

PRISTUP DALJINSKIM ISTRAŽIVANJIMA I GIS-u U HRVATSKOME ŠUMARSTVU

THE APPROACH TO REMOTE SENSING AND GIS IN CROATIAN FORESTRY

Vladimir KUŠAN*

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati rada na istraživanju primjene daljinskih istraživanja i geografskih informacijskih sustava u Hrvatskoj, tijekom zadnjih dvadesetak godina. U tom razdoblju postignuti su zadovoljavajući rezultati u istraživanju mogućnosti primjene i izrađene su metodologije za primjenu daljinskih istraživanja i GIS-a u mnogim dijelovima šumarstva (inventura šuma, planiranje, zaštita šuma, ekologija i dr.). Usprkos tome, operativna primjena tih metoda nije značajnije zastupljena u praksi.

Razvijena metodologija i prijedlozi za primjenu daljinskih istraživanja i GIS-a u šumarstvu, prikazani su na primjeru NPŠO Opeke. Opisana je struktura i model baze podataka izrađene pomoću programskog paketa ARC/INFO za primjenu u uređivanju šuma i planiranju uz korištenje modela za procjenu sortimenata. Opisane su izrađene jednadžbe za procjenu sastojinskih veličina (starost, volumen, broj stabala i dr.), na temelju izmjere na aerosnimkama.

Opisani su i planovi za buduća istraživanja na tom području.

Ključne riječi: daljinska istraživanja, aerosnimke, GIS, inventura šuma, Hrvatska.

UVOD - Introduction

Početak proučavanja primjene daljinskih istraživanja u šumarstvu Hrvatske može se vezati uz početak djelovanja prof. dr. Zdenka Tomašegovića. Njegov je pionirski rad započeo početkom pedesetih godina istraživanjem primjene aerosnimaka metodama fotogrametrije i fotointerpretacije u šumarstvu. S područja fotogrametrije istraživao je izradu i korištenje fotoplanova u šumarstvu (Tomašegović 1956), procjenu površina na aerosnimkama (Tomašegović 1961a), izradu i korištenje ortofotosnimaka (Tomašegović 1987) i dr. U primjeni fotointerpretacije istraživao je mogućnost procjene sastojinskih veličina pomoću aerosnimaka (Tomašegović 1954), odnos između prsnog promjera, visine stabla i širine krošnje (Tomašegović 1961b) i dr.

Tijekom osamdesetih i početkom devedesetih godina napisani su mnogi radovi s ciljem upoznavanja šumarskih

inženjera u praksi s mogućnostima primjene, točnosti i učinkovitosti daljinskih istraživanja i GIS-a (Kalaždžić 1984, Kalaždžić 1987, Kušan i dr. 1992a, Kalaždžić i Kušan 1993). U tom razdoblju izrađeno je nekoliko projekata za procjenu oštećenosti šuma pomoću infracrvenih kolornih aerosnimaka (ICK). Osim toga, istraživani su odnosi između sastojinskih veličina i veličina mjerljivih na aerosnimkama i započela su istraživanja primjene GIS tehnologije u šumarstvu.

Danas se djelatnosti vezane uz daljinska istraživanja u šumarstvu zasnivaju najviše na znanstveno-nastavanom radu, a obavljaju se pri Katedri za geodeziju Šumarskog fakulteta u Zagrebu. Znanstvenoistraživački rad se obavlja i u Šumarskom institutu Jastrebarsko. Praktična uporaba aerosnimaka ograničena je na korištenje aerosnimaka za snalaženje na terenu pri provođenju inventure šuma.

* Mr. sc. Vladimir Kušan, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

U ovome radu bit će opisana istraživanja i rezultati, procjene oštećenosti šuma pomoću ICK aerosnimaka, procjene sastojinskih veličina sastojina i primjena GIS

tehnologije u posljednjih desetak godina. Ta su istraživanja financirana od J.P. "Hrvatske šume", koje u Hrvatskoj gospodari državnim šumama.

2. PROCJENA OŠTEĆENOSTI ŠUMA - Assessment of forest decline

ICK aerosnimke se za procjenu oštećenosti šuma primjenjuju u Hrvatskoj od 1988. godine. U svim projektima koji su od tada provedeni upotrebljavao se film Kodak Aerochrome Infrared 2443 i kamera Zeiss LMK 305/23. Snimanja su obavljena u (1) šumama bukve i jele jugozapadne Hrvatske (Gorski kotar) i (2) nizinskim lužnjakovim šumama Posavine. Pomoću tih snimaka provedene su inventure oštećenosti šuma snimljenih područja, ali i istraživanja načina i pouzdanosti fotointerpretacije (Kalafadžić i dr. 1993a).

2.1 Inventure u jugozapadnoj Hrvatskoj - Inventories in southwest Croatia

Snimanja na ovom području obavljena su iz dva razloga: (1) za inventuru oštećenosti šuma jele i bukve Gorskoga kotara na ploštini od oko 240.000 ha, i (2) za kartiranje oštećenosti šuma u područjima od osobitog interesa kao što su: nacionalni park Risnjak i gospodarske jedinice Brloško i Bitoraj.

2.1.1 Inventura cijelog područja - Inventory of the whole area

Cijelo je područje bukovo - jelovih šuma Gorskoga kotara snimljeno u prugama s razmakom od 8 km. Pruge su snimljene u smjeru sjever - jug i poklapale su se s punim koordinatama Gauss-Kruegerove mreže na kojima je provedena terenska inventura oštećenosti šuma 1987. godine. Dužina pruga iznosila je 296 km a snimkama je bila pokrivena ploština od oko 40.000 ha. Snimanje je obavljeno od 1. do 10. kolovoza 1988. godine u prosječnom mjerilu od 1 : 5900.

Za provođenje inventure izrađen je fotointerpretacijski ključ za glavne vrste drveća: jelu (*Abies alba* Mill.), smreku (*Picea excelsa* L.) i bukvu (*Fagus sylvatica* L.). Ključ je izrađen na temelju iskustava iz srednje Europe (L o e f f l e r i dr. 1984), a sastoji se od: (1) tablice s opisima morfoloških značajki zdravih i oštećenih stabala na terenu i promjena u boji, obliku i strukturi krošnje na ICK aerosnimkama, (2) crno bijelih crteža stabala različitih stupnjeva oštećenosti na snimkama i na terenu i (3) slika u boji oštećenih krošanja na terenu i na snimkama.

Inventura je provedena na temelju višestupanjskog klasterskog uzorka (K a l a f a d ž i ć i dr. 1994). Raspored klastera i primjernih ploha konstruiran je na preciznoj topografskoj karti 1 : 5.000 (ODK). Središta primjernih ploha prenešena su sa ODK na aerosnimke po-

moću metode radijalnih presjecanja (K u š a n 1991). Kako je za provođenje presjecanja potrebno poznavati položaje glavnih točaka snimaka na karti, one su sa snimaka na kartu prenešene pomoću radijalne triangulacije. Na svakoj primjernoj plohi interpretirano je 20 stabala najbližih središtu plohe. Procjenjivana je vrsta drveća i stupanj oštećenosti. Osim toga, na svakoj plohi su interpretirana neka sastojinska (sklop, struktura) i stojbinska obilježja (izloženost, nagib terena). Interpretacija je provedena pomoću zrcalnog stereoskopa s povećanjem od 8x. Na temelju interpretacije izrađena je znanstvena studija, a rezultati su objavljeni i u nekoliko radova (K a l a f a d ž i ć i dr. 1992, K a l a f a d ž i ć i dr. 1993a).

2.1.2. Kartiranje oštećenosti šuma - Mapping forest damage status

Osobito zanimljiva područja kao što su nacionalni park Risnjak i gospodarske jedinice Brloško i Bitoraj, snimljene su u cijelosti u mjerilu 1 : 5.800. Za interpretaciju su korišteni isti fotointerpretacijski ključevi kao i u predhodno opisanom zadatku. Kako je cilj bio kartiranje sastojina prema oštećenosti, cijela površina svake gospodarske jedinice je podjeljena na stratume (homogene cjeline) prema obilježjima sastojina kao što su: vrsta drveća, stupanj oštećenosti, uzrast, sklop. U svakom izlučenom stratumu interpretiran je određeni broj stabala (30 - 60) proporcionalan veličini stratuma i jednolično raspoređen. Interpretirani su vrsta drveća i stupanj oštećenosti. Srednja oštećenost (SO) je za svaki stratum izračunata pomoću formule:

$$SO = (\sum f_i \cdot x_i) / S f_i$$

gdje je:

f_i = broj krošanja u i-tom stupnju oštećenosti,

x_i = sredina i-tog stupnja oštećenosti ($x_0 = 5\%$, $x_1 = 17,5\%$, $x_{2,1} = 32,5\%$, $x_{2,2} = 50\%$, $x_3 = 80\%$, $x_4 = 100\%$).

Stratumi su razvrstani u stupnjeve oštećenosti širine 20 %. Tako dobivena područja različitih stupnjeva oštećenosti kartirana su na ODK pomoću grafičkih metoda. Fotografskim smanjenjem izrađena je karta oštećenosti za svako istraživano područje u mjerilu 1 : 10.000.

2.2 Inventure u nizinskim šumama Posavine - Inventories in lowland forests in the Sava valley

U nizinskim šumama Posavine snimljena su 20. srpnja 1989. godine dva područja: (1) pokraj Vinkovaca

- šuma Spačva i (2) pokraj Lipovljana - gospodarska jedinica Josip Kozarac i NPŠO Opeke.

Ova su snimanja obavljena za potrebe istraživanja:

- odnosa između oštećenosti šuma i onih sastojinskih i stanišnih obilježja koja se mogu prepoznavati i procjenjivati na aerosnimkama,

- mogućnosti za uvođenje i poboljšanje metodologije za primjenu fotogrametrije i fotointerpretacije u šumarstvu.

2.2.1 Šumski bazen Spačva - Forest region Spačva

Šumski bazen Spačva je područje od oko 40.000 ha nizinskih šuma u istočnoj Hrvatskoj. To su najvrednije šume hrasta lužnjaka koje su okružene poljoprivrednim površinama. U tom području snimljene su tri pruge (50 km duge) u prosječnom mjerilu 1 : 6.100.

Prije inventure oštećenosti sastojina, provedeno je nekoliko istraživanja. Kao prvo, izrađeni su fotointerpretacijski ključevi za hrast lužnjak - *Quercus pedunculata* Erh. (P e r n a r 1993) i poljski jasen (*Fraxinus angustifolia ssp. panonica* Soo & Simon) prema metodologiji opisanoj u 2.1.1. Istražen je odnos između stupnja oštećenosti stabala hrasta i boje preslikavanja istih na ICK aerosnimkama. Sastavnice boja preslikavanja određene su pomoću atlasa boja (K u e p p e r s 1978). Istraživanje je pokazalo da su korelacije između pojedine sastavnice boje i stupnja oštećenosti stabla vrlo čvrste i mogu se izraziti jednadžbama:

$$SO = 71,331 - 0,642 M \quad (r = -0,992),$$

$$SO = 7,133 - 0,274 C \quad (r = 0,928),$$

$$SO = 75,947 - 0,182 Y \quad (r = -0,957),$$

gdje je: M - magenta, C - cian i Y - žuta sastavnica boje stabla na aerosnimkama.

Odnos između stupnja oštećenosti stabla određenog na ICK aerosnimkama i njegovog radijalnog prirasta u godini snimanja, istraživan je na 267 stabala hrasta lužnjaka. Rezultati istraživanja pokazali su da je korelacija vrlo čvrsta ($r = 0,943$) i da se može izraziti linearnom jednadžbom:

$$i_r = 2,1885 - 0,0275 SO$$

gdje je:

i_r - radijalni prirast u godini aerosnimanja (mm) i

SO = postotak oštećenosti krošnje procijenjen na aerosnimkama (%).

Istraživana je i pouzdanost fotointerpretacije za procjenu oštećenosti stabala. To je istraživanje provedeno

na 326 stabala (hrasta, jasena i graba) na 14 primjernih ploha na kojima je oštećenost stabala procjenjivana na ICK aerosnimkama i na terenu. Rezultati su pokazali da je korelacija između postotka oštećenosti stabla procijenjenog na terenu (SO_t) u postotka oštećenosti procijenjenog na aerosnimkama (SO_p) vrlo čvrsta ($r = 0,948$) i da se može izraziti linearnom jednadžbom:

$$SO_p = 9,150 + 0,629 SO_t .$$

Nakon tih istraživanja, na aerosnimkama je snimljena površina podijeljena na homogene stratume prema stupnju oštećenosti, vrsti drveća i sastojinskim veličinama. U svakom stratumu interpretiran je stupanj oštećenosti i vrsta drveća na određenom broju stabala. Broj interpretiranih stabala bio je proporcionalan veličini stratuma i jednoliko raspoređen po njegovoj površini. Stratumi su razvrstani u stupnjeve oštećenosti na temelju izračunate srednje oštećenosti (SO), a potom kartirani u gospodarsku kartu u mjerilu 1 : 10.000.

Na tako dobivenim podacima provedeno je istraživanje odnosa između stupnja oštećenosti sastojina i nekih sastojinskih (starost, sklop, smjesa, struktura) i stanišnih (biljna zajednica, sukcesija vegetacije) obilježja. Osim toga istraživan je i odnos oštećenosti sastojina i nekih biotskih (napad pepelnice) i abiotskih (čovječjih) utjecaja (javne ceste, duboki kanali, isušene bare) na sastojine i stanište (K a l a f d ž i ć i dr. 1993b).

2.2.2 Gospodarska jedinica Josip Kozarac i NPŠO Opeke - Management unit Josip Kozarac and ERF Opeke

U ovom području snimljene su tri pruge (20 km dugačke) u gospodarskoj jedinici Josip Kozarac i dvije pruge u NPŠO Opeke. Fotointerpretacija je obavljena na isti način kako je to opisano u prethodnom poglavlju. Granice izlučenih stratuma su nakon interpretacije digitalizirane. Pomoću programskog paketa ARC/INFO digitalizirane granice su proporcionalnom transformacijom prevedene u kartografski oblik i uklopljene u ODK 1 : 5.000. Tako pripremljeni podaci su zajedno s podacima interpretacije organizirani u GIS model (K u š a n i dr. 1992). U godini aerosnimanja na ovom području bio je jaki napad jasenove pipe (*Stereonychus fraxini* Deger.), pa je defolijacija na krošnjama poljskog jasena bila djelomična do potpuna. Stoga je provedeno istraživanje mogućnosti utvrđivanja defolijacije krošnja. Izrađen je ključ za fotointerpretaciju različitih stupnjeva defolijacije krošnje poljskog jasena i testirana je metodologija za procjenu defolijacije (F l i s z a r 1990) koja je pokazala izvrsne rezultate.

3. PROCJENA SASTOJINSKIH VELIČINA - Stand parameters assessment

Nedostatak fotogrametrijskih tablica, regresijskih modela i testiranih primjera je jedan od razloga nepri-
mjerenosti aerostimaka u šumarstvu Hrvatske. Stoga je u posljednjih desetak godina provedeno više istraživanja kako bi se to stanje poboljšalo. Ta istraživanja se mogu podijeliti na dvije grupe ovisno o njihovom cilju: (1) istraživanja pouzdanosti i točnosti procjene sastojinskih veličina i (2) istraživanja odnosa između sastojinskih veličina i veličina mjerljivih na aerostimkama.

3.1 Istraživanje pouzdanosti procjene - Investigation so fassessment reliability

U jednom od prvih istraživanja te vrste Pavičić (1983) je dokazao da je primjena mreže točaka na aerostimkama dovoljno dobra i ekonomična metoda za procjenu sklopa.

Kostija l je 1986. procjenjivao u bukovim šumama broj krošanja na aerostimkama s odstupanjima između 5 i 38% u odnosu na broj stabala po ha utvrđen na terenu. Te razlike su u čvrstoj korelaciji sa promjerom središnjeg plošnog stabla ($r = -0,902$).

Benko je 1990. izmjerio 30 primjernih ploha u terenu i na ICK aerostimkama mjerila 1 : 10.000. Mjerenja na aerostimkama su obavljena pomoću stereo instrumenta Wild A7. Mjereni su i uspoređivani promjeri krošanja i visine stabala jasena, bagrema i johe. Mjerenja promjera krošanja pokazala su da postoji značajna razlika između mjerenja na aerostimkama i mjerenja u terenu za sve tri vrste. Promjer krošnje crne johe mjereno na aerostimkama prosječno je iznosio 0,60 promjera mjenog u terenu. Odnos za poljski jasen bio je 0,66 a za bagrem 0,62. Pri mjerenju visina, kod sve tri vrste pokazalo se da ne postoji razlika između visina dominantnih stabala mjenih na aerostimkama i u terenu. Odstupanja i njihove standardne devijacije prikazane su u tablici 1.

Odstupanja između visina dominantnih stabala mjenih na aerostimkama i u terenu sa standardnim pogreškama fotogrametrijskih mjerenja.

The differences between mean heights of dominant trees measured on APs and in situ with standard errors of photogrammetric measurements.

Tab. 1.

Vrsta - Species	Odstupanje Difference %	Standardna pogreška - Standard error
crna joha - black alder	-0,8	0,12 m
poljski jasen - narrow-leafed ash	+2,0	0,18 m
bagrem - false acacia	-2,7	0,17 m

Usporedbu volumena sastojina jele i smreke približno jednodobne strukture mjenih u terenu i procijenjenih na aerostimkama pomoću prirasno-prihodnih tablica, načinio je Kušan 1992. Ulazni podaci za prirasno-prihodne tablice (broj stabala po ha, srednja sastojinska visina i sklop) mjenih su na aerostimkama. Koristene su Hauserove i Švicarske prirasno-prihodne tablice za jelu. Srednji volumen procijenjen pomoću Hauserovih tablica iznosio je 457 m³/ha i imao je odstupanje od -3,2%. Srednji volumen procijenjen pomoću Švicarskih prirasno-prihodnih tablica iznosio je 445 m³/ha i imao je odstupanje od -5,7%. Odstupanja su izračunata u odnosu na srednji volumen izmjen u terenu (473 m³/ha). Regresijska analiza je pokazala da se sa Švicarskim prirasno-prihodnim tablicama može postići bolja procjena volumena sastojina ($r = 0,925$) nego sa Hauserovim tablicama ($r = 0,766$).

3.2 Istraživanja odnosa - Investigations of relationships

Odnos između broja uočljivih krošanja na aerostimkama (N_f) i promjera srednjeg volumnog stabla ($d_{1,3}$) istraživao je Kostija l 1986. Istraživanjem je dokazano da je korelacija između te dvije veličine vrlo čvrsta (0,944) i da se može izraziti jednadžbom:

$$d_{1,3} = 84,494 - 0,1924 N_f + 0,0001442 N_f^2$$

Odnos između srednje sastojinske visine (h_s), broja stabala po ha (N) srednje sastojinske širine krošnje (D_s) i volumena sastojine po ha (V) istraživali su pomoću multiple korelacije Kušan i Krejčić 1993. Istraživanja su provedena na 180 primjernih ploha veličine 0,25 do 1,00 ha u sastojinama hrasta lužnjaka i običnog graba. Testirano je više (14) različitih (linearnih i nelinearnih) modela. Najbolje izjednačenje podataka ($r = 0,954$) s najmanjim koeficijentom varijacije postignuto je pomoću modela :

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

Pomoću toga se modela može pri procjeni volumena postići standardna pogreška manja od 4,5 %.

Na istom je uzorku Pilaš (1994) istraživao odnos između srednje sastojinske visine (h_s), broja stabala po ha (N), srednje sastojinske širine krošnje (D_s), srednje površine krošnje (Ac) i srednje starosti sastojine (S). Pri tome je testirano 12 linearnih i nelinearnih modela. Pokazalo se da srednja sastojinska visina ima najčvršću vezu ($r = 0,904$) sa srednjom starošću sastojine, što se može izraziti jednadžbom:

$$S = 13,728 \cdot 1,065 h_s.$$

Pomoću ovoga modela može se procjenjivati srednja starost sastojina sa zadovoljavajućom točnošću (od-

stupanje manje od 5 godina) u rasponu od 20. do 100. godine sastojine.

Odnos između volumena stabala hrasta lužnjaka i različitih veličina stabla (visina stabla, promjer krošnje, površina krošnje, dužina osvijetljenog dijela krošnje i dr.) mjerenih na aerosnimkama pomoću stereoanalitičkog instrumenta (Wild BC3) proučavao je B e n k o 1995. Multiplom regresijom izrađeno je mnoštvo linearnih modela kojih se multipli korelacijski koeficijenti kreću

od 0,514 - 0,622 sa koeficijentom determinacije između 26 i 39 %.

Opisana istraživanja pokazala su pouzdanost metoda daljinskih istraživanja pri procjeni sastojinskih veličina. Unatoč tome, ovih nekoliko istraživanja nisu dovoljna baza za uvođenje metoda daljinskih istraživanja u operativnu primjenu. Povećanjem potreba za podacima i promjenom razmišljanja o novim tehnologijama, javlja se i povećani interes za ovakvim istraživanjima.

4. GIS MODEL ZA NPŠO OPEKE - GIS model for Sducational and Research Forest Opeke

Stalno pridobivanje kvalitetnih, točnih i aktualnih podataka o svim resursima kojima se gospodari i upravlja, kojima se planira i koje se kontrolira, postalo je danas potreba. Osim toga, kako se pronalazi sve više saznanja o međudnosima između različitih resursa, potrebno je istražiti i njihov prostorni raspored. Zbog tog uloga GIS-a postaje sve značajnija pri proučavanju čovjekova okoliša. Jednako tako GIS tehnologija nudi mnoge probitke svim dijelovima šumarstva.

Opeke, nastavno-pokusni šumski objekt Šumarskog fakulteta u Zagrebu, su poslužile kao pilot objekt za istraživanje i razvoj GIS modela u šumarstvu. To je šuma od oko 500 ha koja ima sve sastavnice prosječne gospodarske jedinice u Hrvatskoj. Cilj istraživanja bio je pronaći i testirati načine i tehnike prikupljanja, uređivanja i rukovanja podacima. Osim toga nastojalo se u GIS model uklopiti nove vrste informacija i načina korištenja podataka (stupanj oštećenosti sastojina, regresijski modeli za procjenu sortimenata i dr.), kako bi se podigla razina planiranja. GIS model izrađen je pomoću Programa ARC/INFO (K u š a n i dr. 1992a).

Za izradu grafičkog dijela GIS modela digitalizirane su postojeće karte:

- topografska karta (1 : 5.000),

- gospodarska karta (1 : 10.000),
- fitocenološka karta (1 : 10.000),
- pedološka karta (1 : 10.000).

U GIS model su uklopljene i karte kojih je način izrade bio opisan u poglavlju 2.2.2 (karta oštećenosti vrsta drveća i sastojina, karta intenziteta napada jasenove pipe i dr.). Na taj način dobiven je GIS model s 12 slojeva.

Šume u Hrvatskoj podijeljene su na gospodarske jedinice, koje se zatim dijele na odjele. Odjeli se sastoje od jedne ili više sastojina za koje u osnovama gospodarenja postoji 26 opisnih ili brojčanih podataka. Opisni podaci opisuju stanje sastojine (kvalitetu, sklop, raspored stabala i dr.) i njen položaj u prostoru (nadmorska visina, nagib i dr.). Za svaku vrstu drveća koja se nalazi u sastojini postoji 11 brojčanih podataka potrebnih za normalno gospodarenje. Podaci su u GIS model unešeni u obliku *dbf* formata. U tom formatu je načinjena i baza podataka o sastojinama J.P. Hrvatske šume (HSFOND).

Za sada je izrađena aplikacija povezana s GIS modelom pomoću koje se može na temelju doznačenih stabala i podataka iz GIS modela izrađivati plan sječa (K u š a n i dr. 1992b).

5. GIS PROGRAM - GIS software

Za korištenje i pripremu podataka za ekološko modeliranje izrađen je program GRID (A n t o n i ć i dr. 1994). To je rasterski GIS program za osobna računala s nekim elementima vektorskog GIS-a (preklapanje rastera s linearnim objektima, rad sa slojnicama i sl.). Program ima i mogućnosti izrade digitalnog modela reljefa (DMR) na temelju vektorskih ili točkastih podataka. Kao algoritam za interpolaciju mreže koristi se metoda inverzne udaljenosti. Prva verzija programa izrađena je za DOS, a danas već postoji i verzija za program Windows. U program su za modeliranje ugrađene različite funkcije (aritmetičke, Booleanove, relacijske, logičke, za selektiranje, za pridruživanje i dr.). Osim toga ugra-

đene su i funkcije za rješavanje složenijih zahtjeva (trigonometrijske funkcije, visina Sunca, azimut Sunca) kao i uobičajene rasterske funkcije: "susjedne" - "neighbourhood" (uključujući i prostorno filtriranje), osnovne statističke funkcije, reklasifikacija, izrada kolor kompozita, razdvajanje boja i "površinske" funkcije (nagib, izloženost, sjenčanje, dogledanje) i dr. Pomoću ovih funkcija korisnik može provesti željeno modeliranje na temelju izrađenih svojih vlastitih "makro" programa; npr. izračunavanje dnevne količine izravne sunčeve radijacije na nekoj površini uz uvjete vedrog dana moguće je pomoću "površinskih" funkcija uz korištenje nagiba, izloženosti, nadmorske visine, visine Sunca, azi-

muta Sunca, dogledanja, regresijskog modela globalnog sunčevog zračenja i regresijskog modela raspršenog sunčevog zračenja.

Neke mogućnosti korištenja programa očituju se u: izradi i prikazivanju profila, izračunavanju površina i volumena, preklapanju različitih sadržaja (bilo kao kolor kompozita, bilo kao 3D modela s mogućnošću okretanja), čitanju i izmjeni podataka za odabrano područje, uzimanje uzoraka iz odabranog sadržaja, međuovisno pretraživanje podataka, crtanje linija i dr.

GRID podržava različite oblike podataka: raster (mreža), linije i točke. Rasterski i linijski podaci se spremaju kao binarne datoteke a točkasti podaci kao dbf datoteke. Opisni i brojčani podaci mogu se povezivati sa svim gore spomenutim oblicima podataka. Unos podataka može se ostvariti bilo pomoću interpolacije vektorskih podataka, bilo pretvorbom drugih formata rasterskih (Erdas LAN i GIS, BIL, BSQ, GIF, PCX, ASCII, NAS) i/ili vektorskih podataka (DXF, Arc/Info Generate). Ispis podataka može biti u bilo kojem gore navedenom formatu uključujući i TIFF.

6. RASPRAVA I BUDUĆI PLANOVI - Discussion and further plans

Primjeri i istraživanja ukratko opisani u ovom radu, opisuju način razmišljanja znanstvenika i stručnjaka koji se u Hrvatskoj bave daljinskim istraživanjima. Zbog nedostatka opreme i obrazovanih fotointerpretatora ta istraživanja nisu dostigla operativnu razinu u primjeni daljinskih istraživanja u šumarstvu. Zbog toga se planira nastaviti istraživanja kako bi se popunile praznine (razvili regresijski modeli) i izradila metodologija za primjenu daljinskih istraživanja koja će biti prihvatljiva u inventuri šuma Hrvatske. To je osobito značajno za područje mediteranskih i primorskih šuma, gdje ima oko 500.000 ha nekomercijalnih šuma koje do sada nisu bile inventarizirane.

Na području procjene oštećenosti šuma pomoću ICK aerosnimaka postignuti su do sada najbolji rezultati i izrađena metodologija za operativnu primjenu. Kako ne postoji dovoljno stručnjaka, fotointerpretatora, planira se istražiti mogućnost automatizacije nekih postupaka pri interpretaciji aerosnimaka za provođenje inventure

oštećenosti šuma. Pri tome će se proučavati načini digitalne obrade skeniranih ICK aerosnimaka. Osim toga planira se provesti istraživanja na izradi digitalnih ortofotosnimaka i ortofotoplanova, koji bi korištenje aerosnimaka približili šumarskim stručnjacima.

U Hrvatskoj do sada nije bilo provedeno niti jedno istraživanje primjene satelitskih snimaka u šumarstvu. Zbog toga se planira pokrenuti takva istraživanja, osobito s ciljem pronalaska algoritama i metodologije za procjenu sastojinskih veličina i kartiranje sastojina. Osobito je interesantno istražiti mogućnost primjene te tehnike na velikim površinama kao podloge za planiranje i provođenje nacionalne inventure i za praćenje stanja šuma uopće.

Dosadašnja istraživanja i postignuti rezultati pokazuju da će u tim istraživanjima GIS tehnologija imati značajnu ulogu zbog toga jer omogućava povezivanje različitih vrsta podataka u jedan sustav i njihovu sveobuhvatnu obradu.

LITERATURA - References

- Antonić, O., Belušić, R., Ananić, M. and Kušan, V., 1994: GRID 1.0: development of landscape ecology GIS functions. ITI'94, Proceedings of the 16th International Conference on Information Technology Interfaces, Pula, str. 467-470
- Benko, M., 1990: Procjena taksacijskih elemenata sastojina na infracrvenim kolornim aerosnimkama. Magistarski rad, Zagreb, 133 str.
- Benko, M., 1995: Procjena drvene zalihe sastojine multivarijantnom analizom čimbenika mjerljivih na aerosnimkama. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 237 str.
- Fliszar, I., 1990: Inventarizacija oštećenosti stabala i sastojina poljskog jasena (*Fraxinus anustifolia* Vahl.) s obzirom na intenzitet napada jasenove pipe (*Stereonychus fraxini* Deger) interpretacijom ICK aerosnimki, Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, 68 str.
- Kalafadžić, Z., 1984: Primjena daljinskih istraživanja u šumarstvu. Bilten za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, god. 8, broj 1, str. 20-23.
- Kalafadžić, Z., 1987: Primjena ICK aerosnimaka u šumarstvu. Šumarski list, god. 111, broj 1-2, str. 61-66.
- Kalafadžić, Z. i Kušan, V., 1993: Mogućnost pridobivanja informacija o šumama iz umjetnih zemljinih satelita. Šumarski list, god. 117, broj 6-8, str. 293-307.
- Kalafadžić, Z., Kušan, V., Horvatić, Z. i Pernar, R., 1992: Der Gesundheitszustand der Tanne (*Abies alba* Mill.) in Suedwestern Croatien auf Grund der Farb-Infrarot-Luftbildinterpretation. Tagungsband der VI IUFRO Tannensymposium, Zagreb, str. 219-231.
- Kalafadžić, Z., Kušan, V., Horvatić, Z. i Pernar, R., 1993a: Inventarizacije oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimki. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 4, str. 163-172.
- Kalafadžić, Z., Kušan, V., Horvatić, Z. and Pernar, R., 1993b: Oštećenost šuma i neki čimbenici okoliša u šumskom bazenu "Spačva". Šumarski list, god. 117, broj 6-8, str. 281-292.

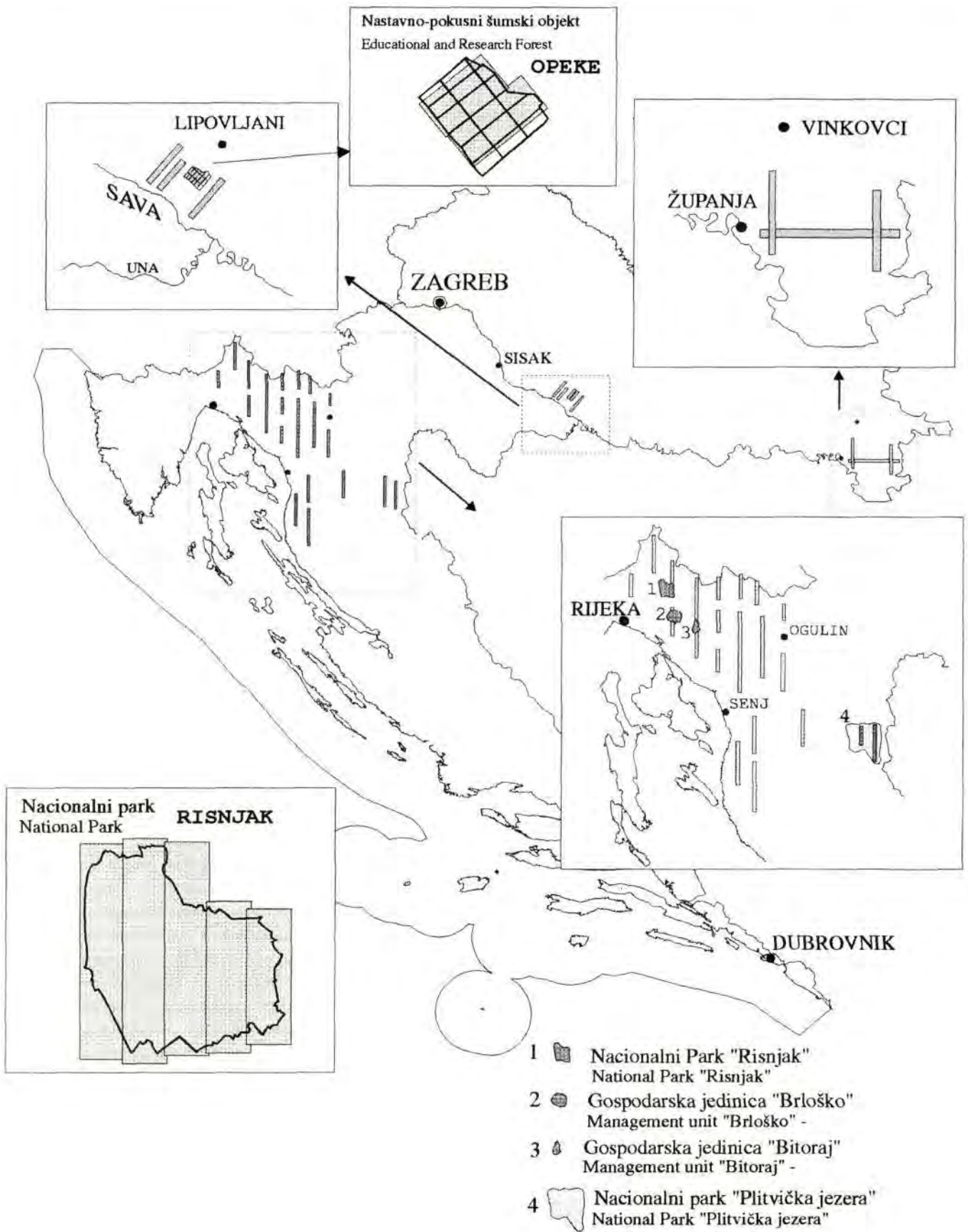
- Kalafadžić, Z., Kušan, V., Horvatić, Z. and Pernar, R., 1994: Experience in use of colour infrared (CIR) aerial imagery in forest decline assessment in the Republic of Croatia. Tagungsband, Symposium Photogrammetrie und Forst, Freiburg, str. 189-197.
- Kostijal, V., 1986: Korelacijski odnos uočljivog broja krošnji u stereomodelima jednodobnih šuma bukve s prsnim promjerom centralnog plošnog stabla. Magistarski rad, Zagreb, 56 str.
- Kueppers, H., 1978: Du Monts Farben Atlas. Du Mont Buchverlag, Koeöln, 163 str.
- Kušan, V., 1991: Mogućnost određivanja taksacijskih elemenata šumskih sastojina metodom fotointerpretacije uz pomoć prirasno-prihodnih tablica. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 77 str.
- Kušan, V., 1992: Procjena volumena sastojina četinjača fotointerpretacijom aerosnimaka uz pomoć prirasno-prihodnih tablica. Mehanizacija šumarstva, god. 17, broj 3-4, str. 53-66
- Kušan, V., Kalafadžić, Z., Belušić, R. i Ananić, M., 1992a: Primjena GIS tehnologije u šumarstvu. Proceedings of CAD FORUM '92, Zagreb, str. 125-132.
- Kušan, V., Vondra, V., Martinić, I., Ananić, M. i Belušić, R., 1992b: Linking GIS and harvest regression models for planning. Proceedings of Computer supported planning of roads and harvesting workshop, Feldafing, str. 165-173.
- Kušan, V. i Krejčić, V., 1993: Regresijski model za procjenu volumena sastojina hrasta lužnjaka (*Q. robur* L.) na aerosnimkama. Radovi, god. 28, br. 1-2, str. 69-77.
- Loeöffler, H., Hannak, C., Jaechisch, W. and Scharnagl, G., 1984: Beispiele fuer Interpretationsschleuesel zur Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern fueür die Waldschadensinventur. Allgemeine Forst Zeitschrift, broj 27, str. 1089-1092.
- Pavičić, D., 1983: Pouzdanost fotointerpretacijskog određivanja horizontalnog sklopa u sastojinama. Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, 54 str.
- Pernar, R., 1994: Način i pouzdanost određivanja oštećenosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur*, L.) na infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama. Glasnik za šumske pokuse, broj 31, str. 1-34.
- Pilaš, I., 1994: Regresijski modeli za procjenu starosti sastojina na aerosnimkama. Mehanizacija šumarstva, god. 19, broj 3, str. 181-186
- Tomasegović, Z., 1954: O pouzdanosti aerofototaksacije za neke dendrometrijske potrebe šumskog gospodarstva. Glasnik za šumske pokuse, broj 12, str. 167-220.
- Tomasegović, Z., 1956: Razmatranja o fotoplanu Turopoljskog luga. Šumarski list, god. 80, broj 5-6, str. 154-166.
- Tomasegović, Z., 1961a: Stereofotogrametrijska linearna taksacija. Šumarski list, god. 85, broj 1-2.
- Tomasegović, Z., 1961b: Ovisnost promjera d1.3 jele i smreke o krošnji i visini stabala. Šumarski list, god. 85, broj 7-8, str. 254-261.
- Tomasegović, Z., 1987: Značenje stereoortofotoplanova za šumske regije umjerenih zona (matematičko-tehnički i ekonomski aspekti). Geodetski list, god. 41, broj 4-6, str. 121-134.

SUMMARY: The last, ten-year surveys of remote sensing and GIS applications for forestry purpose in Croatia indicates a strong research effort, but very limited operational use. These efforts resulted with methodology and applications in several segments like forest inventory, planning and ecological investigations.

The examples of developed methodology and proposals for use of remote sensing and GIS in forestry have been applied to Educational and Research Forest Opeke. The structure and model of data base using ARC/INFO for forest management are examined. Several proposals for stand parameters (stand age, volume, number of trees etc.) assessment using aerial photographs for inventory and ecological purpose are described. An application example of harvest regression models are established.

The plans and ideas for future investigations and development are described.

Key words: Remote sensing, aerial photographs (APs), GIS, forest inventory, Croatia



Slika 1. Karta aerosnimanja provedenih za šumarske potrebe u Hrvatskoj od 1988. godine
Figure 1. Map of acquisition of aerial photographs performed in Croatia since 1988 for forestry purpose