju pregleda strane literature, istraživanja mogućnosti primjene digitalne fotogrametrije na radovima uređivanja šuma (izlučivanja sastojina i procjene sastojinskih parametara) primjenom digitalnih aerosnimaka mogu se podijeliti na:

- metode manualne fotogrametrijske izmjere i vizualne interpretacije digitalnih aerosnimaka (Magnusson i dr. 2007),
- automatizirane i automatske metode fotogrametrijske izmjere i interpretacije digitalnih aerosnimaka (Anttila 2002, Næsset 2002, Korpela i Anttila 2004, Leckie i dr. 2005, Zagalikis i dr. 2005, Ke i Quackenbush 2009).

Ovdje je nabrojan samo mali, neznatni dio radova, ali je vidljivo da je broj provedenih istraživanja automatiziranih



Slika 2. Digitalna fotogrametrijska stanica Photomod  
Figure 2 Digital photogrammetric workstation  
(izvor – source Racurs 2011)

ranim ili automatskim metodama značajno veći od broja provedenih istraživanja manualnim metodama. Štoviše, dodavanjem ostalih proučenih znanstvenih radova taj bi se omjer povećavao u korist automatskih i automatiziranih metoda.

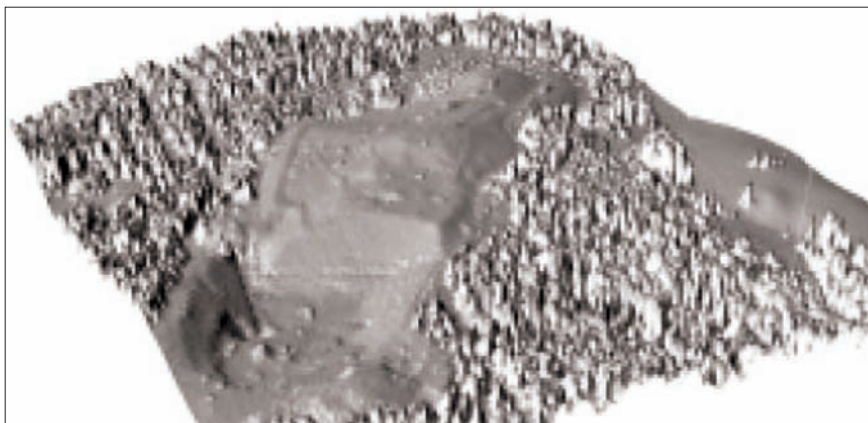
Jedan od razloga takvoga odnosa nalazi se u primjeni manualnih metoda koje zahtijevaju znatno veći trud interpretatora, dok kod automatskih metoda najveći dio posla obavlja računalo. Primjenom automatskih metoda nastoji se ukloniti i utjecaj subjektivnosti interpretatora.

Nadalje, za pretpostaviti je i da su primijenjeni fotogrametrijski softveri bili u manjoj mjeri prilagođeni korisniku u usporedbi sa softverima i DFS koji su danas na raspolaganju. Unatoč određenim prednostima automatizirane i automatske metode, još uvijek ne mogu dostići manualne metode u pogledu točnosti dobivenih rezultata (pri određivanju vrsta drveća i procjeni sastojinskih parametara u mješovitim sastojinama), pa je njihova praktična primjena još uvijek upitna. Navedeno, kao i stalan napredak i razvoj fotogrametrijskih softvera, računala i DFS dovoljni su razlozi za nova istraživanja primjene kako automatskih, tako i manualnih metoda digitalne fotogrametrije u praktičnome šumarstvu.

Potrebno je napomenuti da su ovdje nabrojana samo određena istraživanja primjene metoda digitalne fotogrametrije na aerosnimcima pri procjeni sastojinskih parametara (uređajna inventura šuma), te da je primjena metoda istraživanja i u drugim tipovima inventura šuma (inventarizacija oštećenosti, nacionalna inventura šuma). Također, osim na aerosnimcima metode digitalne fotogrametrije provode se i na satelitskim snimkama, posebice danas kada su se satelitske snimke svojom prostornom rezolucijom približile aerosnimcima, a današnja računala i DFS omogućuju njihovo procesiranje i korištenje.

Jedno od područja daljinskih istraživanja koje u posljednjih 15-tak godina zauzima velik interes istraživača u Europi i svijetu, su istraživanja mogućnosti primjene LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) tehnologije laserskog skeniranja u šumarstvu (slika 3). Općenito, LiDAR je potpuno automatizirani, aktivni, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka (Gajski 2007).

Istraživane su mogućnosti procjene sastojinskih parametara primjenom LiDAR tehnologije, ponajprije procjene visine stabala (Næsset 1997a, 1997b, 2002, 2002b, Magnussen i Boudewyn 1998, Magnussen i dr. 1999, Næsset i Bjerknes 2001, Næsset i Okland 2002, Popescu i dr. 2002, Holmgren



Slika 3. Digitalni model vegetacije kao rezultat laserskog skeniranja LiDAR sustavom  
Figure 3 Digital vegetation model as result of Laser scanning with LiDAR technology  
(izvor – source Geofoto)

2004, Næsset i Gobakken 2005, Goodwin i dr. 2006, Hollaus i dr. 2006, Maltamo i dr. 2006, Lee i Lucas 2007, Yu 2007), mogućnosti procjene broja stabala (Næsset i Bjerknes 2001), mogućnosti delinacije i izmjere dimenzija krošanja (Næsset i Okland 2002, Pouliot i dr. 2002, Popescu i dr. 2003, Andersen i dr. 2004, Goodwin i dr. 2006), mogućnosti procjene omjera smjese vrsta drveća (Donoghue i dr. 2007), mogućnosti procjene gustoće sastojina (Næsset 1997, 2001, 2002a, Næsset i

Gobakken 2005, Lee i Lucas 2007), mogućnosti procjene temeljnice (Holmgren 2004), mogućnosti procjene volumena sastojina (Næsset 1997b, 2002a, Holmgren 2004, Maltamo i dr. 2006, Hollaus i dr. 2007), mogućnosti procjena biomase i zaliha ugljika u sastojinama (Næsset 2004, Popescu 2007, Zhao i dr. 2009, García i dr. 2010), mogućnosti procjene rasta sastojina (Næsset i Gobakken 2005, Yu 2007, Woodget i dr. 2007) i dr.

### ZAKLJUČCI – *Conclusions*

Uslijed napretka tehnologije i sve većih mogućnosti primjene metoda daljinskih istraživanja, iste imaju sve veću uporabu prilikom provođenja inventura šuma. Na tom tragu, i u Hrvatskoj je proteklih tridesetak godina proveden značajan broj istraživanja o različitim mogućnostima primjene daljinskih istraživanja u inventuri šuma.

U svim dosadašnjim istraživanjima (Pernar 1994, Pernar i dr. 2007a, 2007b, 2008) metoda procjene oštećenosti šuma fotointerpretacijom na ICK aerosnimkama pokazala se ravnopravna terenskom načinu procjene rada po svojoj točnosti, a mnogo učinkovitija s obzirom na ostvarenu brzinu i objektivnost. Kroz dosadašnja istraživanja izrađena je metodologija prikladna za operativnu primjenu pri inventarizaciji oštećenosti šuma. Pri periodičkoj inventarizaciji zdravstvenog stanja šuma metodom daljinskih istraživanja omogućeno je jednostavno praćenje promjena stanja šuma između dviju inventura, uočavanje novih žarišta sušenja stabala ili drugih oštećenja, što je posebno važno u današnjim izmijenjenim i poremećenim ekološkim uvjetima. Također, Klobučar i dr. (2010) utvrdili su mogućnost korištenja digitalne analize slike u utvrđivanju oštećenosti sastojina.

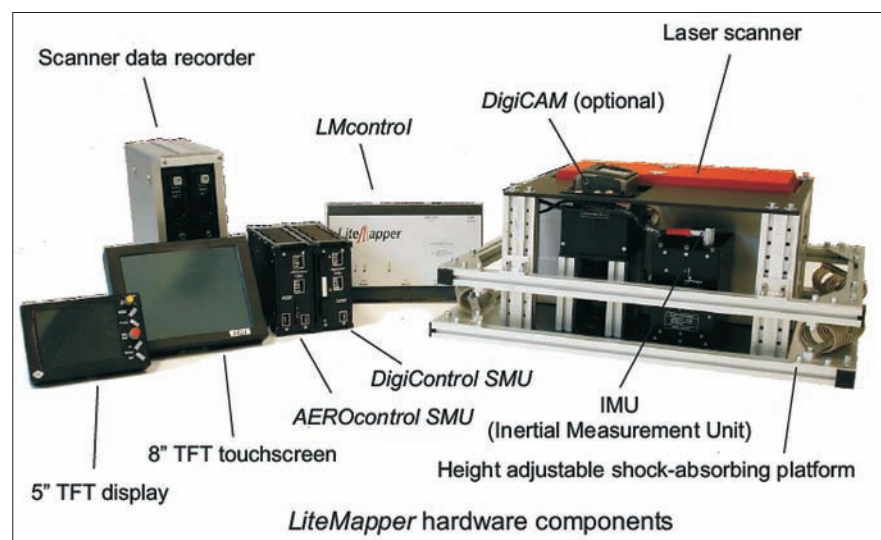
Pojedina istraživanja (Seletković i dr. 2008, Klobučar i dr. 2008) ukazala su na mogućnost operativne primjene satelitskih snimaka za potrebe šumarstva, ponajprije prilikom kartiranja zemljišta i procjene sastojinskih parametra kada se ne traži velika točnost dobivenih podataka. Upravo su prilikom provođenja Nacionalne inventure šuma Hrvatske primijenjene IRS satelitske snimke visoke prostorne rezolucije. Neprestanim razvojem tehnologije i lansiranjem novih satelita koji omogućavaju pridobivanje snimaka sve većih prostornih rezolucija proširit će se i poboljšati mogućnosti primjene satelitskih snimaka.

U uređajnoj inventuri šuma potrebni su podaci veće točnosti, stoga aerosnimke većih prostornih

rezolucija tu imaju značajniju primjenu u odnosu na satelitske snimke. Pojedina istraživanja primjene aerosnimaka pri fotogrametrijskoj izmjeri sastojina i sastojinskih veličina te izlučivanja sastojina, prikazana u ovome radu, polučila su dobre rezultate.

Unatoč tome, daljinska istraživanja nisu našla svoju širu praktičnu primjenu u uređajnoj inventuri šuma, ali ni u ostalim segmentima praktičnog šumarstva Hrvatske. Postoji niz razloga za to, a među glavnima su svakako novac (visoka cijena opreme i aerosnimaka), zahtjevan uredski rad koje zahtijevaju klasične fotogrametrijske metode, nedovoljno stručnih kadrova, ali i nepovjerenje u nove metode.

Kratki prikaz manjeg dijela trenutno aktualnih metoda i tehnologija (digitalna fotogrametrija, LiDAR) i provedenih istraživanja njihove primjene u šumarstvu u svijetu imao je za cilj, osim upoznavanja čitatelja, dati smjernice za eventualna buduća istraživanja u Hrvatskoj. U tu svrhu namjerno je prikazana LiDAR tehnologija. Naime, hrvatska tvrtka Geofoto d.o.o. svoju je modernu tehnologiju upotpunila kupnjom LiDAR Sustava – IGI LiteMapper 6800-400 (slika 4). Na taj način hrvatskim istraživačima i hrvatskom šumarstvu,



Slika 4. LiDAR Sustav – IGI LiteMapper 6800-400  
Figure 4 LiDAR system – IGI LiteMapper 6800-400

(izvor – source Geofoto)

uz digitalne aerosnimake visokih prostornih rezolucija, dostupni postaju i proizvodi nastali laserskim skeniranjem odnosno primjenom LiDAR tehnologije.

Uz aerosnimanje digitalnim aerofotogrametrijskim kamerama koje omogućuju digitalne snimke vrlo visokih prostornih rezolucija i zračno lasersko skeniranje (LiDAR) Geofoto je svoju ponudu, proširio i na nabavu i obradu satelitskih snimaka (GeoEye, IKONOS, QuickBird, WorldView 1 i 2, Cosmo-SkyMed, Landsat, ERS 1-2 SAR, ENVISAT ASTAR, ALOS, Radarsat 1 i 2) (Geofoto 2011).

Danas, kada je cijena snimaka (digitalne aerosnimke, satelitske snimke, radarske snimke, LiDAR snimke) i opreme (računala, digitalne fotogrametrijske stanice, fotogrametrijski softveri) u stalnom opadanju, a na raspolaganju su nam snimke sve većih prostornih rezolucija i mogućnosti primjene, sve je manje razloga za izbjegavanje i nekorištenje metoda daljinskih istraživanja. Stoga je, uz dosadašnje standardne načine prikupljanja podataka o šumama, nužno istražiti i mogućnost primjene novih metoda i tehnologija daljinskih istraživanja u praktičnom šumarstvu, a posebice u inventuri šuma.

#### LITERATURA – *References*

- Andersen, H.-E., R. McGaugheyb, S. Reutebuch, 2005: Estimating forest canopy fuel parameters using LiDAR data, *Remote Sensing of Environment* 94: 441–449.
- Anttila, P., 2002: Nonparametric estimation of stand volume using spectral and spatial features of aerial photographs and old inventory data. *Canadian Journal of Forest Research* 32 (10): 1849–1857.
- Balenović, I., H. Marjanović, M. Benko, 2010: Primjena aerosnimaka u uređivanju šuma u Hrvatskoj, *Šum. list*, 134 (11–12): 623–631, Zagreb.
- 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*, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 237 str., Zagreb.
- Čurić, T., 1986: Fotointerpretacijsko izlučivanje sastojina, *Diplomski rad*, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 22 str., Zagreb.
- Čavlović, J., M. Božić, 2008: Nacionalna inventura šuma u Hrvatskoj. Metode terenskog prikupljanja podataka. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 146 str., Zagreb.
- Donassy, V., M. Oluić, Z. Tomašegović, 1983: Daljinska istraživanja u geoznanostima. JAZU, 281–329, Zagreb.
- Donoghue, D., P. Watt, N. Cox, J. Wilson, 2007: Remote sensing of species mixtures in conifer plantations using LiDAR height and intensity data, *Remote Sensing of Environment* 110: 509–522.
- Gajski, D., 2007: Osnove laserskog skeniranja iz zraka, *Ekscentar*, 10: 16–22, Zagreb.
- García, M., D. Riaño, E. Chuvieco, F. Mark Danson, 2010: Estimating biomass carbon stocks for a mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data, *Remote Sensing of Environment* 114 (4): 816–830.
- Geofoto d.o.o. Zagreb, 2011: [www.geofoto.hr](http://www.geofoto.hr)
- Goodwin, N., N. Coops, D. Culvenor, 2006: Assessment of forest structure with airborne LiDAR and the effects of platform altitude, *Remote Sensing of Environment* 103: 140–152.
- Hollaus, M., W. Wagner, C. Eberhöfer, W. Karel, 2006: Accuracy of large-scale canopy heights derived from LiDAR data under operational constraints in a complex alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60: 323–338.
- Hollaus, H., W. Wagner, B. Maier, K. Schadauer, 2007: Airborne laser scanning of stem volume in a mountainous environment, *Sensors*, 7: 1559–1577.
- Holmgren, J., 2004: Prediction of tree height, basal area, and stem volume in forest stands using airborne laser scanning, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 543–553.
- Kalafadžić, Z., 1987: Primjena infracrvenih kolornih aerosnimaka u šumarstvu, *Šum. list* 111 (1–2): 61–67, Zagreb.
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, 1990: Definiranje stupnja oštećenosti šumskog drveća i sastojina, *Šum. list*, 114 (11–12): 517–525, Zagreb.
- Kalafadžić, Z., Kušan, V. 1991. Visoka tehnologija u inventuri šuma. *Šum. list*, 115(11–12): 509–520, Zagreb.
- Ke, Y., L. J. Quackenbush, 2009: Individual tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery using active contour and hill-climbing methods. U: *Proceedings of 2009 ASPRS Annual Conference*, 9–13 March 2009, Baltimore, Maryland. 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, S. Lončarić, M. Subašić, 2008: Artificial neural networks in the assessment of the stand parameters from the IKONOS satellite image, *Croat. j. for. eng.*, 29 (2): 201–211, Zagreb.
- Klobučar, D., R. Pernar, 2009: Umjetne neuronske mreže u procjeni sastojinskih obrasta s cikličkih snimaka, *Šum. list*, 133 (3–4): 145–155, Zagreb.
- Klobučar, D., R. Pernar, S. Lončarić, M. Subašić, A. Seletković, M. Ančić, 2010: Detecting forest damage in CIR aerial photographs using a neural network, *Croat. j. for. eng.*, 31 (2): 157–163, Zagreb.
- Korpela, I., Anttila, P., 2004: Appraisal of the mean height of trees by means of image matching of digitised aerial photographs, *Photogrammetric Journal of Finland* 19 (1): 23–36.
- Kostijal, V., 1986: Korelacijski odnos uočljivog broja krošnji u stereomodelima jednodobnih šuma bukve s prsnim promjerom centralnog plošnog stabla, *Magisterij, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu*, 56 str., Zagreb.
- Kovač, G., 2001: Primjena regresijskih modela za procjenu sastojinskih veličina na satelitskim snimkama, *Specijalistički rad, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu*, 67 str., 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., V. Krejčić, 1993: Regresijski model za procjenu volumena sastojina hrasta lužnjaka, *Rad. Šumar. inst. Jastrebar.*, 28 (1–2): 69–77, Jastrebarsko.
- Kušan, V., R. Pernar, 2001: Primjena satelitskih snimaka za procjenu stanja sastojina. *Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju Hrvatskim šumama"*, 429–434, Zagreb.
- Leckie, D. G., F. A. Gougeon, S. Tinis, T. Nelson, C. N. Burnet, D. Paradine, 2005: Automated tree recognition in old growth conifer stands with high resolution digital imagery, *Remote Sensing of Environment*, 94 (3): 311–326.
- Lee, A., R. Lucas, 2007: A LiDAR-derived canopy density model for tree stem and crown mapping in Australian forests, *Remote Sensing of Environment* 111: 493–518.
- Linder, W., 2009: *Digital photogrammetry – A practical course*, Springer, 220 str., Berlin.
- 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.
- Magnussen, S., P. Boudewyn, 1998: Derivations of stand heights from airborne laser scanner data with canopy-based quantile estimators, *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 1016–1031.
- Magnussen, S., P. Eggermont, V. N. LaRiccia, 1999: Recovering tree heights from airborne laser scanner data, *Forest Science*, 45: 407–422.
- 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).
- Maltamo, M., K. Eerikäinen, P. Packalén, J. Hyypä, 2006: Estimation of stem volume using laser scanning-based canopy height metrics, *Forestry* 79 (2): 217–229.
- Murtha, P. H., 1972: *A guide to Air – Photo Interpretation of Forest Damage in Canada*. Can. For. Serv. Publ, 1292.
- Næsset, E., 1997a: Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 52: 49–56.
- Næsset, E., 1997b: Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data, *Remote Sensing of Environment*, 61: 246–253.
- Næsset, E., 2002a: Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data, *Remote Sensing of Environment*, 80: 88–99.
- Næsset, E., 2002b: Determination of mean tree height of forest stands by means of digital photogrammetry, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17, 446–459.
- Næsset, E., 2004: Estimation of above- and below-ground biomass in boreal forest ecosystems. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI (8/W2): 145–148, Freiburg.
- Næsset, E., Skramo, G., Tomter, S. M. 1992: Norske erfaringer med bruk av flybilder ved skogregistrering. U: Næsset, E. (ed.). *Skogregistrering og skogbruksplanlegging*. Aktuelt fra Skogforsk 13–1992: 3–12.
- Næsset, E., K.-O. Bjerknes, 2001: Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data, *Remote Sensing of Environment*, 78, 328–340.
- Næsset, E., T. Økland, 2002: Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve, *Remote Sensing of Environment*, 79:105–115.
- Næsset, E., T. Gobakken, 2005: Estimating forest growth using canopy metrics derived from air-



- borne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 96 (3–4): 453–465.
- Pavičić, D., 1983: Pouzdanost fotointerpretacijskog određivanja horizontalnog sklopa u sastojinama, Diplomski rad, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 54 str., Zagreb.
- Pejnović, T., 2000: Usporedba digitalne i vizualne interpretacije satelitske snimke za potrebe inventure šuma, Specijalistički rad, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 77 str., Zagreb.
- Pernar, R., 1994: Način i pouzdanost određivanja oštećenosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama. *Glas. šum. pokuse*, 31, str. 1–34, 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. Šelendić, 2006: Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma, *Glas. šum. pokuse*, pos. izd. 5: 467–477, Zagreb.
- Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, 2007a: Utvrđivanje oštećenosti šuma Spačvanskog bazena primjenom infracrvenih kolornih aerosnimaka. *Šum. list*, 7–8: 315–322, Zagreb.
- Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, 2007b: Primjena ICK aerosnimaka za utvrđivanje oštećenosti šuma na području UŠP Gospić. *Šum. list*, 11–12: 507–521, Zagreb.
- Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, M. Ve driš, K. Teslak, 2008: Assessing the health status of beech-fir forests using remote sensing methods. *Periodicum biologorum*, 110 (2): 157–161, Zagreb.
- Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, J. Sučić, 2011: Značajke prostorne distribucije sušaca u bukovo-jelovoj šumi (*Features of Spatial Snag Distribution in a Beech-Fir Forest*). *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(1): 313–327.
- Popescu, S., 2007: Estimating biomass of individual pine trees using airborne LiDAR. *Biomass and Bioenergy* 31: 646–655.
- Popescu, S., R. Wynne, R. Nelson, 2002: Estimating plot-level tree heights with LiDAR: local filtering with a canopy-height based variable window size, *Computers and Electronics in Agriculture* 31:71–95.
- Popescu, S., R. Wynne, R. Nelson, 2003: Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29 (5): 564–577.
- Pouliot, D. A., D. J. King, F. W. Bell, D. G. Pitt, 2002: Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration, *Remote Sensing of Environment*, 82:105–115.
- Pranjić, A., N. Lukić, 1997: Izmjera šuma. Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 405 str., Zagreb.
- Racurs, 2011: [http://www.racurs.ru/www\\_download/Profile/catalogue\\_e.pdf](http://www.racurs.ru/www_download/Profile/catalogue_e.pdf)
- Schenk, T., 2005: Introduction to photogrammetry, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, 95, Columbus.
- [http://gscphoto.ceegs.ohio-state.edu/courses/Geod-Sci410/docs/GS410\\_02.pdf](http://gscphoto.ceegs.ohio-state.edu/courses/Geod-Sci410/docs/GS410_02.pdf)
- Seletković, A., R. Pernar, M. Benko, 2006: Višefazni uzorak u inventarizaciji šumskog prostora, *Rad. Šumar. inst. Jastrebar.*, izv. izd. 9: 297–306, Jastrebarsko.
- Seletković, A., R. Pernar, A. Jazbec, M. Ančić, 2008: Točnost klasifikacije satelitske snimke visoke prostorne rezolucije IKONOS za potrebe šumarstva. *Šum. list*, 132 (9–10): 393–404, Zagreb.
- Seletković, A., R. Pernar, M. Ančić, J. Sučić, 2011: Procjena strukturnih elemenata sastojine na temelju vrijednosti spektralnoga odbijanja satelitskoga snimka IKONOS (*Assessment of Stand Structural Elements on the Basis of Spectral Reflectance Values of an IKONOS Satellite Image*). *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(1): 329–343.
- 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 dl,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.

- Van Laar, A., A. Akça, 2007: Forest mensuration, Springer, 376 str., Dordrecht.
- Vukelić, J., 1984: Doprinosi fotointerpretacijske analize vegetaciji istraživanih šumskih zajednica Nacionalnog parka Risnjak, Magisterij, 81, Šumarski fakultet Zagreb.
- Walker, A. S. 1999: Response to users: the continuing evolution of commercial digital photogrammetry, Photogrammetric Record, 16 (93): 469–483, London.
- Weng, Q., 2010: Remote sensing and GIS integration. The McGraw-Hill Companies, 433 str., New York.
- Woodget A. S., D. Donoghue, P. Carbonneau, 2007: An assessment of airborne lidar for forest growth studies, Ekscentar, 10: 47–52.
- Yu, X., 2007: Methods and techniques for forest change detection and growth estimation using airborne laser scanning data, Disertacija, Helsinki University of Technology, 55 str.
- Zhao, K., S. Popescu, R. Nelson, 2009: LiDAR remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers, Remote Sensing of Environment 113 (1): 182–196.

*SUMMARY: Making correct decision in forest management is based on the quality of the collected information. Collection information from forests is the main task of the forest inventory. Due to the rapid development of technology, in the second half of the 20<sup>th</sup> century, there have been major changes in the way of data collection, particularly in developed countries. In addition to conventional terrestrial methods of data collection, data on forests is increasingly being collected with remote sensing methods. Using remote sensing methods leads to reducing the scope of the fieldwork, and opens the possibility of saving time and money.*

*In this paper was given the review of previous research and results of application of remote sensing methods in Croatian forest inventory.*

*Previous researches presented in this paper will give insight into the current status and role of remote sensing in Croatian forest inventory, and along with some new findings may serve as guidelines for future research and application of new methods of remote sensing in forest inventory.*

*Various researches about applicability of remote sensing methods in forest inventory operations, primarily on aerial photographs and more recently on satellite images, were conducted in Croatia in the last 30 and more years.*

*In all previous studies of forest damage assessments with photointerpretation on CIR aerial photographs it was proved that this method is to be equally in comparison with terrestrial methods regarding to accuracy, and much more efficient regarding to achieved speed and objectivity. Methodology suitable for operational use in inventory of forest damage was made. Periodic inventories of forest health with using remote sensing methods enable easy monitoring of changes of forest between two inventories, identification of new foci of dying trees or other damage, which is especially important in today's changed and altered environmental conditions.*

*Forest management inventory requires information of greater accuracy. Therefore, aerial photographs of higher spatial resolution have more important applications in relation to satellite imagery in forest management inventory. Some researches of using aerial photographs for photogrammetric measurements of stands parameters shown in this paper gave good results.*

*Despite the above, the application of remote sensing methods in practical forest inventory has not been sufficiently utilized. Development of digital photogrammetry and 'new' remote sensing methods and systems such as lidar, and improving existing ones, increasing the possibilities and scope of remote sensing methods. Therefore is necessary to continuously monitor the latest developments and explore new additional possibility of their application in forest inventory.*

*Key words: remote sensing, forest inventory, aerial photographs, satellite imagery, digital photogrammetry, LiDAR*