

GDK: 58(497.12)

DIGITALNE ORTOFOTO KARTE ZA KARTIRANJE GOZDNIH SESTOJEV

Milan HOČEVAR* , David HLADNIK**, Marko KOVAČ***

Izvleček

Napredek pri razvoju digitalne fotogrametrije ponuja nove možnosti tudi pri izdelavi gozdarskih tematskih kart. Prispevek opisuje razvoj fotointerpretacije in fotogrametrije v slovenskem gozdarstvu, tehnologijo izdelave ortofoto kart z osebnimi računalniki. Kvaliteta in pozicijska natančnost ortokart (5 do 6 m) dovoljujeta vključitev ortofoto sestojne karte v gozdarski prostorski informacijski sistem. Ta je gozdarskemu strokovnjaku odličen pripomoček za odločanje na različnih področjih.

Ključne besede: digitalna fotogrametrija, ortofoto, sestojne karte, GIS

THE USE OF DIGITAL ORTHOPHOTOS FOR FOREST STAND MAPPING

Abstract

The advent of technology of the digital orthophoto provides a rather new concept for production of forest stand maps. The article deals with the development of photointerpretation and photogrammetry in the Slovenian forestry, it also shows the possibilities how to use this technology in forestry and briefly describes technological steps, necessary for orthophoto production on the basis of PC technology. The results of geometric accuracy assessments (RMSE from 5-6 m) assure a reliable link between the orthophoto and GIS data and recommend the orthophoto - as an ideal geographic reference base - to be used for decision making in the forest management process.

Key words: photogrammetry, orthophoto, forest stand maps, GIS

* dr., dipl. inž. gozd., redni profesor, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 83, SLO

** mag., dipl. inž. gozd., asistent, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 83, SLO

*** mag., dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, SLO

KAZALO

1	UVOD.....	151
2	KRATEK OPIS PROBLEMATIKE S PREGLEDOM RAZVOJA FOTOGRAMetriJE	152
2.1	Dosedanji poizkusi uveljavitve fotointerpretacije in fotogrametrije v slovenskem gozdarstvu	152
2.2	Pregled razvoja digitalne fotogrametrije.....	153
2.3	Kaj nudi digitalna fotogrametrija gozdarstvu in zakaj je nujen lasten strokovni razvoj.....	154
3	CILJ RAZISKAVE, METODA DELA, RAZISKOVALNA OPREMA IN MATERIAL.....	156
4	IZDELAVA ORTOFOTO SESTOJNE KARTE	157
4.1	Problematika ločljivosti analognih in digitalnih posnetkov.....	157
4.2	Postopek vzpostavitve stereomodela in izdelave ortofotokarte.....	160
4.3	Postopek izdelave orto sestojnih kart	163
4.4	Primer sestojne karte Muta.....	165
4.5	Natančnost ortofoto kart	168
5	IZDELAVA ORTOMOZAIKA.....	170
6	DISKUSIJA IN SKLEPI.....	172
	SUMMARY	173
	VIRI.....	176

1 UVOD

Sonaravno in mnogonamensko gospodarjenje z gozdnimi ekosistemi je danes kompleksnejše kot kdajkoli doslej. Sodobna spoznanja ekologije in okoljske etike s katerimi je povezano preživetje človeka, nas namreč silijo, da pri gospodarjenju z njimi upoštevamo vsa bistvena načela varstva okolja, da trajno zagotavljamo njihovo optimalno delovanje in, da hkrati krepimo še vrsto njihovih funkcij. Težavno nalogo, ki ni vezana le na dejavnost gozdarske stroke ampak tudi na širše družbene zahteve, bo mogoče uresničiti le s smotrnim, okolju prijaznim odločanjem, ki ga do neke mere omogoča čedalje bolj uveljavljeno večnamensko (veščiljno) načrtovanje.

Zaradi usklajevanja številnih interesov zahteva kompleksno, ekološko naravnano načrtovanje gozdnih ekosistemov bolj skrbno odločanje kot doslej. V ta namen so potrebne zanesljive informacije o gozdnih ekosistemih, ki jih je mogoče zagotoviti le s kvalitetnim in bolj intenzivnim zbiranjem podatkov. Namesto klasične gozdne inventure, ki je omejena zgolj na obravnavo proizvodne vloge gozdov, je smiselno razvijati tako metodologijo, ki bo omogočala trajni nadzor gozda v času in prostoru. Metodološki koncept, pogosteje ga s tujko označujemo celostni monitoring, poizkušamo vgraditi tudi v računalniško zasnovan prostorski informacijski sistem.

V Sloveniji oblikujemo integriran sistem za ocenjevanje stanja in razvoja gozdov že nekaj let. Vseboval bo kvantitativne (merske) podatke, ki se pridobivajo predvsem s terenskimi snemanji (kontrolna vzorčna metoda), s kvalitativnimi podatki pa bodo podrobno opredeljene površinske enote. Med nosilci podatkov površinskih enot pripisujemo najpomembnejšo vlogo karti gozdnih sestojev.

2 KRATEK OPIS PROBLEMATIKE S PREGLEDOM RAZVOJA FOTOGRAMETRIJE

2.1 Dosedanji poizkusi uveljavitve fotointerpretacije in fotogrametrije v slovenskem gozdarstvu

V zadnjem desetletju so bile v gozdarstvo uvedene številne nove tehnike pridobivanja podatkov. Med njimi tudi daljinsko zaznavanje, z njim pa so letalski posnetki in sestojna karta postali zelo pomemben informacijski vir. Z uveljavitvijo cikličnega aerosnemanja Slovenije je stroka pridobila zelo dobre podlage za kvalitetno strokovno delo (aeroposnetki, fotopovečave, ortofotokarte), vendar jih največkrat ni znala dobro izkoristiti; povečini jih še danes uporablja le za orientacijo na terenu, za oceno gozdnih površin in za oceno sprememb gozdnih robov (HOČEVAR 1988, KOVAČ 1992). Veliko oviro pri izdelavi sestojnih kart s fotointerpretacijo letalskih posnetkov namreč predstavlja kartiranje interpretirane vsebine, ki je mogoče le s specialno opremo in posebej šolanimi kadri.

Glede na dejstvo, da gozdarstvo ni (in tudi v prihodnje ne bo) zmoglo plačevati dragih tehničnih uslug za to specializiranim ustanovam in podjetjem, sta se sredi osemdesetih let Gozdarski inštitut in Oddelek za gozdarstvo Biotehniške fakultete sama lotila razvoja sistema za enoslikovno kartiranje (monorestitucija) aeroposnetkov. Le-ta je vključeval digitaliziranje popačenih interpretiranih linij in točk in njihovo transformacijo v ravninske zemeljske koordinate (KRALJ 1986). Kljub obetavnemu začetku (HOČEVAR, HLADNIK 1988) pa instituciji zaradi več razlogov nista uspeli razviti sistema za operativno rabo.

Z razvojem osebnih računalnikov so na tržišče prišli številni grafični programski paketi, med njimi tudi sistemi za monorestitucijo slik. Že leta 1987 je Oddelek za gozdarstvo BF preizkušal učinkovitost nizozemskega sistema MONOPLOT (MOLENAAR in STUIVER 1987), nekaj let kasneje pa tudi podoben slovenski izdelek AMS - Analitični monorestitucijski sistem (GVOZDANOVIČ et al. 1991). Oba sta sčasoma utonila v pozabo, saj je kmalu postalo jasno, da predstavljata le eno od etap v razvoju fotogrametrije.

Nekoliko drugačno pot kot fakulteta je ubral Gozdarski inštitut. Kmalu po že omenjenem spodletelem poizkusu je nabavil relativno enostaven, cenen, vendar kvaliteten stereoploter, ki je na inštitutu v uporabi še danes. Instrument omogoča dva načina kartiranja; uporabljati ga je mogoče bodisi kot preprost stereofotoprerisovalnik, bodisi kot analitični ploter. V drugem primeru, ki je za rabo precej zahteven, so mogoče tudi trodimenzionalne meritve na računalniško krmiljenem stereomodelu, izris površin na ekranu in tiskalniku ter avtomatski izračun površin. V večini prostorsko obarvanih raziskovalnih projektov, ki jih je inštitut izvajal v preteklih letih je bil uporabljen prav ta instrument.

Ne glede na uspešnost obeh, med seboj zelo različnih poti pa razvoj fotogrametrije v gozdarstvu ni zastal. Skupna pomanjkljivost obeh načinov kartiranja je (poleg nerodnosti, ki jih je v fotogrametriji vedno dovolj), da omogočata le transformacijo interpretirane vsebine letalskih posnetkov v želeno merilo (npr. izris mej sestojev, pokrovnosti in rabe prostora, izris gozdnih prometnic), ne pa tudi prikaza bogatega niza informacij, ki jih nudijo letalski posnetki. Digitalna fotogrametrija (v nadaljevanju DF), ki se je začela razvijati prav v tem času je obetala precej več.

2.2 Pregled razvoja digitalne fotogrametrije

V relativno kratkem času je fotogrametrija prešla tri pomembnejša razvojna obdobja. Po časovno najdaljšem, ki ga je mogoče označiti kot čas analogne fotogrametrije je prešla v analitično, v zadnjem času pa govorimo vse več o DF. Čeprav je slednja v literaturi poznana šele manj kot desetletje, njen razvoj ni naključen. Vzporejati ga je treba predvsem z razvojem računalniške strojne in programske opreme (HOEHLE 1992, KIENEGGER 1992, MADANI 1992, STEINER 1992 idr.), ki postajata cenovno dostopnejši šele v zadnjih letih. V primerjavi s klasičnimi - analogno/analitičnimi fotogrametričnimi sistemi, omogoča DF naslednje postopke (prim. WELCH 1992):

- neposredno združevanje slikovnih, kartnih in terenskih podatkov v različnih formatih,
- neposredno prikazovanje vseh zbranih podatkov,
- obogatitev funkcij za obdelavo slik (ostrenje, kontrastiranje itn.),

- povezavo (interface) z GIS funkcijami in GIS okoljem,
- izdelavo ortomozaikov,
- avtomatsko generiranje digitalnega modela reliefa (v nadaljnjem DMR), kjer ta ni na voljo,
- razmeroma enostavno vzdrževanje že obstoječih podatkovnih zbirk.

Podobno kot še teče razvoj analogno-analitične fotogrametrije, za katero so na voljo sistemi različnih stopenj pozicijske natančnosti in cenovnih razredov, teče tudi razvoj DF. Instrumente prvega reda npr. predstavljajo računalniški sistemi (MADANI 1992, BONIFACE 1992, MILLER, HELAVA, HELAVA 1992), s katerimi je mogoče dosegati rezultate visoke geodetske natančnosti (± 0.5 m in manj). Ti sistemi bodo v prihodnje vse bolj nadomeščali zastarele avtografe in še vedno sodobne analitične stereoploterje, ki so zaradi prijaznejšega dela (optična interpretacija) še vedno nepogrešljivi.

Drugo vejo predstavljajo sistemi za DF na cenovno dostopnejših grafičnih postajah in PC računalnikih (STEINER 1992, WELCH 1992). Čeprav v tem primeru ni mogoče govoriti o visoko precizni tehnologiji je njen prispevek tehten predvsem zaradi naslednjih razlogov:

- sistemi omogočajo dovolj veliko pozicijsko natančnost za negeodetske aplikacije,
- postopki za izračun stereomodelov so enostavni in hitri,
- mogoče so hitre priučitve kadrov (uporabnost, velika operativnost),
- oprema je lahko dostopna (enostavna nabava programov, rač. oprema pa je navadno že v hiši) in je dokaj poceni.

2.3 Kaj nudi digitalna fotogrametrija gozdarstvu in zakaj je nujen lasten strokovni razvoj

Ena najpomembnejših novosti na področju DF je združevanje in direktna predstavitev tematik, pridobljenih s slikami, kartami in snemanji na terenu. Gozdarstvo se pomena kombinirane predstave terenskega stanja dobro zaveda, saj ima ta pred golo, abstraktno podobo kot je npr. karta precej prednosti.:

- tematska ortokarta je lahko razumljiva,
- s tematsko karto, ki ima dobro referenčno podlago je orientacija v prostoru bistveno enostavnejša,

- eventualne napake, nastale v procesu zbiranja podatkov/informacij so opazne takoj.

V gozdarstvu so zaradi razvejane dejavnosti možnosti za uporabo DF zelo velike. Med pomembnejša področja je treba šteti predvsem krajinsko ekologijo, gozdno načrtovanje, gojenje gozdov ter gozdno tehniko. Nekaj aplikacij, ki pa jih je treba smiselno povezovati še z dopolnilnimi terestričnimi snemanji in drugimi viri je prikazanih v preglednici 1.

Preglednica 1: Področja uporabe tehnik digitalne fotogrametrije v gozdarstvu
 Table 1: *Possibilities of use of the digital photogrammetry in various fields of forestry*

KRAJINSKA EKOLOGIJA/LANDSCAPE ECOLOGY

- krajinska inventura (ekosistemska sestava krajine, inventura habitatov)
- vrednotenje funkcij gozda (ocenjevanje geomorfoloških dejavnikov),
- ocenjevanje merskih parametrov krajine in ekosistemov (površine, dolžine, obsegi, porazdelitev ekosistemov),
- *landscape ecology (landscape structure, inventory of habitats)*
- *evaluation of forest functions (assessment of geomorphological data),*
- *assessment of metric parameters of the landscape and ecosystems (area, longitude, distribution of the ecosystems)*

GOZDNOGOSPODARSKO NAČRTOVANJE/FOREST MANAGEMENT

- kartiranje in določanje gozdnovegetacijskih in sestojnih tipov (stratifikacija sestojev),
- vzdrževanje sestojnih kart,
- merjenje sestojnih višin (boniteta, posredna ocena lesne zaloge),
- oblikovanje negovalnih enot in izdelava gozdnogojitvenih načrtov,
- *interpretation of vegetation and forest stand types (stratification of the stands),*
- *updating forest stand maps,*
- *assessment of forest stand heights (indirect assessment of the growing stock),*
- *design of the silvicultural plans*

GOZDNA TEHNIKA/FOREST TECHNIQUE

- ocenjevanje odprtosti gozda s prometnicami,
 - merjenje transpotnih razdalj,
 - idejno projektiranje žižnic, cest,
 - vzdrževanje cestnega katastra,
 - *assessment of the forest openness,*
 - *measuring of the transport distances,*
 - *ideal planning of the roads,*
 - *updating of the forest road cadastre.*
-

V vseh naštetih področjih je uporaba tehnik DF vezana predvsem na vsebinska vprašanja. Ker DF vključuje tako tehniko fotointerpretacije kot

kartiranja je s tem tudi presežena nekdanja ostra meja med fotogrametrijo in fotointerpretacijo (povezava interpretiranih tematskih slojev, ortofotografije in GIS plasti je tako tesna in neposredna, da je posamične faze dela prav nesmiselno razmejevati), to pa je še en razlog več (poleg tistih, naštetih v nadaljevanju), da gozdarstvo podpre lasten razvoj te tehnologije. Pomembni, nekoliko splošnejši razlogi, ki govorijo v prid lastnemu razvoju so še:

- ortofotokarta kot referenčna podlaga gozdarskim tematikam sama zase nima velike vrednosti; velika večina gozdarskih aplikacij je in bo vezanih na pridobivanje podatkov s tehniko stereofotointerpretacije, ki pa je preveč zahtevna, da bi jo zaupali negozdarskim strokovnjakom,
- kakovostno načrtovanje je neločljivo povezano z gozdarskim prostorskim informacijskim sistemom (v nadaljevanju GPIS) in obravnavo podatkov v okviru GIS tehnologije, katere del je tudi DF. Nasilna ločitev DF od GPIS bi pomenila zanikanje sodobnega dinamičnega načrtovalskega pristopa, ki išče variantne rešitve predvsem s prostorskim modeliranjem.

3 CILJ RAZISKAVE, METODA DELA, RAZISKOVALNA OPREMA IN MATERIAL

Šele leta 1992 so postali sistemi za DF toliko prijazni in cenovno dostopni, da so po njih začeli posegati tudi neprofesionalni in negeodetski uporabniki (WELCH, 1992a). Tako je Gozdarski inštitut Slovenije leta 1992 dokupil izboljšano PC verzijo sistema DMS, ki je že vsebovala modul SPM (Softcopy Photo Mapping) za stereofotointerpretacijo in izdelavo ortofotokart (v nadaljnjem OFK). Programski modul smo testirali v preteklih letih, cilji raziskave pa so bili predvsem naslednji:

- preverjanje pozicijske natančnosti ortofotografije (v nadaljnjem OF) in stereomodela ter možnosti neposrednega (ekranskega) kartiranja na digitalnem stereomodelu,
- možnost uporabe nacionalne podatkovne baze DMR_{SLO} 100x100 m v okviru sistema DMS/SPM,
- možnosti spajanja posnetkov v ortomozaik,
- možnosti uporabe tehnik DF v zahtevnih alpskih terenih,
- preverjanje možnosti za razvoj lastnega postopka integracije digitalne OF v GIS sistem,

- preverjanje ter ocena kvalitete primerne strojne in programske opreme za skaniranje letalskih posnetkov ter za izdelavo kvalitetnih barvnih in črnobelih OFK.

V raziskavi so uporabljeni programsko predvideni in z lastnim znanjem razviti postopki za vzpostavitev stereomodela in za izdelavo OFK. Eden izmed prispevkov je tudi razvit programski modul DMR2DEM, ki rabi za interpolacijo višinskih točk nacionalne mreže DMR_{slo} 100 x 100 m v poljubno gostoto in v predpisan format (KRALJ 1994). Ta modul nam pravzaprav omogoča, da pred restitucijo posnetka ni treba izračunavati lokalnega - s stereokorelacijo izračunanega DMR. V tehnološkem postopku sta bili uporabljeni naslednja strojna in programska oprema:

- PC 486 DX 66, 640 MB, ET 4000, 600 MB HDD, 17" barvni monitor,
- programski modul DMR2DEM,
- programski paket DMS/SPM,
- programski paket IDRISI,
- založniški skaner z resolucijo 300, 600 in 900 dpi,
- bubble-jet, barvni tiskalnik Canon BJC 800,
- črnobeli (v nadaljevanju Č/B) in infrardeči (v nadaljevanju CIR) aeroposnetki različnih meril (1:17500, 1:38000 in 1:10000) z različnih območij Slovenije (Koroška, Ljubljana, Kočevska).

4 IZDELAVA ORTOFOTO SESTOJNE KARTE

4.1 Problematika ločljivosti analognih in digitalnih posnetkov

V DF se namesto originalnih, analognih fotografskih posnetkov uporabljajo digitalizirani. Konverzija analognih signalov v digitalne se lahko izvrši z navadnimi založniškimi skanerji, obstajajo pa tudi posebni, z zelo visoko ločljivostjo prepoznavanja sivih oz. barvnih tonov (2400 dpi). Po konverziji so slike zapisane v rastrskem formatu, primernem za nadaljno obdelavo. Ker na delovni proces in na kvaliteto izdelka vplivajo številni dejavniki, smo jih v nadaljevanju prisiljeni opisati nekoliko bolj podrobno, v splošnem pa velja, da je ločljivost digitalnih posnetkov najpomembnejša.

V analogni fotogrametriji je ločljivost (resolucija) opredeljena kot najmanjša izmerjena razdalja med dvema objektoma, ki sta kot samostojna objekta na posnetku še razločno zaznavna. Pri navedbi ločljivosti se zato običajno sklicujemo na število linijskih parov na mm (Rlp/mm), kar predstavlja število izmenjujočih se črnih in belih linij, ki jih na dolžini enega milimetra na posnetku še razločno zaznamo. Izmerjena ločljivost je odvisna od celotnega sklopa fotografskega sistema; od fotografske kamere, filma in metode procesiranja. Z uporabo moderne kamere (150 lm/mm) in visoko občutljivega filma (100 lp/mm) je na letalskih posnetkih mogoče doseči ločljivost okrog 40 lp/mm (NAITHANI 1990). Še večjo ločljivost - 140 lp/mm lahko zagotavljajo kamere s kompenzacijo pomika (Forward Motion Compensation - FMC) in manj občutljivim filmom. V tem primeru so najmanjše, še ločljive razdalje med objekti na terenu med 0,07 m (za posnetke v merilu 1:10000) in 0,21 m (pri posnetkih v merilu 1:30000; glej preglednica 2).

Pri konverziji analognega posnetka v digitalnega vpliva na ločljivost slednjega (poleg že naštetih dejavnikov) še ločljivost skeniranja; če bi npr. želeli ohraniti ločljivost 40 lp/mm, bi (s predpostavko, da rabimo za vsak linijski par dva piksla) morali skenirati z ločljivostjo 12,5 μm (2032 dpi), en pankromatski posnetek standardnega formata 23x23 cm pa bi po skeniranju s to ločljivostjo tvoril osnovno podatkovno bazo, veliko približno 340 Mb. Pri delu z digitalnimi stereomodeli se podatki seveda podvajajo; do trikratnega povečanja osnovne podatkovne zbirke pa npr. pride, če namesto Č/B pankromatskih posnetkov obdelujemo barvne (slika 1), taka količina podatkov pa je za njihovo obdelavo in prenos že problematična.

Preglednica 2: Prostorska ločljivost pri različnih merilih slike in ločljivostih skanerja.

Table 2: Spatial resolution at various photo scales and scanning resolutions.

Merilo slike	Resolucija aeroposnetka na tleh		Resolucija skenerja	Resolucija skenirane slike		Velikost pixla na tleh	Količina podatkov	
	<i>Ground Resolution</i>			<i>Image Resolution</i>			<i>Data Volume</i>	
Photo Scale	brez s FMC		<i>Scanning Resolution</i>	Pixel/mm	µm/Pixel	<i>Ground Resolution Pixel</i>	Č/B	RGB
	<i>without FMC</i>	<i>with FMC</i>					<i>Resolution</i>	
	m		dpi			m/Pixel	Mb	
1:10000	0,25	0,07	300	11,81	84,67	0,85	7,29	21,87
1:10000	0,25	0,07	600	23,62	42,33	0,42	29,16	87,48
1:10000	0,25	0,07	1200	47,24	21,17	0,21	116,64	349,92
1:10000	0,25	0,07	2400	94,49	10,58	0,11	466,56	1399,68
1:20000	0,5	0,14	300	11,81	84,67	1,69	7,29	21,87
1:20000	0,5	0,14	600	23,62	42,33	0,85	29,16	87,48
1:20000	0,5	0,14	1200	47,24	21,17	0,42	116,64	349,92
1:20000	0,5	0,14	2400	94,49	10,58	0,21	466,56	1399,68
1:30000	0,75	0,21	300	11,81	84,67	2,54	7,29	21,87
1:30000	0,75	0,21	600	23,62	42,33	1,27	29,16	87,48
1:30000	0,75	0,21	1200	47,24	21,17	0,64	116,64	349,92
1:30000	0,75	0,21	2400	94,49	10,58	0,32	466,56	1399,68

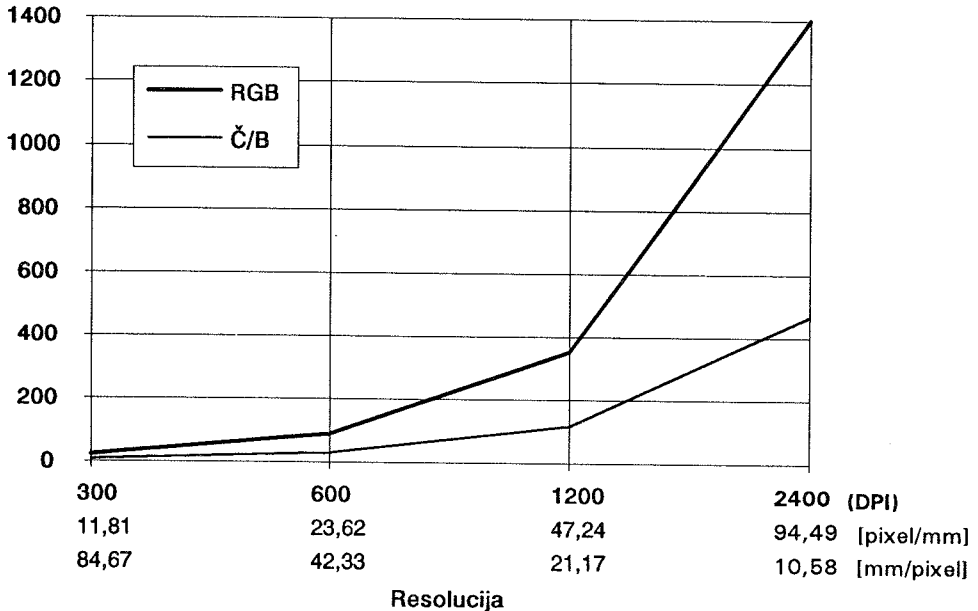
- 1/ Resolucija posnetka na tleh
 brez FMC: 40 lp/mm
 s FMC: 140 lp/mm

2/ FMC: *Forward Motion Compensation Camera* (Kamera s kompenzacijo dolžinskega pomika)

S predpostavko, da je za gozdarsko tematsko kartiranje zadostna zemeljska ločljivost med 0,5 in 1,0 m (geometrična natančnost rastrskih kart je med 0,5 in 1,0 piksla), je zadostna ločljivost skanerja (za merila med 1:10 000 - 1:20 000) med 600 in 1000 dpi.

Količina podatkov

[Mb]



Slika 1: Količina podatkov pri različnih ločljivostih skanerja

Figure 1: Amount of data at various scanner resolutions

4.2 Postopek vzpostavitve stereomodela in izdelave ortofotokarte

Po končanem skaniranju in pred nadaljnjo obdelavo je treba digitalne slike popraviti (eventualno, če je prisoten "hot-spot" efekt, ojačanje križnih markic), radiometrično korigirati (izboljšanje kontrastov, filtriranje) ter relativno in absolutno orientirati. Za postopek je potrebnih 6 do 30 oslonilnih točk, za katere so znane slikovne in zemeljske koordinate. Slednje je treba izmeriti kar najbolj natančno. Ker pa na kartah in na posnetkih ni mogoče v vsakem primeru najti oz. prepoznati oslonilnih točk in, ker so karte velikokrat obremenjene z velikimi pozicijskimi napakami (zdaj je mogoče to tudi dokazati), bo v prihodnje treba razmišljati tudi o GPS tehnologiji (Global Positioning System), ki je danes uporabna predvsem za kartiranje gozda. Na absolutno orientiranem in registriranem stereomodelu se nato lahko izvajajo vse potrebne meritve in seveda kartiranje. S pomočjo stereokorelacije je mogoče avtomatsko izračunati tudi lokalni (za področje

stereopara) DMR, ki ga je treba zaradi napak običajno še popraviti (vzpostavi se superpozicija stereomodela in mreže točk, le-te pa se fizično popravlja tako, da se jih polaga na stereomodel).

Za delo s prostorsko markico na stereomodelu sta odločilna kvaliteta stereoprikaza in kvaliteta monitorja. Stereopredstavo je v splošnem mogoče dobiti na tri načine:

- sliki sta prikazani na ekranu ena ob drugi, opazujemo pa ju z optično napravo, podobno stereoskopu,
- sliki sta projicirani ena na drugo, pri tem nastane anaglifna slika - opazujemo jo lahko s posebnimi očali,
- sliki se prikazujeta z visoko frekvenco izmenjavanja ena za drugo (120 Hz) - opazujemo ju s polarizacijskimi očali, ki jih krmili računalnik.

Najmanj primeren postopek je prvi, pri katerem je slika deljena. Najkvalitetnejši prikaz omogoča zadnji postopek, saj omogoča prikaz celotne slike (tudi barvne), vendar je tudi daleč najdražji. Celotno sliko prikaže tudi anaglifni postopek, ni pa pri njem mogoč prikaz v barvah. Način je cenen in priljubljen predvsem na cenejših PC sistemih.

Za izdelavo OF sta potrebna le en, absolutno orientiran aeroposnetek in DMR, s pomočjo katerega se odpravljajo radialne deformacije. Rabiti je mogoče tako lokalni kot nacionalni DMR. Nastala OF je geometrično korigirana in jo je mogoče dopolniti še s koordinatno mrežo in potrebnimi napisi. Več OF je mogoče združiti tudi v ortomozaik. Ker je digitalna OF geokodirana v nacionalnem koordinatnem sistemu, jo je mogoče vključiti tudi v GIS, ki ima še druge informacijske plasti. Output končne slike je digitalni zapis (datoteka), ki ga je mogoče iztiskati na papirju ali foliji. Primer take OFK (kasneje bo predstavljena bolj natančno) je podan v sliki 2.

Muta ortokara (23.4.1994)

5510000E

551



55140000E

551

551

5510000E

0 500 1000

Slika 2: Ortofoto karta Mute
Figure 2: Ortophoto of the Muta region

4.3 Postopek izdelave orto sestojnih kart

V konceptu izdelave sestojnih kart, ki smo ga razvili s sodelovanjem obeh gozdarskih raziskovalnih inštitucij uporabljamo dva med seboj neodvisna postopka. Med seboj se razlikujeta predvsem v tehniki fotointerpretacije in v načinu dokončnega oblikovanja sestojne karte (slika 3). Pri obeh je treba letalske posnetke najprej skanirati, jim določiti oslonilne točke ter izračunati orientacijske parametre. Od tu naprej pa sta postopka tehnološko popolnoma različna; vsak namreč ponuja nekaj prednosti in omejitev hkrati - tudi vsebinskih.

Prvi način predpostavlja - z izjemo določanja oslonilnih točk - povsem avtonomno izdelavo OFK, saj se vsi potrebni podatki pridobivajo na stereomodelu. Fotointerpretacija se odvija na anaglifnem stereomodelu. Na modelu lahko razmejujemo sestojne tipe, določamo višine objektov, s prostorsko markico lahko tudi digitaliziramo meje sestojnih tipov. Tako pridobivamo vektorske zbirke podatkov kar v tistem koordinatnem sistemu, v katerem smo določili geometrijo stereomodela (običajno Gauss Krueger). Po končani interpretaciji so vse meje sestojnih tipov že zapisane v vektorskem formatu (in pripravljene za samostojni izris, če to želimo), za izdelavo digitalne OFK pa rabimo še DMR. V področju, ki ga stereoskopsko prekrivata oba posnetka (približno 60 % površine posamezne slike), ga je mogoče avtomatsko izračunati s postopkom stereokorelacije. Območje prekrivanja nato še rektificiramo, z lokalnim DMR odpravimo geometrijska popačenja in izdelamo OF. Ko vanjo vgradimo še sestojne in oddelčne meje, ki smo jih prenesli iz GPIS nastane digitalna OFK, ki jo lahko natisnemo v poljubnem merilu in uporabimo za terenska dela (morebitno dodatno zbiranje podatkov; sliki 2 in 4).

Drugi postopek vključuje analogno fotointerpretacijo z zrcalnim stereoskopom. S tem načinom je mogoče nadomestiti ekransko vektorizacijo, saj namesto digitalnih posnetkov fotointerpretiramo analogne, s tem pa izkoriščamo prednosti kvalitetnega optičnega stereoskopa ter možnost opazovanja v barvah. Delo je enostavnejše in manj utrujajoče kot interpretacija na računalniškem zaslonu, opravi pa ga lahko tudi gozdar na gozdnem obratu.

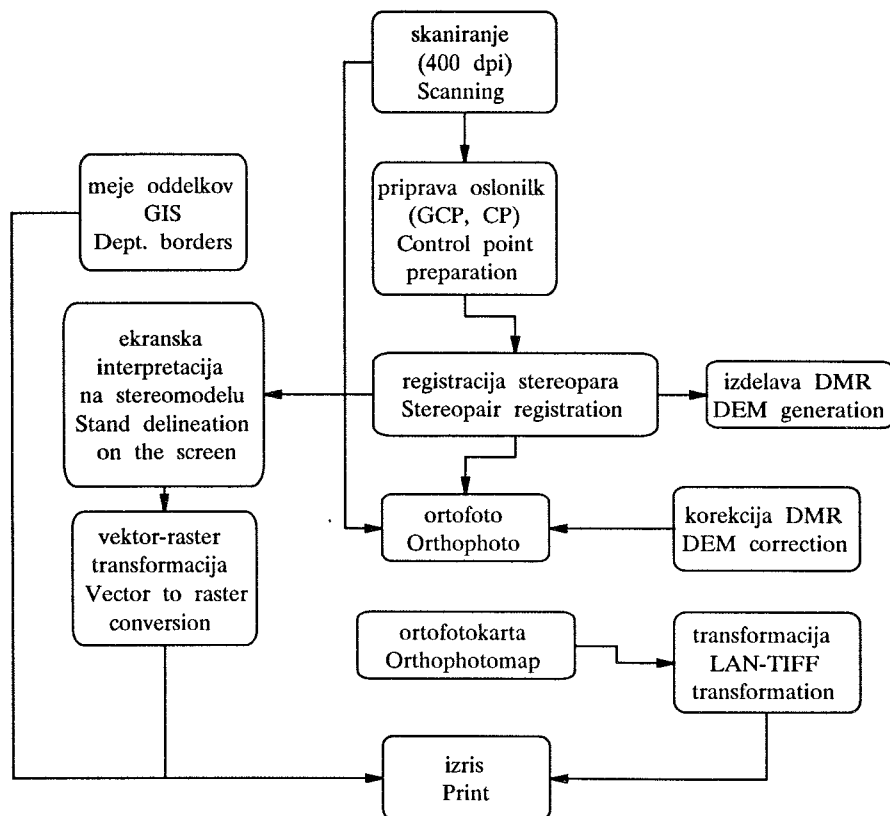
Sestojne meje najprej narišemo na prozorno folijo, s katero smo poprej prekrili aeroposnetek, še prej pa na njej s tušem označimo oslonilne točke in križne markice. Tehnologijo DF pri tem postopku uporabimo za transformiranje interpretirane vsebine v kartni koordinatni sistem in za izračun digitalnega OF, ki ga običajno izdelamo najprej. V drugi fazi torej transformiramo linije na prosojni foliji. Ker so le-te narisane na popačenih posnetkih vsebujejo vse geometrične deformacije značilne za aeroposnetek, prav zaradi tega pa jih je treba še skanirati in prevesti v kartni koordinatni sistem. To storimo z že izračunanimi transformacijskimi parametri aeroposnetka.

Za izdelavo OFK lahko neposredno uporabimo podatke DMR_{Slo} (100X100 m), kar je velika prednost, saj je na ta način mogoče razpačiti celotno površino aeroposnetka in ne le dela, ki je v območju stereoskopskega prekrivanja. Slabost tega postopka pa je, da je treba rastrsko karto z mejami in oznakami sestojev naknadno še vektorizirati. Pri neposredni ekranski interpretaciji stereomodela do tega podvajanja dela namreč ne pride.

Oba tehnološka postopka sta izhodišče za oblikovanje informacijske podlage o gozdnih sestojih. Vsebino fotointerpretacijske sestojne karte je mogoče obogatiti še s terenskim popisom. V že razmejenih sestojih torej popisujemo le tiste dendrometrijske in strukturne znake ter parametre, ki jih s fotointerpretacijo ni mogoče zanesljivo določiti (zaznati), pač pa jih je mogoče eksaktno popisati le na terenu (struktura temeljnice in lesne zaloge, poškodovanost sestoja, vertikalna zgradba, vrstna sestava, ohranjenost, biološka pestrost). Pred odhodom popisovalca na teren je treba v OF vgraditi še meje ureditvenih enot in sestojne meje, oboje pa privzamemo iz prostorskega informacijskega sistema, ki je metodološki okvir za povezovanje vseh informacij o gozdnem prostoru. Terenski popis je tako učinkovitejši, saj se popisovalec v gozdu lažje orientira (popisuje že razmejene sestoje na digitalni OFK) in se bolj posveti vsebinskemu delu.

4.4 Primer sestojne karte Muta

Sestojna karta Muta (slika 2) je izdelana po prvem postopku. Najpomembnejše faze dela skupaj z značilnostmi so prikazane na diagramu poteka na sliki 3.



Slika 3: *Diagram poteka izdelave ortofoto karte Mute*
Figure 3: *Flowchart of the working procedure (ex. Muta)*

OFK na sliki 2 je izdelana s pomočjo infrardečih aeroposnetkov Muta-2590 in Muta-2591 v nazivnem merilu 1:10 000, skaniranih z ločljivostjo 400 dpi v č/B tehniki. Velikost pikselov v naravi znaša 0,62 m.

Za orientacijo slike 2590 je bilo uporabljenih le 12 od 35 oslonilnih točk, pri sliki 2591 pa 14 od 28 (potrebnih je najmanj 6). Srednji kvadratni napaki oslonilnih točk (RMSE) znašata 0,69 oz 1,28 m (tabela 2) in sta relativno majhni.

Preglednica 3: Oslonilne točke in orientacijski parametri za aeroposnetek 2590 (posnetek zaslona)

Table 3: Control points, ground control points and orientational parameters of the aerial photo No. 2590 (Prt. Scr.)

Point	Status	Error	Point	Status	Error	Orientation Parameters
1	out	-----	20	in	1.172	XL = 5510681.240 m
2	out	-----	21	out	-----	YL = 5165265.464 m
3	in	1.093	22	out	-----	ZL = 3567.784 m
4	in	0.961	23	in	0.930	Ω = -0.209°
5	out	-----	24	out	-----	Φ = -0.886°
6	out	-----	301	in	0.901	K = -90.062°
7	in	1.122	302	out	-----	xo = 1803.342
8	out	-----	303	out	-----	yo = 1778.149
9	out	-----	304	out	-----	zo = -4807.803
10	in	1.337	306	out	-----	
11	out	-----	307	in	1.543	
12	out	-----	308	out	-----	Z = 545.026 m
13	out	-----	309	in	1.366	FH = 3022.757 m
14	out	-----	311	out	-----	Pixel size= 0.623 m
15	out	-----	312	in	1.012	Scale 1:9818.5
16	in	1.509	313	out	-----	Focal length=305.3 mm
17	in	1.414				
18	out	-----				Filename: 2590
19	out	-----				Ground units are in m
SOLUTION: Points=12 RMSExy(pixels)=1.11						RMSExy(ground)=0.69

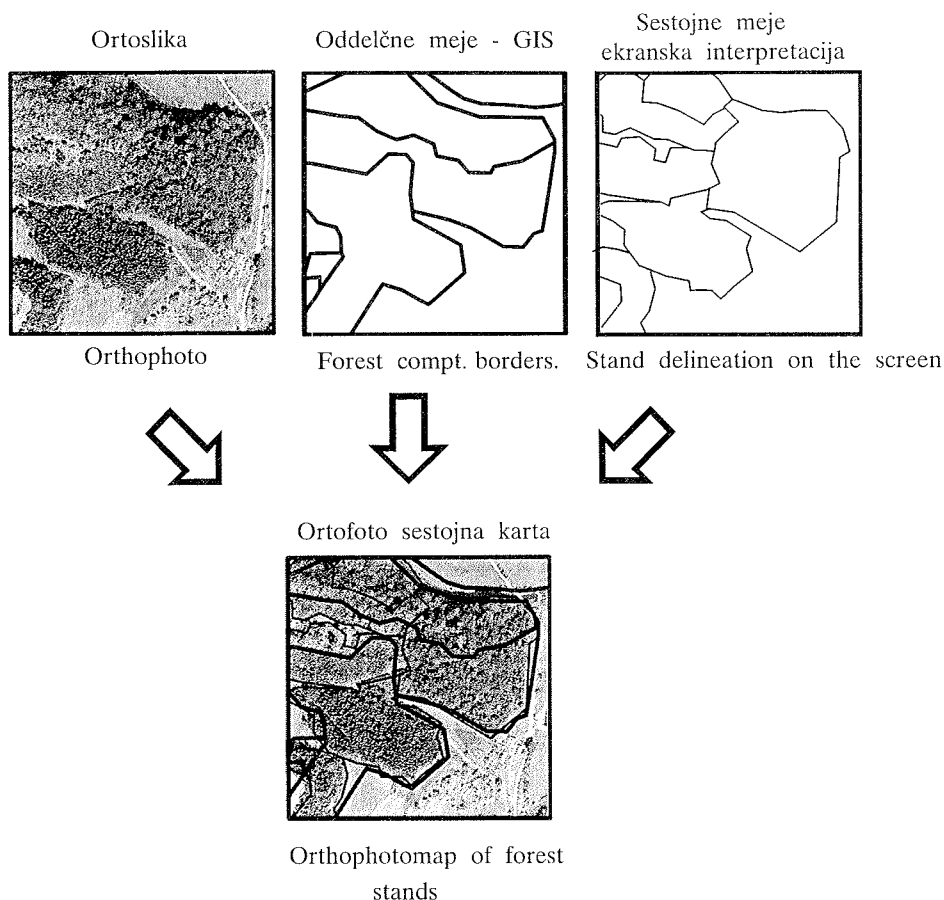
Po orientaciji je bil z registracijo obeh slik vzpostavljen stereomodel, na katerem je bila izvršena ekranska digitalizacija sestojnih mej. Z avtomatsko stereokorelacijo stereomodela je bil pri velikosti okna 15 x 15 pikslov izdelan še DMR z gostoto 40 x 40 pikslov, kar ustreza 25 x 25 m v naravi. Optična kontrola in popravki so bili izvršeni tako, da smo izračunani DMR položili preko stereomodela, vse lebdeče točke DMR pa so bile postavljene v pravi položaj. Popravljen DMR je bil nato uporabljen za izdelavo OF.

Na OF so mogoče vse vrste 2-dimenzionalnih meritev (razdalje, površine) in seveda samo kartiranje (ekranska vektorizacija) v izbranem koordinatnem sistemu.

V nadaljevanju je bil OF Mute prenešen v sistem IDRISI GIS (EASTMAN, 1992) in združen z GIS-sloji "Sestojne meje" in "Gozdarska

ureditev" (slika 4). Sestojna OFK je bila nato izpisana v Windows okolju (slika 2).

Zamik med OF in potekom oddelčnih in gozdnih mej na slikah 2 in 4 pripisujemo zastarelemu in nenatančnemu poteku meja na gozdarski karti. Izboljšave si obetamo od GPS tehnologije, ki bo omogočala bolj ali manj prosto izbiro oslonilnih točk.



Slika 4: Integracija digitalne ortofotografije in Gozdarskega informacijskega sistema

Figure 4: Integration of digital orthophoto with the data from forestry information system

4.5 Natančnost ortofoto kart

V spletu dejavnikov kot sta ceni sistema in izdelave OFK je pozicijska natančnost tretji odločilni kazalec, na podlagi katerega se uporabnik odloča ali bo tovrstno tehnologijo uporabljal ali ne. Že v začetnem poglavju smo povedali, da PC sistemi za DF ne omogočajo pozicijske točnosti prvega reda, marveč se gibljejo v tolerancah nekaj metrov.

Pozicijsko natančnost testnih primerov smo izračunali s primerjavo koordinat jasno prepoznavnih oslonilnih točk na OF in na karti. Za oslonilne točke smo uporabili vogale hiš, križišča cest, mostove ipd. Napake so podane kot diagonalni vektorji (RMSE_{xy}) v metrih.

Preglednica 4: Geometrijska (pozicijska) natančnost izdelanih ortofotografij
Table 4: Geometrical (positional) accuracy of various orthophotos

Merilo <i>Scale</i>	1:10 000	1:17 500	1:38 000
Objektiv f (mm) <i>Focal length</i>	305.33	210.75	152.98
Ločljivost (dpi) <i>Resolution</i>	400	600	600
Velikost piksla (m) <i>Ground resolution</i>	0.62	0.76	1.62
Število oslonilk (N) <i>No. of GCP's</i>	11	12	22
Višinska razlika (Δ m) <i>Elevation difference</i>	380	100	600
Napaka modela RMSE _{xy} (m) <i>Of the modell</i>	1.13	4.70	2.53
Napaka ortofotografije, kontr. točke RMSE _{xy} (m) <i>Of control points</i>	5.9	6.6	5.0
Opombe <i>Remarks</i>	**	*	*

* nacionalni DMR/national DTM

** izračunani DMR/computed DTM

Iz preglednice je razvidno, da znašajo pozicijske napake orientiranih modelov od 1 do 5 m, napake izračunanih OF pa od 5 do 7 m. Če

upoštevamo, da smo za določanje oslonilnih točk večinoma rabili okularne odčitke oslonilk, prepoznavne na kartah merila 1:5000 in 1:10000, je rezultat razmeroma ugoden. V zvezi z rezultati je treba povedati še to, da vrednosti srednjih kvadratnih pozicijskih napak (RMSE xy), ki nastanejo pri absolutni orientaciji posnetkov in stereomodelov niso garancija, da bodo imele enake napake tudi izračunane OFK. Pri teh so napake običajno nekoliko večje (preglednica 4, RMSExy orientiranega modela in kontrolnih točk). Testni modeli ne kažejo nikakršnih jasnih vplivov merila aeroposnetka, velikosti piksla in vrste uporabljenega DMR na velikost pozicijske napake.

O boljših rezultatih poroča STEINER (1992). Avtor navaja napake od 0.46 do 1.1 m, vendar ne poroča posebej, katero vrsto oslonilk je uporabil.

Vse napake, ki so prikazane v zgornji preglednici in o katerih tudi običajno govorimo so rezultat primerjave med kartnimi in slikovnimi koordinatami. Ker ne poznamo stvarne pozicijske napake kart, so vrednosti zgolj orientacijske, iz tega razloga pa tudi ne govorimo o točnosti ampak o natančnosti OF. Njihovo stvarno pozicijsko točnost bi lahko ugotovili samo, če bi v procesu orientacije aeroposnetkov za oslonilne točke uporabili prepoznavne trigonometrične točke (I, II in III reda), ki bi morale biti v ta namen pred avionskim snemanjem vidno označene na terenu.

V procesu nastanka digitalne OF je zbiranje in odčitavanje koordinat oslonilnih točk, s katerimi absolutno orientiramo aeroposnetke najbolj odgovorna naloga, saj od te delovne faze zavisi kvalitetno delo vseh kasnejših. Jasnih pravil, kako oslonilke izbirati žal ni! Morda samo opozorilo, da višji in visoki objekti za oslonilke (nadstropne hiše, bloki, poslovne stavbe) niso najbolj primerni, ker so na posnetkih (razen v centralnem delu) večinoma prevrnjeni, topografske karte pa pri upoštevanju njihovega dejanskega (ortogonalnega) tlorisa niso najbolj dosledne. Na področju Ljubljane smo npr. odkrili celo primere, da so vertikalne stene objektov predstavljale realne površine na karti!?

5 IZDELAVA ORTOMOZAIKA

Poleg že obravnavanih možnosti omogoča DF tudi izdelavo ortomozaikov. Sistem temelji na spajanju absolutno orientiranih OF v eno celoto, pri tem pa se zaenkrat ni mogoče izogniti razmeroma ostrim mejam in striženjem med spojenimi deli. Ti so posledica različnih orientacijskih parametrov posameznih slik, ki so združene v mozaik. Problem je precej resen za aplikacije, ki zahtevajo geodetsko natančnost, v gozdarskih pa diskrepance stikov, velike nekaj pikselov niso preveč moteče. V dosedanjem testiranju temu problemu nismo posvečali veliko pozornosti, saj je to splošen kartografski problem in v svetu še ni rešen. Nekatere možnosti (vendar ne programske rešitve) bomo v prihodnje preizkusili tudi sami.



Slika 5:
Figure 5:

Izsek iz ortomozaika Rožnik
Partial detail from the orthomosaic "Rožnik"

V času testiranja programa so bili ortomozaiki izdelani za več področij. V celoti je obdelan Rožnik, pri katerem je bila za razmejevanje sestojev uporabljena ekranska digitalizacija, sicer pa je bil izdelan z nacionalnim DMR_{slo} gostote 66.67 m. Tudi ortomozaika GGE Nadgorica-Senožeti in GGE Mozelj na Kočevskem sta bila izdelana z nacionalnim DMR_{slo} , interpretacija pa je tekla na analognih posnetkih. Osnovne značilnosti izdelanih ortomozaikov so podane v spodnji preglednici.

Preglednica 5: Značilnosti izdelanih ortomozaikov

Table 5: *Characteristics of produced orthomosaics*

Področje	Nazivno merilo posnetkov	Tip posnetkov	Število združenih posnetkov	Velikost piksla/ napaka (m)	Vsebina	Barva izrisa
<i>Location</i>	<i>Original scale</i>	<i>Type of photos</i>	<i>No. of photos in the mosaic</i>	<i>Ground resolution Pixel/RMSExy(m)</i>	<i>Contents</i>	<i>Type of the output</i>
Rožnik	1:17500	PAN/ČB <i>PAN/BW</i>	2	0.75/4.5	sestoji, <i>stand map</i>	ČB <i>BW</i>
Mozelj	1:38000	CIR	4	2/5	sestoji, meje oddelkov, odsekov <i>stand map, forest compartments</i>	barvno <i>color</i>
Nadgorica, Senožeti	1:17500	PAN/ČB <i>PAN/BW</i>	12	2/5	sestoji, meje oddelkov, odsekov <i>stand map, forest compartments</i>	ČB <i>BW</i>
Šmarna gora	1:10000	PAN/ČB <i>PAN/BW</i>	2	2/5.5	-	ČB <i>BW</i>

Izdelava tematskih kart na ortomozaikih je razmeroma preprosta, zahteva pa razpolaganje z vektorskimi zapisi interpretiranih vsebin. V kolikor imamo opravka z ekransko interpretacijo je ta sila preprosta, ker lahko vektorski

zapis "vlečemo" skozi vse stereopare in ga sproti dopolnjujemo, na koncu pa ga vgradimo v ortofotomozaik. Enako kot v primeru "surovega" (kartografsko neopremljenega) ortofotomozaika so tudi v tem primeru pri stikih navzoči prelomi linij (ekranska stereointerpretacija teče na različno orientiranih stereomodelih), ki pa jih je mogoče korigirati (zgladiti).

6 DISKUSIJA IN SKLEPI

Poznanih je le malo primerov uporabe digitalne OF v gozdarstvu, še manj pa jih je objavljenih v literaturi. V Sloveniji dela na področju fotogrametrije kar nekaj geodetskih inštitucij in prav gotovo bodo v prihodnosti ponujale OF v obliki digitalnih datotek. Če pa upoštevamo, da so te datoteke zelo velike in jih je zelo težko prenašati, bodo imele od tega discipline, ki črpajo številne informacije iz stereomodelov le malo koristi.

Digitalne OFK postajajo iz dneva v dan pomembnejše kot sestavni del prostorskih informacijskih sistemov. Digitalna OFK ima v primerjavi z analogno OFK tudi nekaj odločilnih prednosti; poleg možnosti za neposredno povezavo z GIS sistemi se obetajo še skoraj neomejene možnosti za izdelavo geometrično eksaktnih delovnih kart v različnih merilih. Ker je OFK mogoče izdelovati tudi na standardni računalniški opremi, bodo imele velike koristi od tega predvsem ustanove, inštitucije in podjetja, ki neposredno gospodarijo s prostorskimi in naravnimi viri.

Do sedaj smo govorili le o letalskih posnetkih, ki jih je treba pred obdelavo digitalizirati. Obstajajo pa tudi izvorni digitalni posnetki, ki jih lahko čitamo brez pretvorb in jih prav tako obdelujemo z digitalnimi fotogrametričnimi sistemi. Trenutno so to slike satelita SPOT, ki so posnete tudi stereoskopsko. Njihova prednost je velika preglednost, pomanjkljivost pa majhna ločljivost, ki za zdaj znaša le 10 m.

Ne glede na trenutne možnosti opazovanja Zemlje iz vesolja pa se tudi na področju satelitskega zaznavanja obetajo številne izboljšave in novosti. Do konca tisočletja tako že načrtujejo satelite, ki bodo na Zemljo pošiljali stereoskopske slike z velikostjo piksla 3 do 5 m, že danes pa obstajajo ruski posnetki iz vesolja, ki imajo ločljivost pod 1 m (GUPTA, 1994), kar

je že v območju letalskih posnetkov majhnih meril. Hkrati napreduje tudi razvoj digitalnih letalskih kamer; te bodo v prihodnje nudile slike, pri katerih bodo pomembnejši orientacijski parametri samodejno vključeni v glave posnetkov.

Slovenskemu gozdarstvu napredek na področju DF zelo koristi. Tehnologija in pa doseženi rezultati, prikazani v raziskavi se zdijo dovolj spodbudni, da lahko z veliko gotovostjo trdimo, da si od novega postopka ne obetamo samo rešitve dosedanjih problemov s kartiranjem (če so izpolnjeni osnovni pogoji - npr. prisotnost oslonilnih točk) ampak veliko več. Digitalno OFK bomo kot referenčno plast namreč poizkušali integrirati v GPIS, s čimer bomo resnično lahko zagotavljali nadzor in spremljanje stanja in razvoja gozda v času in prostoru. Pri tem poudarjamo, da za gozdarstvo (razen na področju gozdne tehnike) sploh ni toliko važna točnost OFK kot njihova vsebina. Osnovna kategorija opazovanja je namreč dinamična tvorba "gozdni ekosistem", ki je v času in prostoru itak spremenljiv, meje med ekosistemi pa so po izkušnjah sodeč bolj ali manj subjektivne.

SUMMARY

The advent of new technologies brings new possibilities to forestry and other related disciplines for deepening their knowledge. One reliable possibility, basically concerning spatial aspects of forest ecosystems, is undoubtedly remote sensing. For Slovenian forestry it can be stated that this technology has been well known and exploited only in the research work (forest stand mapping, ecosystem mapping, landscape mapping, assessment of forest decline etc.). Much less attempts have been made in forestry practice, where aerial photographs were used mostly for orientation on the terrain, delineation of forests from the neighbouring ecosystems and for rough areal assessments of the forest land. The major cause of remote sensing non-popularity was probably the mapping process that was hardly carried out because of insufficient sophisticated equipment.

Due to this reason Slovenian Forestry Institute and Forestry Department of Biotechnical Faculty decided (in the middle of the 80s) to develop a computer system for monorestitution of aerial photographs. The experiment

somehow failed and both institutions have been continuing with the development of appropriate mapping procedures mostly by using the simple analytical stereo plotter (Swiss APY) or by using the software available on the market (such as the Dutch MONOPLOT, Slovenian AMS).

At the beginning of the 90s, when digital photogrammetry has already started its march, it has become clear, that this technology offers till the date almost unpredictable solutions. Its most important contribution to the new way of interpreting spatial data seems to be direct integration of various data-types, direct editing of interpreted data, enriched functions for improving digital photographs, interface with the other GIS functions and GIS environment, production of orthomosaics, automatic generation of a DTM and simple up-dating of existing databases. Regarding all these possibilities Forestry Institute purchased the PC based software system (DMS&SPM), ensuring orthophoto production and began with the research work.

The basic objectives of the study are:

1. assessment of the orthophoto's and stereo model's spatial accuracy and possibilities of the screen photo interpretation,
2. possibilities of use of a national DTM within the orthophoto module,
3. possibilities of orthomosaicking,
4. assessment of digital photogrammetry techniques in the Alpine terrain,
5. possibilities of developing a genuine working procedure that could assure an integration of photo-data with the GIS.

ad 1) The positional accuracy of the stereo model and of orthophoto varies and is commonly dependant on factors such as resolution of the digital photograph, accuracy of the control and ground control points, morphological characteristics of the terrain, accuracy of the digital terrain model and capability of the software. The testing models carried out so far do not show any significant relations between scales of the photographs, pixel sizes and types of the DTM on the one side and positional errors on the other one. The average RMSE (xy) for stereo models and for final orthophoto maps are presented in table No. 4. The average errors of the final orthophotos do not exceed 7m and the result seems to be acceptable for all forestry

applications not requiring highly precise positional data (e.g. road construction).

ad 2,3) Like many other nations Slovenia has also created the national DTM with a raster based grid-cell 100 x 100 m. The database has been frequently used in various forestry applications, mostly in spatial modelling, visualisation of the terrain in GIS applications etc. By taking into consideration the fact that a restitution of aerial photos is carried out on the principles of monorestitution (supported by the computed DTM of the area covering a stereo model), it seemed to be much more convenient to use the national DTM instead of the computed one. Data transformation into readable format and data interpolation into appropriate grid density was successfully solved by the developed module DMR2DEM. Further tests have also confirmed the procedure involving national DTM to be much more effective. This is because of two reasons:

- there is no need to correct the computed DTM (time consuming procedure) and
- the entire area of a single photo can be exploited at once.

The production of an orthomosaic is possible though it is not yet perfect. At the moment of speaking, unsolved problems are occurring while fitting two neighbouring orthophotos into one single, larger photo. Significant tonal and spatial discrepancies are visible in most parts of the mosaic (especially in the urban area -non matching streets).

ad 4) Using photogrammetry techniques in a flat terrain is commonly simple. More troubles can be expected in the hilly and Alpine area where it is hard to find the adequate number of control and ground control points for absolute orientation of the photos. To overcome this problem exhaustive testing of alternative methods for defining such points (e.g. global positioning system) is still needed.

ad 5) The potentials of digital photogrammetry can be used in various fields of forestry, especially in landscape ecology, forest management, forest silviculture and forest technique. All these fields need an exhaustive geographic (spatial) information system and the orthophoto

as the reference base seem to be a reliable link between photo and other GIS data. Figure 2 shows such an approach. It is also of extreme importance to know that the orthophoto itself does not have any particular value in forestry. Most quality information still are and will have to be collected by means of stereo interpretation (on the screen or by analogue techniques) and fulfilled by terrain observations.

VIRI

- BONIFACE, P.R.J., 1992. PRI2SM-Softcopy production of orthophotos and DEM. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, 1, s. 91-94.
- EASTMAN, J.,R., 1992. IDRISI, Version 4.0. Worcester, MA: Clark Univ. Graduate School of Geographie.
- GUPTA, V., 1994. Remote sensing and Photogrammetry in treaty verification: Present challenges and prospects for the Future. *Photogramm. Rec.*, 14, 83, s. 729-745
- HOČEVAR, M., 1988. Ciklično aerosnemanje Slovenije v obdobju 1985 - 1987 in njegova uporaba v gozdarstvu. *Gozdarski vestnik*, 46, s. 205-213.
- HOČEVAR, M., HLADNIK, D., 1988. Integralna foto-terestrična inventura kot osnova za smotrno odločanje in gospodarjenje z gozdom. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 31, s. 93-120.
- HOČEVAR, M., 1992. Waldzustandserfassung in naturnahen Wäldern Sloweniens. *Öst. Forstztg.*1, s.9-12
- HOEHLE, J., 1992. Zur Anwendung digitaler Orthophotos in Geographischen Informationssystemen. *Geo-Informationssysteme*, 4, 4, s. 7-13.
- KIENEGGER, E. 1992. Photostation: an operational system for data capture and updating of geographic databases using aerial photography. *Geo-Informationssysteme*, 5, 4, s. 20-27.
- KOVAČ, M., 1992. Poizkus kritične razčlembे gozdarskega informacijskega sistema. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 40, s. 123-160.
- KRALJ, T., 1986. Digitalna monorestitucija - restitucija aeroposnetkov z uporabo digitalnega modela reliefa. IGLG, Ljubljana, 10s.
- KRALJ, T., 1994. Programski modul za konverzijo podatkov slovenskega DMR v DMS format
- MADANI, M., 1992. The Intergraph Imagestation photogrammetric system. *ITC Journal*, 1992-1, s. 87-92.
- MILLER, S.B., HELAVA, U.V., HELAVA, K.D., 1992. Softcopy photogrammetric workstations. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, 1, s. 77-83.

- MOLENAAR, M., STUIVER. J., 1987. A PC digital monoplotting system for map updating. ITC Journal, 4, s. 346-350.
- NAITHANI, K., 1990. Can satellite images replace aerial photographs? ITC Journal 1: 29-31
- STEINER, D.R., 1992. The integration of digital orthophotographs with GIS in a microcomputer environment. ITC Journal,1:65-72
- WELCH, R., 1992a: Photogrammetry in Transition-analytical to digital. Lemmer, Geodetical Info Magazin, 6,7, s. 39-41
- WELCH, R., 1992b: Desktop Mapping system DMS/SPM, 3.1 Version. Manual.