

UDK 528.7:528.087:004.4:71  
Stručni članak

# Fotogrametrija, daljinska istraživanja i GIS kao nove tehnologije u prostornom planiranju i urbanizmu

Tomislav CICELI – Zagreb<sup>1</sup>, Anton PROSEN – Ljubljana<sup>2</sup>

*SAŽETAK. Izradba podloga za potrebe prostornog planiranja i urbanizma oduvijek je bila jedna od važnijih geodetskih zadaća. Razvoj novih tehnologija nameće nove načine prikupljanja, obradbe i prezentiranja relevantnih prostornih informacija. Fotogrametrija, daljinska istraživanja i GIS nameću se kao idealna sprega novih tehnologija, saznanja i alata za kvalitetniju izradbu podloga potpomognutih snažnom informatičkom podrškom. Pojava satelitskih snimaka visoke prostorne rezolucije, novih tehnika stereopromatranja te već prihvaćena GIS-a daje nove mogućnosti. U radu je opisano nekoliko postojećih, ali i mogućih primjena.*

*Ključne riječi: prostorno planiranje, urbanizam, fotogrametrija, daljinska istraživanja, GIS, stereopromatranje.*

## 1. Uvod

Iz definicije prostornog planiranja kao multidisciplinarne ili polidisciplinarne djelatnosti u kojoj sudjeluju različite struke i discipline proizlazi da svoje mjesto pronalazi i geodezija.

Prostorno planiranje i urbanizam, discipline koje se bave planiranjem i usmjerenjem prostora te njegovim gospodarenjem u svrhu najoptimalnije uporabe (Mariновиć-Uzelac 2000), vezane su i uz podloge na kojima se to planiranje obavlja.

Iako na našim prostorima još uvijek dominira primjena klasičnih zemljovida kao podloga pri planiranju, uporaba podloga nastalih kao rezultat novih tehnologija, ponajprije zračnih ili satelitskih snimanja, primjereno obrađenih i pohranjenih u

<sup>1</sup>Tomislav Ciceli, dipl. ing. geod., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: tciceli@geof.hr

<sup>2</sup>Dr. sc. Anton Prosen, Fakultet za gradevinarstvo i geodeziju, Jamova 2, SI-1001 Ljubljana, e-mail: aprosen@fagg.uni-lj.si

digitalnom obliku, te integriranih u odgovarajući Geografski informacijski sustav (GIS), sigurno će biti sve raširenija.

Preduvjeti koji su se morali ispuniti za takva razmišljanja su tu: kvalitetniji i jeftiniji hardvare, softver sa većim mogućnostima, šira pojava formata za zapis slike s podržanom geokodiranošću te informatička obrazovanost kadra.

Fotogrametrija, daljinska istraživanja i GIS tri su različite discipline koje se međusobno prepleću, te svoju primjenu već imaju u prostornom planiranju, a gotovo je sigurno da će pojavom i ispunjavanjem prethodnih uvjeta ta primjena biti još očitija.

## 2. Podloge u prostornom planiranju

Prema Pravilniku o sadržaju i mjerilima kartografskih prikaza, obveznim prostornim pokazateljima i standardu elaborata prostornih planova (NN 106/98) kartografski se prikazi izrađuju u sljedećim mjerilima:

Prostorni planovi:

- Prostorni plan županije na topografskoj karti u mjerilu 1:100 000
- Prostorni plan grada Zagreba na topografskoj karti u mjerilu 1:25 000
- Prostorni plan područja posebnih obilježja na topografskoj karti u mjerilu 1:100 000 i/ili 1:25 000 ili na osnovnoj državnoj karti u mjerilu 1:5000 i/ili 1:10 000 ovisno o vrsti obilježja i površini obuhvata plana
- Prostorni plan uređenja općine ili grada na topografskoj karti u mjerilu 1:25 000, a građevinska područja naselja utvrđuju se na katastarskom planu u mjerilu 1:5000
- Generalni urbanistički plan na osnovnoj državnoj karti u mjerilu 1:5000 i/ili 1:10 000
- Urbanistički plan uređenja na osnovnoj državnoj karti u mjerilu 1:5000 ili topografsko katastarskom planu u mjerilu 1:1000 ili 1:2000
- Detaljni plan uređenja na topografsko katastarskom planu ili katastarskom planu u mjerilu 1:1000 ili 1:500.

Međutim važno je spomenuti i odredbu iz navedenoga pravilnika: *Grafički prilozi koje sadrži grafički dio prostornog plana izrađuju se i na drugim podlogama (kartogrami, fotoplanovi, fotokarte i sl.) u mjerilu koje je primjereno sadržaju priloga. Te isto tako: Iznimno od članka 17. ovog Pravilnika kartografski prikazi mogu se izrađivati i na digitalnim ortofoto kartama, ako nije pripremljena osnovna državna karta.*

Prema Pravilniku o načinu topografske izmjere i o izradbi državnih zemljovida (NN 55/01) položajna točnost fotokarte i ortofotokarte mora zadovoljavati zahtijevanu točnost HOK-a u mjerilu 1:5000/1:10 000 i TK 25. *Položajna ili geometrijska točnost državnih zemljovida (u analognome ili digitalnome obliku), izražena srednjom pogreškom očitavanja koordinata s karte, mora biti manja od  $\pm 0,0002 \cdot u$ , gdje je "u" nazivnik mjerila zemljovida.*

Iz toga se vidi da je zakonska regulativa postavila okvire za nove oblike zemljovida, prije svega za fotogrametrijske proizvode (digitalni ortofoto, DOF), kao i za njihovu točnost.

Druge informacije koje se mogu prikupiti za potrebe prostornog planiranja te njihovo ujedinjavanje i prezentiranje korištenjem novih tehnologija nisu definirani ali prostor za njega postoji. Tu se prije svega misli na intenzivniju primjenu daljinskih istraživanja ne samo u obliku izrade klasičnih podloga, nego kao tehnologiju za prikupljanje različitih atributnih podataka važnih za planiranje kao i njihovu prezentaciju uporabom odgovarajućih GIS – programskih paketa.

### 3. Fotogrametrija

Primjena ispravljenih snimaka iz centralne u ortogonalnu projekciju, ortofota, u prostornom planiranju nije nikakva novost. Prostorni planeri odavno su uočili prednosti koje nudi takva podloga: geometrijsku točnost kao kod klasičnih zemljovida te bogatstvo sadržaja karakteristično za zračne snimke.

Kako bi digitalni ortofoto postao svakodnevna pojava na zaslonu monitora prostornih planera trebalo je zadovoljiti preduvjete (isti su morali biti zadovoljeni i za uporabu satelitskih snimaka):

- razvoj hardvera,
  - pojava procesora velikih brzina (trenutačno se na tržištu mogu naći procesori s taktom 4 GHz i više),
  - pojeftinjenje memorije (20 Gb postaje standard, 128 Mb radne memorije također),
  - pojeftinjenje monitora, pojava ravnih ekrana,
- razvoj softvera,
  - pojava formata koji podržavaju geokodiranost rasterskih datoteka (geotiff, world tiff, cot i dr.),
  - pojava novih i razvoj postojećih CAD softvera za podržavanje što većeg broja rasterskih formata te njihovom što jednostavniju manipulaciju (dodaci za Microstation za obradbu i interpretaciju rastera; Descartes, I/RAS C, dodaci za AutoCad; Cad Overlay i dr.),
- podizanje razine informatičke pismenosti prostornih planera.

Prednosti DOF-a već su odavno poznate. Pojavom digitalnih tehnologija više će još dolaziti do izražaja njegova praktičnost, čitljivost, mogućnost manipulacije, jednostavnost uporabe te oblik demokratičnosti u čitanju karata (ne treba se više biti stručnjak da bi se znao koristiti zemljovidom, svatko prepoznaje kuću, cestu, most snimljene iz zraka). Danas kada se prostorni planovi daju na uvid široj javnosti to je segment koji se ne bi smio zanemariti. DOF u kombinaciji s vektorskim prikazom gotovo je idealna kombinacija za prikaz stanja u prostoru, za njegovo praćenje i analizu.

Prema Pravilniku o mjerilima DOF u kombinaciji s vektorskim prikazom vrlo dobro bi se mogao iskoristiti za sljedeća mjerila prikaza:

- Prostorni plan uređenja općine ili grada na topografskoj karti u mjerilu 1:25 000, a građevinska područja naselja utvrđuju se na katastarskom planu u mjerilu 1:5000
- Generalni urbanistički plan na osnovnoj državnoj karti u mjerilu 1:5000 i/ili 1:10 000

ali i:

- Urbanistički plan uređenja na osnovnoj državnoj karti u mjerilu 1:5000 ili topografsko katastarskom planu u mjerilu 1:1000 ili 1:2000.

Tablica 1: *Prikaz nekih parametara vezanih za izradbu DOF-a uz pretpostavku da se radi o kameri žarišne duljine 150 mm. DTM – digitalni model terena.*

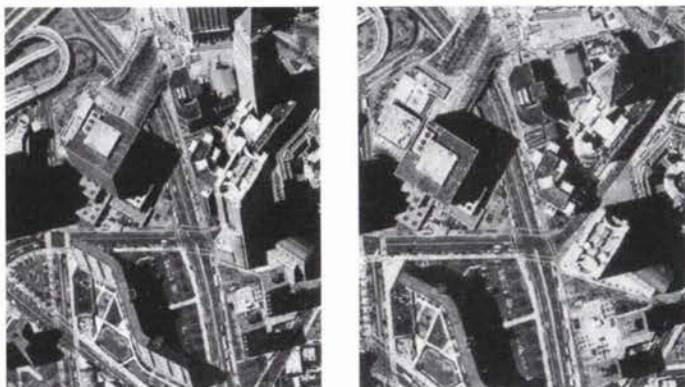
Mjerilo prikaza	Mjerilo snimanja	Zahtjevana točnost	Veličina pixela, skanirano (DOF)	Dozvoljena visinska odstupanje DTM-a
1:5000	1:20 000	1 m	<21 $\mu\text{m}$ (42 cm)	1 m
1:10 000	1:40 000	2 m	<21 $\mu\text{m}$ (82 cm)	2 m
1:25 000	1:100 000	5 m	<21 $\mu\text{m}$ (210 cm)	5 m



Slika 2. *Uporaba DOF-a u prostornom planiranju na primjeru grada Zagreba.*

### 3.1. Stvarni ortofoto (true orthophoto)

Problem ortofota, tj. pojava pomaka vrha zgrada od temelja do prije nekog vremena bio je nerješiv. U posljednje se vrijeme rješava uporabom digitalnog modela zgrada, što rezultira pojavom stvarnog ili pravog ortofota (engl. true orthophoto)(Schickler, Thorpe, 1998.). Njegova primjena u urbanim sredinama sigurno će se povećati, tj. više problem zaklanjanja visokih zgrada neće biti toliko očit (slika 3).



Slika 3. *Primjer klasičnog i stvarnog ortofota.*

#### 4. Daljinska istraživanja

U prostornom planiranju još uvijek dominira primjena klasičnih zemljovida, koje polako ali gotovo sigurno istiskuje sve veća uporaba fotogrametrijski obrađenih zračnih snimaka. Sljedeća generacija prostornih planova sigurno će se sve više koristiti rezultatima daljinskih istraživanja temeljenih na primjeni satelitskih snimaka. Prednosti satelitskih snimaka u odnosu na zračne su sljedeće:

- veće područje prekrivanja jednog satelitskog snimka,
- manja slikovna distorzija,
- niža cijena,
- veća količina informacija dostupna uporabom satelitskih snimaka.

Uporaba satelitskih snimaka u razvijenim zemljama je napredovala po prilično daleko, pa su ju neke od njih regulirale zakonom (npr. Kanada). Pojava novijih satelita, kojih se prostorna rezolucija spušta ispod 1 m, omogućuje primjenu satelitskih snimaka, teoretski čak i u mjerilima 1: 5000, pa i manje. Najavljuju se i komercijalne verzije satelita sa rezolucijom 0,5 m (OrbiImage "ORB-VIEW 3"). Međutim, ipak bi najoptimalnija primjena satelitskih daljinskih istraživanja trebala ležati u prikupljanju raznovrsnih informacija (Olujić 2001):

- bilanca poljoprivrednog i šumskog zemljišta u odnosu prema građevinskom,
- postojeće korištenje zemljišta (engl. land use) i interakcija prostornih cjelina i s namjenama – kompatibilnim i nekompatibilnim,
- izbor lokacije za određene namjene gradnja,
- simulacija i prostorne namjene,
- definicija neplodnih površina i područja za površinsku eksploataciju rudnog blaga,
- prometne i energetske površine izvan naselja.

Jedna od sigurno velikih prednosti daljinskih istraživanja je brza izradba digitalnih modela terena uporabom automatske korelacije. Rezultat su 3D prikazi koji aproksimiraju realnost mnogo bolje nego klasični zemljovidi, te omogućuju virtualno kretanje kroz nju (Fritsch i dr. 1998)

## 4.1. Zaštita okoliša

Jedno od temeljnih načela integralnog pristupa planiranju i uređenju prostora je zaštita okoliša kao kontinuirana i u svim segmentima prisutna sastavnica koja će se provoditi kao opći svjetonazor u sklopu obuhvata cjelovitih područja i pojedinačnih zahvata te u okviru pojedinih sektora. Sustavna skrb o okolišu nužna je u svim fazama djelovanja u prostoru uključujući mjerenja i praćenja promjena.

Navedene stavke samo su neke od mnogobrojnih, vezane za zaštitu okoliša, definirane Programom prostornog uređenja (NN 50/99), što je idealno mjesto za primjenu svih tipova satelitskih snimaka i njihovu analizu:

- multispektralni snimci

Najčešće je to sustav vertikalne kamere sa više objektivna razvijenih za dobivanje istovremenih snimaka u različitim spektralnim kanalima vidljivog i bliskog infracrvenog spektra (oštećenost drveća, kvaliteta biljnog pokriva i dr.)

- multisenzorski snimci

Različiti senzori često daju kompletniju sliku objekta promatranja.. Takvi se snimci međusobno kombiniraju: pankromatski snimci visoke rezolucije s multispektralnim snimcima niže rezolucije (primjena kod geoloških studija).

- multitemporalni snimci

Informacije dobivene takvim snimcima imaju vremensku sastavnicu u sebi, tj. odnose se na neka razdoblja intenzivnog snimanja koje može trajati od nekoliko dana, tjedana, mjeseci ili čak godina (možemo pratiti stanje u prostoru kroz duže razdoblje: izgrađenost, razvijanje i dr.)

## 4.2. Satelitski snimci visoke rezolucije

Potkraj 1990-tih godina pojavilo se nekoliko komercijalnih satelita koji mogu prikupljati podatke s visokom prostornom razlučivošću (oko 1 m). S pojavom tih satelita počela je nova era u daljinskim istraživanjima, pa će se malo više pažnje posvetiti upravo tim satelitima, koji će sigurno imati veliku primjenu u prostornom planiranju.

### 4.2.1. DigitalGlobe sateliti

Kompanija pod nazivom Digital Globe (do 2001. "Earth Watch") lansirala je tri satelita, *Early Bird*, *Quick Bird* i *Quick Bird 2* radi snimanja i formiranja globalnog digitalnog arhiva snimaka za gotovo cijelu zemljinu površinu, rezolucije 1 odnosno 3 m. Prva dva satelita, *Early Bird* i *Quick Bird*, završila su neslavno i nestala u svemiru.

#### Satelit "Quick Bird 2"

Uspješno lansiran u listopadu 2001, Snimci dostupni od 2002. Rezolucija 0,61 m u pankromatskom i 2,44 m u multispektralnom modu. Visina 450 km, snimana površina 16,5 x 16,5 km. Mogućnost pretraživanja područja interesa putem interneta na portalu <http://archive.digitalglobe.com>.



Slika 4. *Quick Bird 2*.

Proizvodi dobiveni satelitom Quick Bird 2 (slika 4) isporučuju se u sljedećim oblicima: klasični satelitski snimak (60 do 70 cm pankromatski i 2,44 do 2,8 m multispektralni mod), ortorektificirani snimci (70 cm pankromatske, infracrvene, RGB te 2,8 m multispektralni snimci). Osim toga nude zrakoplovne radarske SAR snimke (prostorne rezolucije 2,5 m) te digitalne modele reljefa (30 cm do 3 m apsolutna točnost za UTM i WGS84) i ortorektificirane radarske snimke (2,5 m za UTM i WGS 84) (URL 1) od drugih dobavljača.

#### 4.2.2. IKONOS sateliti

Sateliti IKONOS prvi su komercijalni sateliti koji daju rezoluciju pankromatskih snimki od 1 m. Prvi je lansiran 1999. u organizaciji Space Imaging EOSAT, na visinu od 681 km. Mogao je snimati u pankromatskome modu rezolucijom od 1 m i multispektralnom od 4 m. Odmah poslije lansiranja izgubljen je (nije se odvojio od rakete, te je izgorio).

Iste je godine uspješno lansiran i IKONOS 2, te uredno obavlja predviđena snimanja. Snimci dobiveni tim satelitima isporučuju se korisnicima pod nazivom CARTERRA. Postoje dva tip tih snimaka:

- CARTERRA Geo

Multispektralni, pankromatski i kombinacija (Pan Sharped). Snimci se isporučuju u tri (RGB) ili četiri kanala (RGB i blisko infracrveno područje)

- CARTERRA Orto

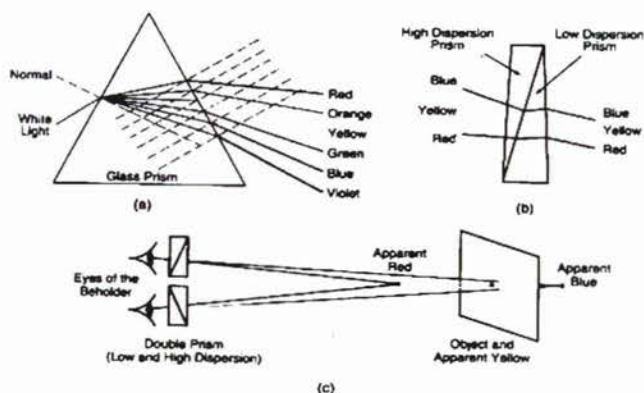
Snimci iste rezolucije kao i prethodni, ali su korigirani u ortoprojeksiju za odgovarajući elipsoid. Tako korigirani snimci mogu se upotrijebiti za izradbu zemljovida u mjerilu 1: 5000.

### 5. Kromostereoskopija

Prednost stereoskopskog promatranja snimaka je jasna: privid trodimenzionalnog prikaza, tj. mogućnost izravnog procjenjivanja konfiguracije terena. Sam princip stereoskopskoga gledanja odavno je poznat, međutim u posljednje vrijeme pojavljuje se novija metoda 3D gledanja; kombiniranjem digitalnog modela terena i ortosnimaka; kromostereoskopski snimci (osnovna načela dao Einthoven 1985., a za komercijalnu uporabu razradio ih je Steenblink 1986., 1991.). Na takvim snimcima veća visina prikazana je toplijom bojom (npr. crvena, žuta), a naočale za gledanje temelje se na tankim prizmama napravljenim od jeftinih prozirnih plastičnih materijala, pa imaju vrlo veliku uporabljivost u svakodnevnim situacijama (slika 5).

Nekoliko je prednosti takvih snimaka pri uporabi u prostornom planiranju, a uz standardne prednosti uporabom orto snimaka :

- geometrijska ispravnost,
- veća zastupljenost detalja,
- ažurnost,
- lakša čitljivost,



Slika 5. Princip kromostereoskopije: a) refrakcija bijele svjetlosti kroz staklenu prizmu, b) superkromatska staklena prizma, c) princip gledanja (Petrie i dr. 2001.)

tu su i prednosti karakteristične baš za 3D gledanje:

- privid prostornosti,
- lakše uočavanje oblića na zemljištu,

te prednost karakteristična za kromostereoskopiju:

- nema mutne slike ako ne koristimo 3D naočale (karakteristično za ostale 3D načine gledanja), što za sobom povlači drugu prednost
- snimke se mogu koristiti i kao klasične podloge za projektiranje,
- zbog principa kromostereoskopije (toplije boje označuju više predjele) možemo površnim pogledom odrediti visinske zone na podlozi,



Slika 6. Primjer ortofoto karte prilagođene kromostereoskopskom gledanju uz uporabu jeftinih ChromaTek naočala (Petrie i dr. 2001.)



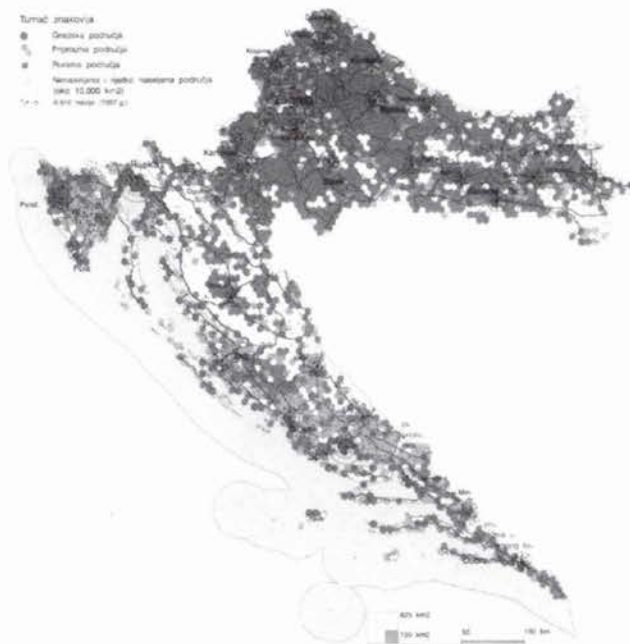
- mogućnost 3D gledanja ne samo u analognom obliku (print), nego i u digitalno-  
me na zaslonu monitora, što prostornom planiranju daje sasvim jednu novu di-  
menziju
- mogućnost uporabe različitih izvora: mogu se koristiti i aero i satelitski snimci

## 6. Geografski informacijski sustavi – GIS

Pojava novih tehnologija u fotogrametriji i daljinskim istraživanjima logičan je i očekivan slijed događaja koji rezultira sve kvalitetnijim informacijama (i u kvalitativnom ali i u kvantitativnom smislu). Međutim, pojava GIS-a kao alata za ujedinjavanje, vizualizaciju, analizu i održavanje svih relevantnih podataka znatan je odmak od dosadašnjeg pristupa planiranju i praćenju stanja u prostoru. Gotovo trenutačno kreiranje različitih tematskih zemljovida, kreiranje upita s trenutačnim odgovorom velika su pomoć pri odlučivanju.

Na jednome mjestu moguće je ujediniti sve oblike podloga koje se koriste u prostornom planiranju, od detaljnog plana uređenja pa do prostornog plana županije, međusobno ih kombinirati sa odgovarajućom bazom podataka te kao rezultat dobiti prikaz na ekranu za koji bi klasičnom metodom izradbe različitih tematskih zemljovida trebalo daleko više vremena.

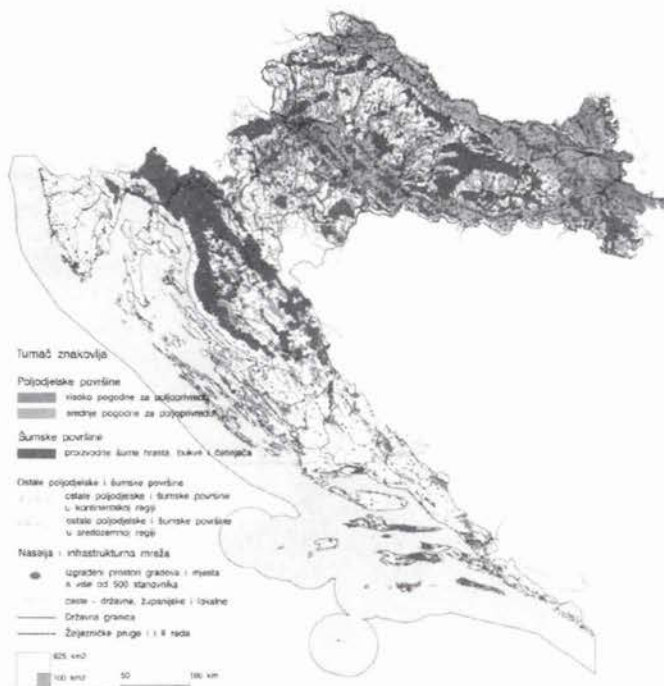
Pojava komercijalnih softvera koji ne zahtijevaju radne stanice nego je dovoljno PC računalo malo boljih karakteristika (vidi početak), omogućuje da svaki prostorni planer na svom računalu koristi prednosti koje nudi GIS.



Slika 7. Razvoj gradskih, prijelaznih i seoskih područja s prostornoplanerskog gledišta.

Problem na koji treba upozoriti vezan je uz kvalifikaciju osoblja koje koristi GIS – alate, tj. potrebu za njihovom dodatnom kvalitetnom izobrazbom. To ne podrazumjeva obuku prostornih planera koji samostalno stvaraju GIS sustave, jer kreiranje takvih sustava ipak treba prepustiti školovanim stručnjacima, geoinformatičarima, ali razina znanja koja bi omogućila maksimalno iskorištavanje prednosti koje nude takvi sustavi sigurno treba biti postignuta tom dodatnom izobrazbom.

Primjera tematskih kartografskih prikaza iz “Programa prostornog uređenja Republike Hrvatske” (NN 50/99) nastalih uporabom programskih paketa GIS-a:



Slika 8. Osnovno korištenje i namjena prostora s obzirom na očuvanje vrijednih šumskih i poljodjelskih resursa šumski i poljodjelni prostor.

## 7. Zaključak

Mogućnosti primjene novih tehnologija u prostornom planiranju i urbanizmu vrlo su velike. Mnoge od njih već se i koriste, pogotovo u razvijenijim državama. Prednosti koje se nude velike su, nedostaci postoje, prije svega u potrebi za povećanom izobrazbom kadrova. Hoće li i kada klasični zemljovidi biti u potpunosti zamjenjeni proizvodima poput orofota i satelitskih snimaka visoke rezolucije teško je reći, ali da će njihova pojava na zaslonu monitora biti sve češća, više je nego realno. Postavlja se samo pitanje tko treba preuzeti odgovornost i promovirati nove tehnologije u izradbi podloga: korisnici, planeri ili izvođači, geodeti ili geoinformatičari?

## Literatura

- Marinović-Uzelac, A. (2000): Prostorno planiranje I-II. Zavod za urbanizam Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- NN 106/98: Pravilnik o sadržaju i mjerilima kartografskih prikaza, obveznim prostornim pokazateljima i standardu elaborata prostornih planova (1998). Narodne novine, Br. 106/98, Zagreb.
- NN 50/99: Program prostornog uređenja Republike Hrvatske (1999). Narodne novine, Br. 50/99, Zagreb.
- NN 55/01: Pravilnik o načinu topografske izmjere i o izradbi državnih zemljovida (2001). Narodne novine, Br. 55/01, Zagreb.
- Oluić, M. (2001): Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat d.o.o., Zagreb.
- Petrie, G., Toutin, T., Rammali, H., Lanchon C. (2001): Chromo-Stereoscopy: 3D stereo with Orthoimages & DEM Data. Geoinformatics, 4.
- Schickler, W., Thorpe, A. (1998): Operational procedure for automatic true orthophoto generation. IAPRS, Vol. 32, Part 4 "GIS-Between Visions and Applications", Stuttgart.
- Fritsch, D., Kiefner, M., Stallmann, D., Hahn, M. (1998): Improvement of the automatic MOMSO2-P DTM reconstruction. IAPRS, Vol. 32, Part 4. "GIS-Between Visions and Applications", Stuttgart.

URL 1: Euroimage, Products & Services, <http://www.euroimage.com>, (14.2.2003.).

## Photogrammetry, remote sensing and GIS like new technologies in urban and regional planning

*ABSTRACT. Producing maps for spatial and urban planning has always been one of the main geodetic activities. The development of new technologies has brought about new ways of collecting, archiving, processing and presenting spatial data. Photogrammetry, remote sensing and GIS have provided the ideal basis for combining the new technologies with knowledge and tools for higher quality standards in map production, assisted with strong data basis. The emergence of high resolution satellites, new techniques of stereo viewing and the already accepted GIS offer new possibilities. This article deals with the existing as well as with potential uses of the technologies.*

*Keywords: spatial planning, urban planning, photogrammetry, remote sensing, GIS, stereo viewing.*

*Prihvaćeno: 2003-6-11*