

HOČEVAR

A. Bogataj  
sklad

Republika Slovenija  
MINISTRSTVO ZA ZNANOST IN TEHNOLOGIJO  
61000 LJUBLJANA, Slovenska 50

## ZAKLJUČNO POROČILO

O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA NA  
ZNANSTVENO RAZISKOVALNEM PROJEKTU ZA TRILETNO OBDOBJE

Naslov raziskovalnega projekta:

**ANALIZA NARAVNIH DANOSTI IN OCENA RAZVOJNIH POTENCIALOV  
KOČEVSKE KRAJINE**

Izvajalec: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo

Odgovorni nosilec: dr. Milan HOČEVAR, redni profesor

Številka pogodbe: *P4-0253-0488-93*

GOZDARSKA KNJIZNICA

GIS K E  
420 1

GIS BF - GOZD



10000002001

COBISS •

# ANALIZA NARAVNIH DANOSTI IN OCENA RAZVOJNIH POTENCIALOV KOČEVSKÉ KRAJINE

## Izveček

V poročilu podajamo pregled raziskav gozdnate krajine na Kočevskem in ocenjujemo možnosti gospodarjenja na podlagi naravnih danosti. Predlagamo koncept za oblikovanje prostorskega informacijskega sistema v gozdarstvu in pri gospodarjenju s prostorom do regionalne ravni. V raziskavah gozdnate krajine smo analizirali rabo prostora in pokrovnost vegetacije. Ocenili smo značilnosti in prostorske parametre gozdnega ekosistema, gozdnih sestojev ter ohranjenost okolja. Na regionalni ravni smo za analizo uporabili multispektralne podatke satelita Landsat TM, podatke gozdarskega informacijskega sistema in drugih strok, ki raziskujejo ali gospodarijo v krajini. Podrobnejše analize smo izdelali v modelnem območju raziskav na podlagi digitalnega ortofota in zasnovanega prostorskega informacijskega sistema. Postavili smo sistem terenskih stalnih vzorčnih ploskev, ki predstavljajo najpodrobnejši nivo raziskovanja v krajini, hkrati pa so podlaga za kalibriranje podatkov in informacij na višjih hierarhičnih nivojih. Razvite metode so hkrati tudi izhodišče za okoljski monitoring

# ANALYSIS OF THE NATURAL POTENTIALS AND ASSESSMENT OF DEVELOPMENTAL POSSIBILITIES FOR KOČEVSKA REGION

## Abstract

The objectives of the project were to study preserved forested landscapes and to develop such models for environmental management, that would help foresters and other planners to manage their region on the basis of sustainability and given ecological conditions. This report describes the proposed process for development of a geographic information system in forestry and land management at the regional level. The employed monitoring system contained the analyses of land cover and land use, forest stands characteristics and of growing stock, forest functions inventory and inventory of the environmental quality. The regional level was analyzed through the Landsat image data, forest GIS and other environmental data. More profound analysis, based on digital orthophoto was involved in the second strata's level, when detailed re-examination of the strata types was carried out. All photo and forest field data were finally calibrated by data and attributes from the permanent sampling plots. The developed methods should also give a methodological foundation of environmental monitoring.

## 1. CILJI PROJEKTA

Raziskovalni projekt je v triletnem obdobju povezoval več raziskovalnih ciljev:

- zasnovano računalniško podprtega prostorskega informacijskega sistema (GIS) za kočevsko regijo,
- zasnovano gozdarskega prostorskega informacijskega sistema za tedanje Gozdno gospodarstvo Kočevje,
- pripravo podlag za razvojni program kočevske krajine, za valorizacijo in oblikovanje različnih režimov gospodarjenja v Kočevskem naravnem parku.

Projekt smo oblikovali, ker smo hoteli izdelati koncept prostorskega informacijskega sistema za krajinsko ekološko načrtovanje na regionalni ravni. Pobudo za vsebino projekta so dali kočevski gozdarji, ki so v začetku devetdesetih let začeli pripravljati program Kočevskega naravnega parka. Z njihovim sodelovanjem smo hoteli izdelati prostorski predlog razvoja, ki bo podrejen oziroma skladen z naravnimi danostmi kočevske krajine.

Pobudnikom za razvojni program Kočevskega naravnega parka seveda ni uspelo v kratkem triletnem obdobju uresničiti ambicij o razglasitvi novega naravnega parka. Do danes niso dokončno določili niti osnovnih upravnih mej varovanega območja, vprašanja o tem ali bo park vključeval več občin in nekdanjih gozdnih gospodarstev še niso rešena. Za vsebino raziskovalnega projekta to niti ni očitno, kajti ob pripravi podlag za program razvoja Kočevske smo predvsem želeli rešiti metodološke probleme pri raziskovanju naravnih ekosistemov, oblikovati zasnovano prostorskega informacijskega sistema do regionalne ravni in oblikovati elemente monitoringa slovenskih krajin - od posameznih dreves, preko gozdnega sestaja do krajinskega in regionalnega nivoja.

Ker je bilo sodelovanje kočevskih gozdarjev manjše od načrtovanega, skrčen pa je bil tudi stroškovni obseg prijavljenega projekta, raziskovalnih ciljev nismo dosegli v celoti. Za izpeljavo prijavljenega projekta smo načrtovali 5100 raziskovalnih ur letno, odobrenih je bilo le 387. Raziskovalni dosežki so vseeno dovolj kakovostni, da bi bilo z nadaljevanjem dosedanjega dela mogoče dokončati tudi sklepni del pri pripravi izhodišč za oblikovanje Kočevskega naravnega parka.

Dosežki niso namenjeni le dejavnostim, nujnim za razglasitev in delo morebitnega naravnega parka. Predstavljajo jasen koncept dela, ki ga je mogoče uporabiti v katerikoli slovenski krajini ali upravni enoti do regionalne ravni gospodarjenja s prostorom.

Delo bomo v naslednjih letih nadaljevali. Spomladi 1995 bo mladi raziskovalec dokončal svojo doktorsko nalogo v okviru projekta kočevske regije, novi kandidat v doktorskem postopku pa bo delo nadaljeval na področju satelitskega zaznavanja.



## 2. POVZETEK GLAVNIH REZULTATOV

Prostorski predlog razvoja Kočevske je mogoče izdelati s krajinsko analizo na regionalni ravni kot najvišji prostorski enoti, vanjo pa morajo biti vključene tudi podlage za podroben nivo načrtovanja in odločanja. Tak projekt je mogoče učinkovito izpeljati le s sodelovanjem ljudi, ki oblikujejo razvojne programe za Kočevsko. Vladna komisija je prepustila pripravo strokovnih podlag za oblikovanje naravnega parka Gozdnemu gospodarstvu Kočevje. Tudi pri projektu smo sodelovali predvsem s kočevskimi gozdarji. V regionalno in podrobno zasnovo prostorskega informacijskega sistema smo vključili gozdarski informacijski sistem in tudi zanj izdelali zasnovo prostorskega informacijskega sistema. Ta del projekta je informacijsko najbogatejši, saj je gozdarstvo doslej najbolje obvladovalo prostor v regiji.

Kljub dolgi tradiciji in bogati dokumentaciji o gospodarjenju z gozdovi, se je izkazalo, da smo prostor in predvsem podatke in informacije o prostoru doslej zelo slabo obvladali. V povzetku glavnih raziskovalnih rezultatov bomo to oceno utemeljili in predstavili rešitve, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta.

### 2.1 Oblikovanje koncepta raziskovalnih ravni

V zadnjih desetletjih so številni okoljski problemi pokazali pomen celostne perspektive pri preučevanju okolja. Tudi pri gospodarjenju z obnovljivimi naravnimi viri prehajamo od koncepta trajnih donosov dobrin iz gozda k trajnostnemu gospodarjenju z gozdnim ekosistemom in gozdnato krajino. Ob spremenjenem konceptu gospodarjenja in drugačnem odnosu do okolja je potrebno preučevati procese v krajini in njene lastnosti tudi v večjih prostorskih merilih, kot smo jih upoštevali doslej. Skladno z modelom ekološke hierarhije se področje preučevanja širi od nivoja drevesa ali organizma, gozdnega sestoja ali travnika, vse do biomov. Ker so ekološki sistemi povezani v hierarhični strukturi, jih je nemogoče opisati z značilnostmi in procesi, ki smo jih spoznali le na enem od proučevanih nivojev. Večkrat izrečeno resnico, da sistem ni le vsota njegovih posameznih delov, je potrebno upoštevati tudi pri opisovanju pestrosti ter določanju oblikovalnih procesov in dejavnikov v krajini.

V projektu smo povezali štiri ravni raziskovanja gozdnih ekosistemov in gozdnate krajine. Te se med seboj hierarhično povezujejo od regionalne, preko krajinske do sestojne in drevesne ravni. Na ravni gozdnih sestojev je stičišče povezovanja podatkov in informacij od velikoprostorskih enot navzdol. To so hkrati osnovni prostorski nosilci informacij, na katere navezujemo terenske popise o vrstni pestrosti ekosistemov, sestojni zgradbi, lesni zalogi in prirastku sestojev, njihovi horizontalni in vertikalni razgibanosti, obliki in dožini gozdnega roba. Na stalnih vzorčnih ploskvah, ki so sistematično razporejene v prostoru, spremljamo rast posameznih dreves, poškodovanost krošenj in debla, starost in socialni položaj, dendrometrijske podatke o premeru, debelinskem prirastku in višini dreves. Ocenjujemo pomlajevanje, mortaliteto in posek ter prisotnost odmrlih dreves v sestoju. Točkovno zbrane informacije združujemo na višje hierarhične nivoje s stratificiranjem. Kriteriji stratificiranja so lahko ekološke enote, oblikovane na regionalni ali krajinski ravni, upravne in gospodarske enote ali tudi področja z določenim režimom gospodarjenja v naravnem parku.

Stratumi tako niso le prostorske enote za agregiranje podatkov iz nižjih hierarhičnih ravni, so holistične enote, ki smo jih izluščili z opazovanjem in analizo prostorskih enot v večjih prostorskih merilih. Na regionalni ravni kot najvišji prostorski enoti ne zbiramo le podatkov o gozdnatosti, poškodovanosti, rasti in lesni zalogi gozdov. Pomembno je določiti prostorsko matriko, ki določa lastnosti krajine, oceniti fragmentiranost in obliko razporeditve gozda v krajini.

## 2.2 Metodološki dosežki projekta

Za oblikovanje celostnega koncepta raziskovanja krajine je bilo potrebno povezati različne tehnologije in zgraditi metodološko podlago za zbiranje, povezovanje, preoblikovanje in analiziranje prostorskih podatkov. Metodološki okvir za tako delo je prostorski informacijski sistem (GIS). Zasnovali smo ga tako, da je prilagojen modelu ekološke hierarhije, hkrati pa je združljiv z drugimi nosilci gospodarjenja v prostoru. Snovanje prostorskega informacijskega sistema za regionalno ali tudi lokalno raven v praksi pogosto podcenjujemo. V začetni fazi je res potrebno zbrati javne podatke in informacije drugih uporabnikov prostora ter jih povezati s podatki lastne stroke, toda le malo podatkov in informacij je takih, da bi bili primerni za takojšnjo izpeljavo raziskovalnih projektov ali reševanje konfliktnih stanj med nosilci gospodarjenja v prostoru.

Za velik del regije so šele med potekom projekta začeli izdelovati nujno referenčno osnovo - Temeljni topografski načrt. Zanesljivih in podrobnih informacij, ki bi parcialno obravnavala regijo doslej ni bilo. Prevladovale so generalizirane tematske karte v majhnih merilih, namenjene predvsem pregledu najpomembnejših krajinskih in ekoloških značilnosti regije.

Tabela 1: Viri zajemanja in podatkovni modeli na regionalni ravni raziskave

Multispektralni podatki **Landsat TM**; rastrski model

**Vegetacijska karta** Kočevsko Ribniškega območja, M=1:200000; ploskovna topologija

**Pedološka karta** Kočevsko Ribniškega območja, M=1:200000; ploskovna topologija

**Geološka karta** Kočevsko Ribniškega območja, M=1:200000; ploskovna topologija

**Geomorfološka karta**, M=1:500000, morfometrične karte izpeljane iz DMR100 - karte višinskih pasov, naklona, ekspozicije, reliefne amplitude; rastrski model

**Klimatske karte**, izpeljane po metodi gradientov iz podatkov DMR100 - karte globalnega sončnega obsevanja, količine padavin, dolžine vegetacijske dobe; rastrski model

**Hidrološki podatki**, M=1:50000; ploskovna in linijska topologija

**Družbeni plan** občine Kočevje, M=1:50000, ploskovna topologija

**Objekti varstva naravne in kulturne dediščine**, M=1:50000; ploskovna, linijska in točkovna topologija

**Gozdarski informacijski sistem**, M=1:5000; centroidi, rastrski model

**DMR100**, M=1:25000; rastrski model,

**ROTE in EHIŠ**, M=1:5000; ploskovna topologija, centroidi

**Cestno omrežje**, M=1:50000, linijska topologija.

*pod vodilno modelno!*

Karte smo vektorsko digitalizirali in s programskim orodjem ARC/INFO oblikovali zasnovno prostorskega informacijskega sistema na regionalnem nivoju. Za obdelavo rastrskih kart smo uporabili programska orodja ILWIS, DMS30 in IDRISI. V zasnovno sistema smo prenesli tudi baze javnih prostorskih podatkov, jedro prostorskega informacijskega sistema pa smo izdelali sami. Ocenjujemo, da tehnike daljinskega pridobivanja podatkov predstavljajo temeljne informacijske vire na hierarhično zasnovanih raziskovalnih ravneh - od regionalne in krajinske do ravni gozdnega ekotopa kot osnovne homogene prostorske enote. Raziskali smo tehnike daljinskega pridobivanja podatkov, ki jih doslej v krajinskih analizah na slovenskem nismo uporabljali:

- avtomatsko interpretacijo multispektralnih satelitskih posnetkov,
- izdelavo digitalnih ortofoto posnetkov.

Obe tehniki sta postali učinkoviti, ko smo ju preko digitalnih rastrskih slik in tematskih kart povezali v prostorski informacijski sistem. S kombiniranjem obeh tehnik v prostorskem informacijskem sistemu smo informacijsko pokrili tri prostorske raziskovalne ravni. Pregled nad Gozdnogospodarskim območjem Kočevje smo izdelali na podlagi analize spektralnih kanalov satelitskega posnetka Landsat TM, posnetega 27 avgusta 1992. Barvno kompozitno sliko smo izdelali iz spektralnih kanalov številka 7, 4 in 3. To sliko smo prevedli v GK koordinatni sistem in jo v obliki rastrske pregledne karte vpeli v prostorski informacijski sistem (Slika 1). S polinomsko transformacijo drugega reda smo dosegli sprejemljivo napako oslonilnih točk ( $RMSE_{xy}=0.54$  piksla). Za obdelavo multispektralnih podatkov smo uporabili programski orodji ILWIS in IDRISI.

Proučili smo del možnosti, ki jih za izdelavo karte pokrovnosti na regionalni ravni ponujajo multispektralni podatki in izdelali nadzorovano klasifikacijo satelitskega posnetka Landsat TM. Uporabili smo metodo večplastne klasifikacije. Klasično nadzorovano klasifikacijo treh spektralnih kanalov (številke 5, 4 in 3) smo izboljšali z izračunanimi vegetacijskimi indeksi teh kanalov in podatki digitalnega modela reliefa DMR100. Apriorne verjetnosti za klasifikacijski algoritem maximum likelihood smo ocenili po analizi podatkov v območnem gozdnogospodarskem načrtu, glede na podatke družbenega plana občine Kočevje, usklajenih kart gozdnogospodarskega območja in dolgoročnih planov občin v Ribniškem delu regije.

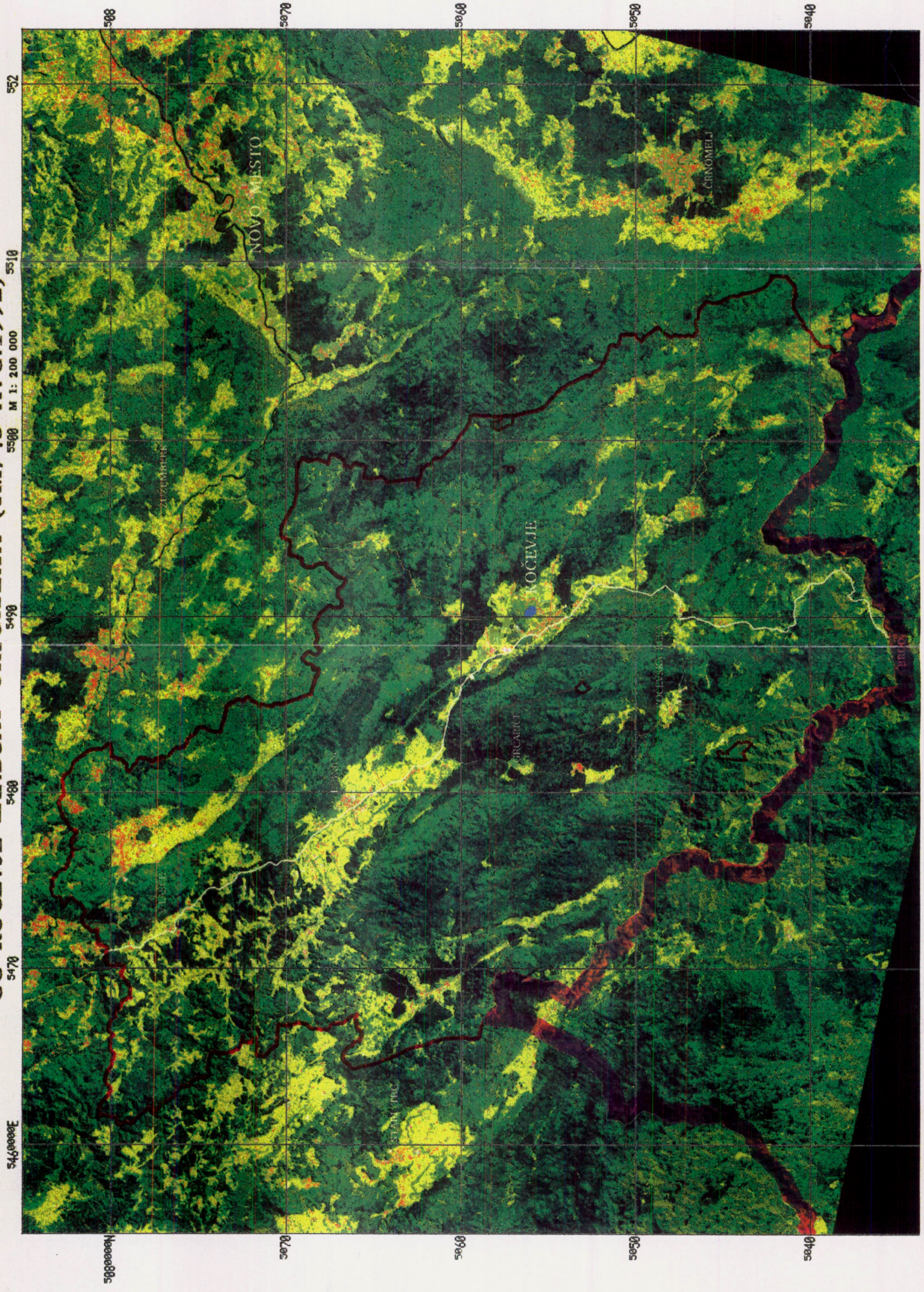
Karte ali zbirke podatkov, ki bi podajala zanesljivo oceno gozdnosti in rabe prostora v regiji ni. Stanje prostorskih evidenc, ki so bile na voljo, je mogoče najbolje ponazoriti z razlago v območnem gozdnogospodarskem načrtu. Tu je površina gozda v letu 1990 za 35% večja od tiste v katastru. Gozdarji navajajo, da v njihovi oceni površine gozdov niso zajeti vsi gozdovi v regiji, hkrati pa opozarjajo, da površin varovalnih gozdov gozd ne porašča v celoti.

Dosedanji gozdarski informacijski sistem je bilo mogoče le delno uporabiti v zasnovi prostorskega informacijskega sistema na regionalni ravni. Zastarel koncept zbiranja podatkov zanj je podrejen odseku kot najmanjši upravni enoti. Prostorsko opredeljenost odseka naj bi dosegli na podlagi centroida, toda tega nismo uspeli objektivno povezati z drugimi nosilci informacij niti ne s sistematično vzorčno mrežo. Če bi vektorsko digitalizirali meje odsekov, bi bilo tako povezavo mogoče zagotoviti, toda večina gozdnogospodarskih enot še ob obnovi evidenc do leta



GG KOČEVJE LANDSAT ORTOKARTA (TM743 AVG.1992)

5500 M 1: 200 000



5460000E

5470

5480

5490

5500

5510

552

5080000N

5070

5060

5050

5040

508

5070

5060

5050

5040

VLASICE

ZUZUMBERK

NOVO MESTO

STANIČNICA

PRACE

OČEVJE

OČEVSKA JELA

ČRNOMELJ

PR.Č.



1990 ni bila pokrita s kartami temeljnega topografskega načrta. Da bi lahko podatke gozdarskega informacijskega sistema uporabili tudi na regionalni ravni, smo centroide odsekov nadomestili s sistematično vzorčno mrežo gostote 500x500 m. Območje regije smo tako pokrili s 4726 vzorčnimi točkami, ki predstavljajo popis gozdarskih upravnih enot.

Nov gozdarski prostorski informacijski sistem smo zasnovali v modelnem območju raziskav. Območje meri okrog 11 000 ha in se razprostira od južnega dela gozdnogospodarske enote Stojna do Koprivnika in Nemške Loke na vzhodu (Slika 3). Tudi tu so jedro informacijskega sistema tehnike daljinskega pridobivanja podatkov. S programskim orodjem DMS30 smo v modelnem območju proučili tehnologijo izdelave digitalnega ortofota. Iz barvnih infrardečih letalskih posnetkov, posnetih 16 avgusta 1992, smo sami izdelali digitalni ortofoto mozaik in ga vpeli v prostorski informacijski sistem modelnega območja. Klasične fotointerpretacijske tehnike letalskih posnetkov smo nadgradili s tehnologijo digitalnega ortofota. Uporabili smo jo, ko smo interpretirano vsebino iz letalskih posnetkov prevedli v vektorske tematske karte gozdnih sestojev in krajinskih geomorfoloških enot. S tehniko enoslikovnega kartiranja smo dosegli dobro pozicijsko natančnost gozdarskih tematskih kart. Povprečna kvadratna napaka za kontrolne točke v modelnem območju znaša 5 m.

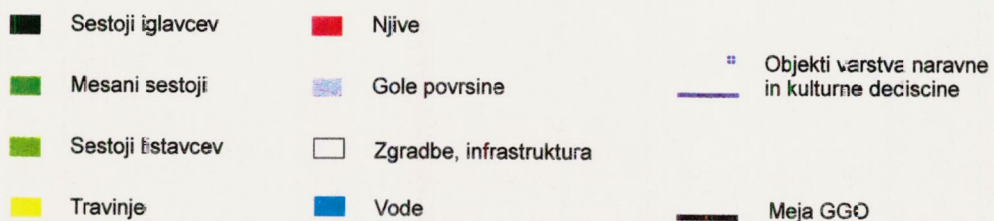
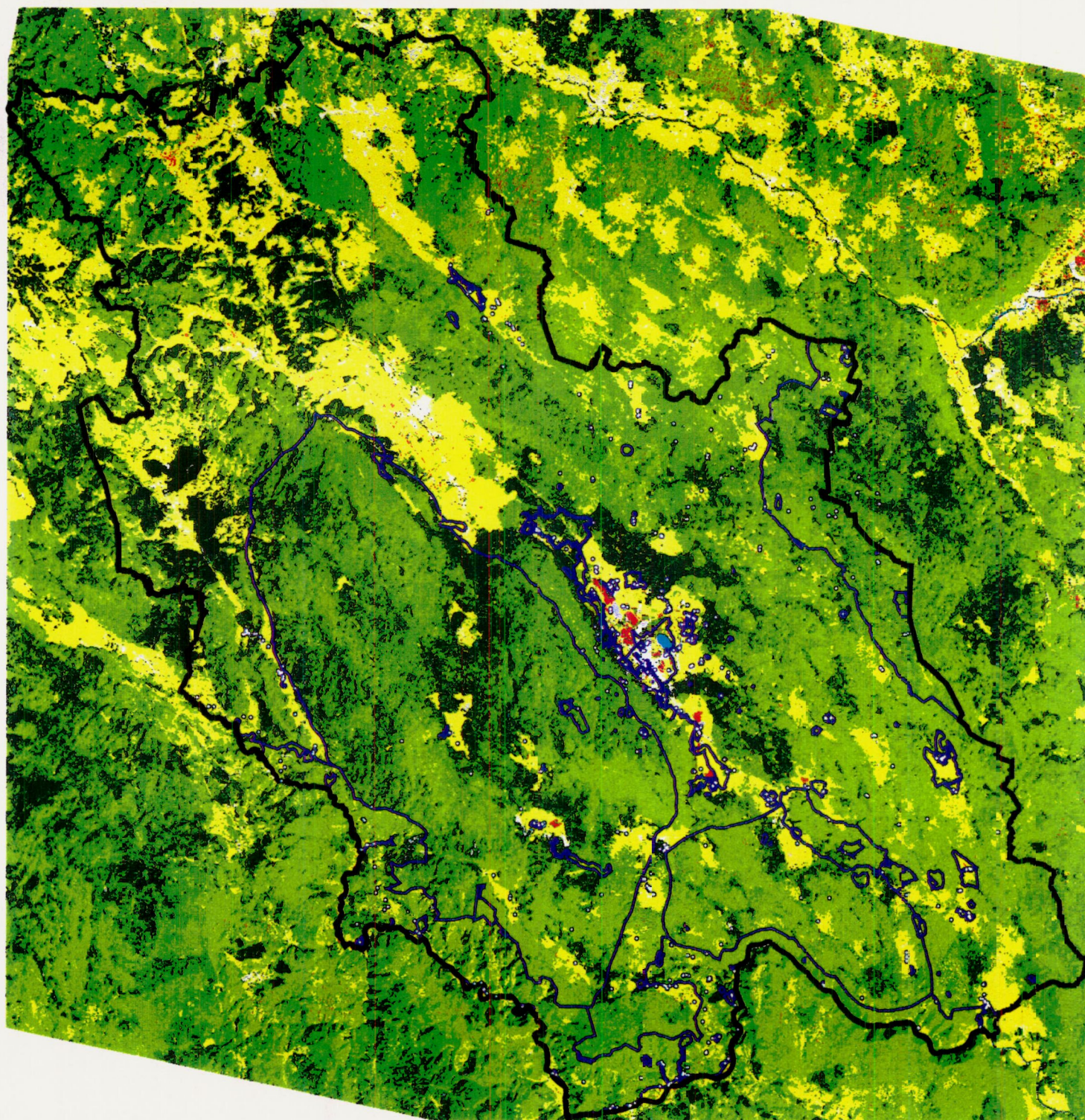
V modelnem območju smo postavili sistem terenskih stalnih vzorčnih ploskev. Na 228 ploskvah smo v sistem monitoringa zajeli 2819 dreves. Te ploskve predstavljajo tretji lasten informacijski vir. V prostorskem informacijskem sistemu smo jih povezali z digitalnim ortofotom in obdelano sliko nadzorovane klasifikacije satelitskih podatkov. Prvič doslej smo izdelali oceno natančnosti klasifikacije satelitskih podatkov. Za tako oceno smo pripravili lastno referenčno informacijsko bazo, kajti nesmiselno bi bilo ocenjevati natančnost razmejevanja pokrovnosti vegetacije in rabe prostora le na podlagi generaliziranih kart ali planskih dokumentov, ki so jih izdelali po usklajevanju različnih uporabnikov prostora. V zasnovo gozdarskega informacijskega sistema smo z vektorskim digitaliziranjem prenesli tudi karte modelnega območja v velikih merilih, ki so nujna za odločanje na operativni ravni: fitocenološko in pedološko karto ( $M=1:10000$ ), karto kategorizacije kmetijskih zemljišč ( $M=1:5000$ ), temeljno gozdarsko karto ( $M=1:5000$ ), karto objektov varstva naravne in kulturne dediščine ( $M=1:5000$ ). Zadnji karti sta posebej pomembni, ker smo nanju navezali podatkovno bazo gozdarskega informacijskega sistema in opis objektov naravne in kulturne dediščine (Slika 2).

### 2.3 Podlage za valorizacijo Kočevske gozdnate krajine

Ocena natančnosti klasifikacije multispektralnih satelitskih podatkov kaže, da smo za prostorsko analizo na regionalni in krajinski ravni izdelali dovolj kvalitetno karto oziroma bazo prostorskih podatkov. V prvi fazi ocene natančnosti smo na tej karti preverili ocenjeno gozdnatost in strukturo površinskih deležev pokrovnosti prostora. Primerjali smo jo z dvema kartama družbenih planov, ki sta nastali ločeno, v različnih časovnih obdobjih in z različno stopnjo generaliziranosti.



Slika 2: Nadzorovana klasifikacija multispektralnih podatkov satelita Landsat TM. Posebej so označeni objekti varstva naravne in kulturne dediščine v Kočevskem delu regije, ki smo jih v GIS zajeli z vektorskim digitaliziranjem kart.



M = 1 : 250000



Tabela 2: Primerjava ocen gozdnosti in strukture pokrovnosti na podlagi obdelanega posnetka Landsat TM in kart družbenih planov v GGO Kočevje.

POKROVNOST	Ribniški del regije		Kočevski del regije	
	Landsat TM	Karta =1:25000	Landsat TM	Karta M=1:50000
Gozd	69.9 %	71.4 %	85.5 %	85.0 %
Kmetijske površine	28.3 %	28.6 %	13.7 %	13.6 %
Urbano	1.8 %		0.8 %	1.4 %

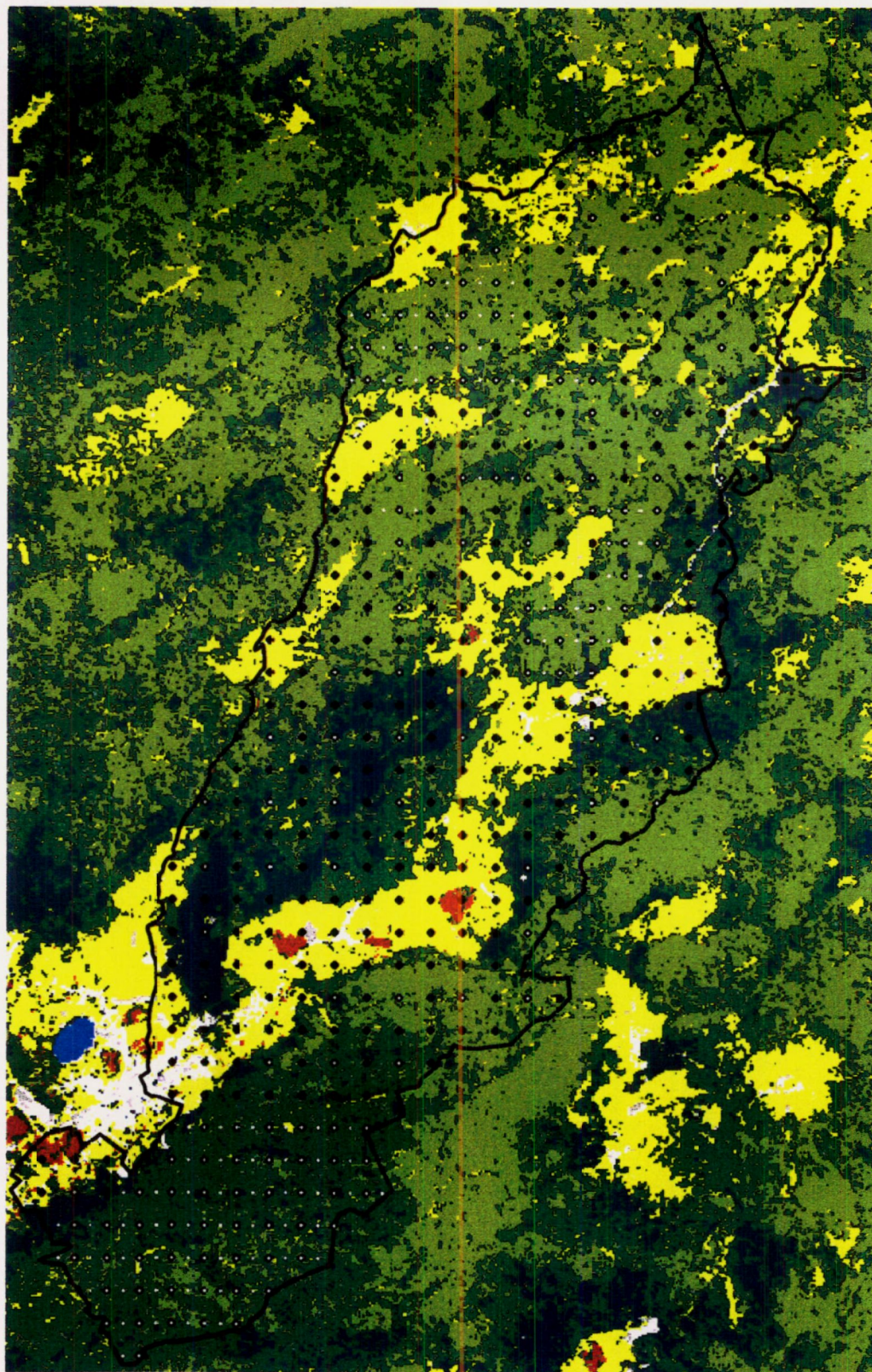
Primerjavo je bilo mogoče izdelati le za 3 skupine pokrovnosti, kajti karti črčbenih planov ne vsebujeta skupin, ki bi bile neposredno primerjive s tistimi ra klasificirani satelitski karti. Za tri skupine smo dobro ocenili površinsko strukturo, odstopanja so vsebinsko nebitvena. Potrjena strukturna razlika med kočevskim in ribniškim delom regije kaže, da bi tehniko klasificiranja multispektralnih satelitskih podatkov lahko uporabili pri regionalnih prostorskih analizah na slovenskem. Podrobnejšo oceno natančnosti satelitske karte smo izdelali v modelnem območju raziskav (Slika 3).

Tabela 3: Natančnost večplastne klasifikacije multispektralnih podatkov v modelnem območju raziskav. Primerjava posameznih pikselov satelitske slike s kontrolnimi ploskvami na digitalnem ortofotu. Vzorčna mreža gostote 500x500 m, velikost pikselov in primerjalnih ploskev 30x30 m.

Pokrovnost	L A N D S A T T M							N	%
	ml igl	st igl	mešani	listavci	njive	travinje	urbano		
ml iglavci	18	2	5	1		1		27	67
st iglavci	1	10	1	3				15	67
mešani sest.	7	3	107	21		4		142	75
listavci			16	134	1	6		157	85
njive					5			5	100
travinje	1	1	6	6	1	69		84	82
urbano	1		1			3	5	10	50
<b>Skupaj N</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>136</b>	<b>165</b>	<b>7</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>440</b>	
<b>%</b>	<b>64</b>	<b>63</b>	<b>79</b>	<b>81</b>	<b>71</b>	<b>83</b>	<b>100</b>		<b>79</b>

V modelnem območju smo pri razmejitvi na gozdne in negozdne površine dosegli 54 % natančnost. Oceno natančnosti smo dopolnili še z analizo v štirih stratumih. Trije so bili izbrani v gozdu na vzorčni mreži 500x250 m, tako da primerjalne ploskve pokrivajo tudi terensko mrežo stalnih vzorčnih ploskev, eden pa v ravnici ckgrog mesta Kočevje, kjer je pestrost različnih vrst pokrovnosti največja.





Slika 3: Izsek iz nadzorovane klasifikacije multispektralnih podatkov satelita Landsat TM. Označene so kontrolne točke za oceno natančnosti klasifikacije satelitskih podatkov in lega terenskih stalnih vzorčnih ploskev v modelnem območju raziskav.



Tabela 4: Natančnost večplastne klasifikacije multispektralnih podatkov v štirih izbranih stratumih. Primerjava posameznih pikslov satelitske slike s kontrolnimi ploskvami na digitalnem ortofotu. Vzorčna mreža gostote 500x250 m, velikost pikslov in primerjalnih ploskev 30x30 m.

Skupine pokrovnosti	POVRŠINSKI STRATUM			
	jelovo-bukovi	bukovi gozdovi I	bukovi gozdovi II	urbano
4 skupine	81 %	87 %	74 %	69 %
gozd/negozd	97 %	100 %	96 %	84 %
Število ploskev	101	30	50	137

Štiri skupine v gozdnih stratumih predstavljajo sestoje iglavcev, mešane sestoje in sestoje listavcev ter negozdne površine. V stratumu urbanih površin pa kmetijske površine, naselja (zgradbe in infrastruktura), gozd in vodne površine. Že pri določanju testnih vzorcev je bilo jasno, da majhnih njivskih površin, ki prevladujejo v ribniškem delu regije ne bo mogoče določiti z grobo prostorsko ločljivostjo multispektralnih podatkov. Najpogosteje so bile uvrščene med travinje, zato je njihova površina v regiji močno podcenjena. Del njivskih površin je uvrščenih tudi med gole površine. To so bile njive, ki jih v avgustu 1992 ni pokrivala vegetacija. Delno je podcenjena tudi razsežnost urbanih površin, saj je izven naselij širina cestnega omrežja premajhna, da bi ceste lahko v celoti določili s klasifikacijskim algoritmom, ki je bil podrejen predvsem razmejevanju med gozdom in negozdnimi površinami. Natančnost karte pokrovnosti je sprejemljiva za namen raziskave, saj je temeljni problem v regiji prav usklajevanje med kmetijsko in gozdarsko rabo prostora. Za notranjo členitev kmetijskih površin zadostujejo katastrski podatki.

Po primerjavi med digitalnim ortofotom in satelitsko karto ocenjujemo, da sta pogost razlog za odstopanje manjša pozicijska natančnost satelitske karte in njena groba ločljivost. Velikost slikovne celice 30x30 m zadostuje za analizo na regionalni in krajinski ravni, sestojno in drevesno raven pa pokriva ortofoto s prostorsko ločljivostjo 2 m.

Po raziskavi tehnologije digitalnega ortofota in dokončani zasnovi gozdarskega prostorskega informacijskega sistema v modelnem območju smo prepričani, da bo digitalni ortofoto postal nujna referenčna podlaga pri vseh podrobnih usklajevanjih uporabnikov prostora (Slika 4). Zasnova prostorskega informacijskega sistema na regionalni ravni pa vsebuje podlage za oblikovanje predloga naravnega parka in področij z različnim režimom gospodarjenja. Ta vsebinski sklop ne sodi v projekt, saj je vlada Republike Slovenije imenovala posebno medresorsko komisijo, ki bo v sodelovanju s strokovnimi skupinami pripravila predlog za razglasitev morebitnega naravnega parka in podlage za celovit koncept upravljanja zavarovanih območij v Sloveniji. Ocene in prikazi, ki smo jih izdelali z zasnovanim prostorskim informacijskim sistemom ponujajo objektivne informacije pri takem odločanju.

Kljub temu, da je 80 % gozdnatost v regiji nadpovprečno visoka, je presenetljivo odkritje raziskave, da dva gozdna kompleksa povezujeta praktično vse gozdove v





**M = 1 : 10000**

Slika 4: Izsek iz digitalne ortofoto karte modelnega območja raziskav, izdelan iz barvnih infrardečih letalskih posnetkov merila 1:38000 in vektorsko digitaliziranih kart v merilu 1:5000. Velikost slikovne celice digitalnega ortofota je 2m.



regiji. Nepovezanih zaplat gozda je manj kot odstotek skupne gozdne površine. Največji povezani gozdni kompleks pokriva 92600 ha površine znotraj regije in določa njeno prostorsko matriko. Drugi pokriva le 590 ha in povezuje nižinske gozdove med Sodražico in Velikimi Laščami.

Analiza naravnih dejavnikov ne pokaže ostrih naravnih gradientov, ki bi vplivali na razporeditev gozda, kmetijskih in urbanih površin. Do 500 m nadmorske višine je gostota poselitve največja, z naraščanjem nadmorske višine prične upadati tudi delež kmetijskih površin. Ločnica med kmetijskimi in gozdnimi površinami ni ostra, kajti delež kmetijskih površin sprva strmo pada do 600 m, položneje pa do 700 m nadmorske višine. Raziskovanja, ki smo jih opravili z informacijskim sistemom na regionalni ravni kažejo, da je tudi pri notranji razčlenitvi gozdnih površin nadmorska višina najpomembnejši oblikovalni dejavnik prostorske razporeditve vegetacije. Pomembno vpliva tudi reliefna razčlenjenost, ostali naravni dejavniki pa na regionalni ravni ne obsegajo tako velikih gradientov, da bi odločilno vplivali na razporeditev rabe prostora in pokrovnosti vegetacije. Na kočevskem smo s tem delom raziskave potrdili značilnosti razporeditve rabe prostora, ki jih drugi raziskovalci navajajo bodisi za to ali druge slovenske regije.

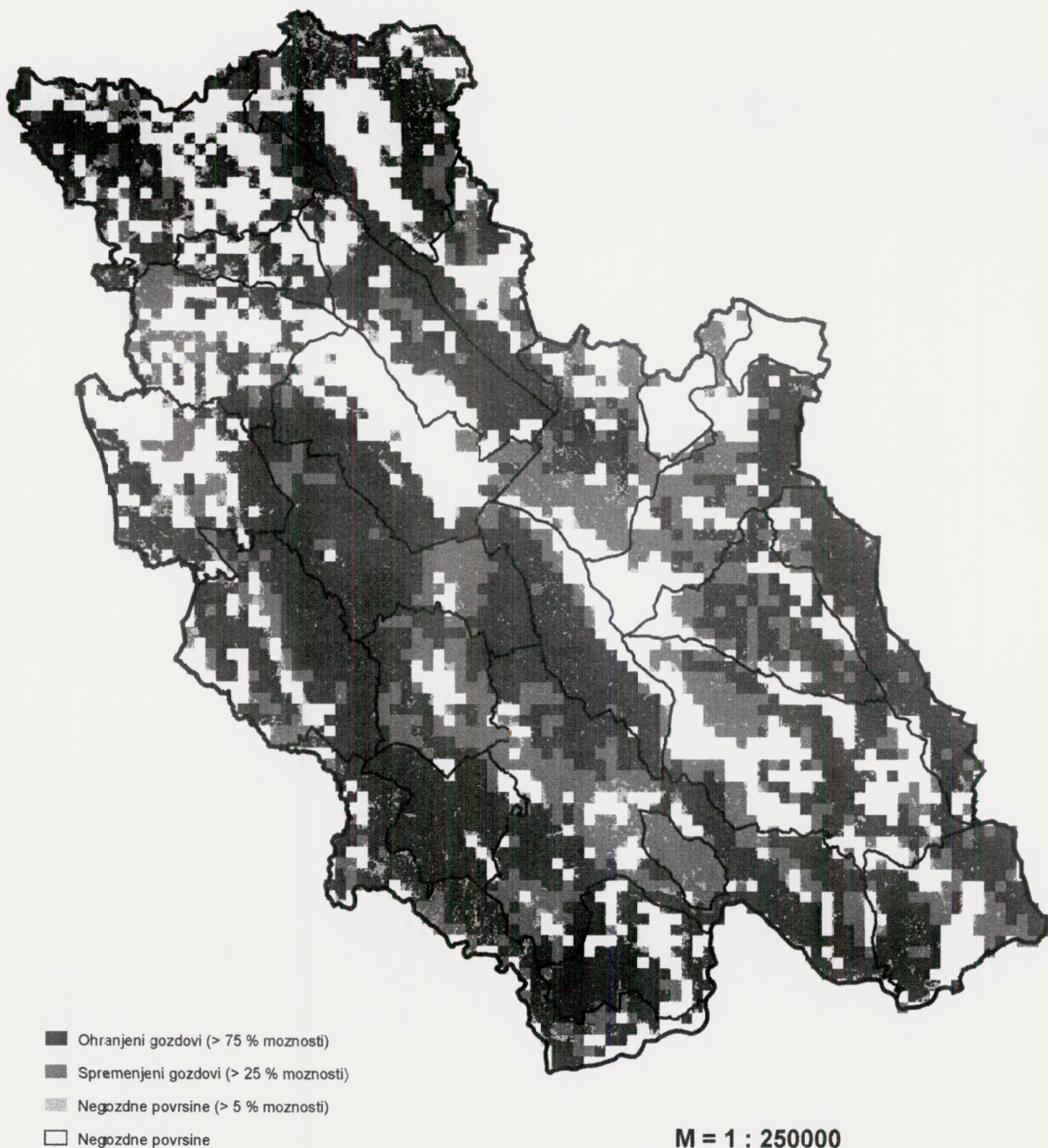
Tabela 5: Razporeditev pokrovnosti po naravnih regijah Kočevskega gozdno-gospodarskega območja. Ločnici naravnih regij sta 600 m nadmorske višine in 20 % naklon.

POKROVNOST	S k u p a j		NARAVNE REGIJE			
	ha	%	Ravninski svet %	Hribovit svet %	Gorski svet %	Zaravni v gor. svetu %
<b>Skupaj</b>	<b>118002</b>	<b>100</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>22</b>
glavci	16415	14	35	14	29	22
mešani sestoji	52762	45	27	15	34	24
listavci	25235	22	19	21	37	23
travinje*	21622	18	60	10	11	19
njive*	300	.	100			
gole površine	293	.	82	6	4	8
vode	33	.	87	13		
urbano	1342	1	80	6	6	8

\* površina njiv je podcenjena, manjše njive so najpogosteje uvrščene med travinje

Za oblikovanje območij z različnim režimom gospodarjenja bo poleg grobe regionalne razmejitve, nakazane v tabeli 5, potrebno upoštevati tudi elemente vrednotenja, ki so odvisni od stopnje ohranjenosti in zgradbe gozdnega ekosistema. Na regionalni ravni del teh podatkov pridobimo iz gozdarskega informacijskega sistema, povezanega v prostorski informacijski sistem (Slika 5). Toda taka generalizirana ocena je pregroba, zato je potrebno nadaljevati z delom v okviru gozdarskega prostorskega informacijskega sistema, ki smo ga zasnovali v modelnem območju raziskav (Slika 6). Na podrobni ravni bo namreč potekalo odločilno usklajevanje med uporabniki prostora.

Slika 5: Ocena ohranjenosti gozdov v Kočevskem gozdnogospodarskem območju, podana z logiko mehkega odločanja kot odstotek možnosti, da vzorčna površina predstavlja ohranjen del gozda. Oceno smo izdelali s presekom satelitske karte gozdnatosti in podatkov gozdarskega informacijskega sistema na vzorčni mreži gostote 500x500m.



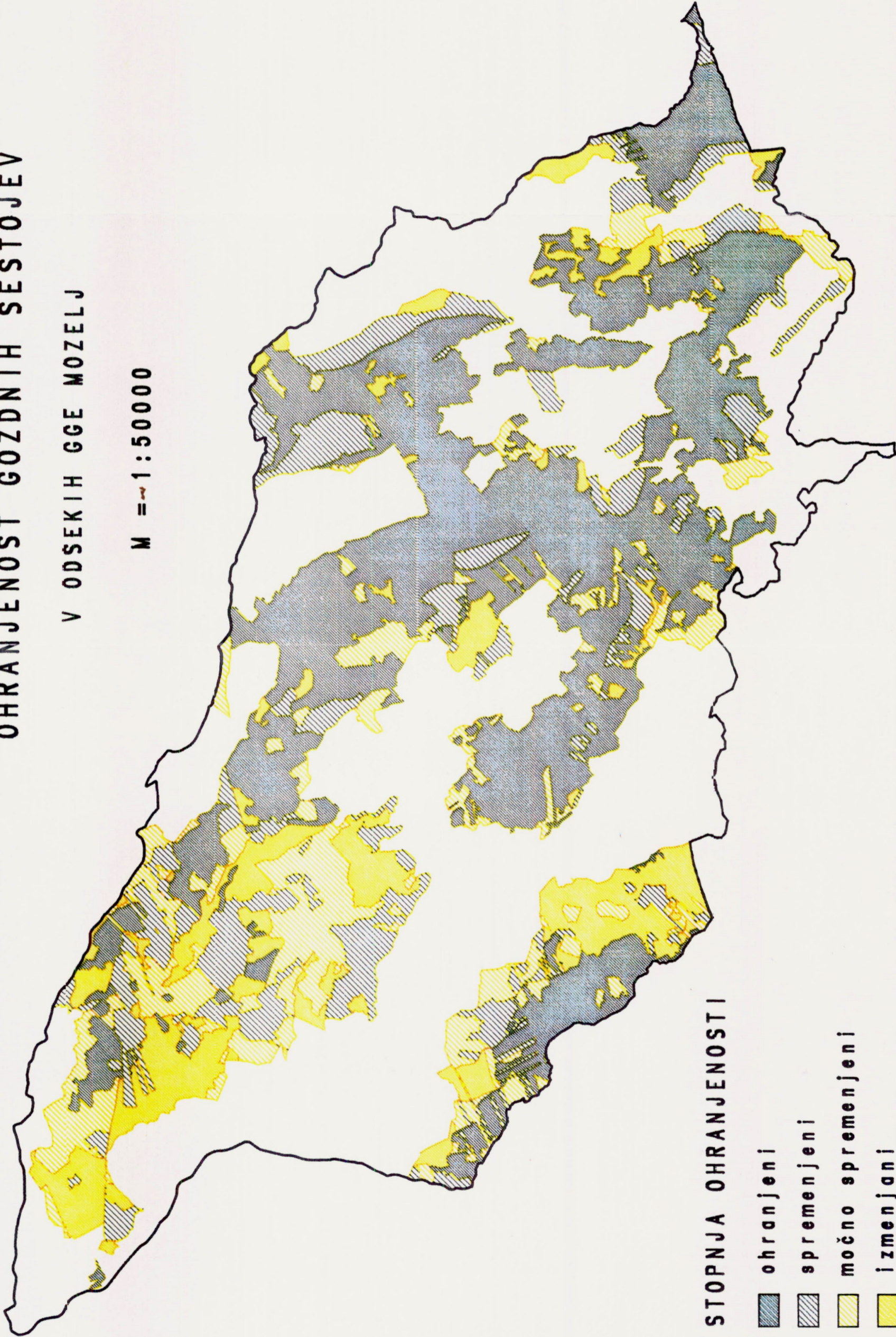


Slika 6: Ocena ohranjenosti gozdov v odsekih gozdnogospodarske enote Mozelj na Kočevskem. Po vektorskem digitaliziranju temeljne gozdarske karte v merilu 1:5000 smo v GIS povezali podatke gozdarskega informacijskega sistema in prikazali eno od možnih tematskih kart.





## OHRANJENOST GOZDNIH SESTOJEV

V ODSEKIH GGE MOZELJ

M = 1:50000



### STOPNJA OHRANJENOSTI

-  ohranjeni
-  spremenjeni
-  močno spremenjeni
-  izmenjani



### 3. PODATKI O NADALJNJEM IZKORIŠČANJU RAZISKOVALNIH REZULTATOV

Raziskovalni rezultati na metodološkem področju bodo izhodišče za oblikovanje gozdarskega prostorskega informacijskega sistema za gozdnogospodarsko območje Kočevje. Zasnova sistema na regionalni ravni je dokončana. Če bodo delo iz modelnega območja raziskav nadaljevali, bo tudi podroben gozdarski prostorski informacijski sistem pokrival celotno površino gozdnogospodarskega območja.

Podlage za razvojni program Kočevske so pomembne tudi pri sprejemanju novega prostorskega plana občin, ki jih obsega gozdnogospodarsko območje, predvsem občine Kočevje, Ribnica in Osilnica.

Podatki in informacije varstva naravne in kulturne dediščine bodo nujna podlaga pri oblikovanju predloga za razglasitev morebitnega Kočevskega naravnega parka. Pred tem so koristni vsem uporabnikom prostora, ki jih morajo upoštevati kot vcdilo za prilagojen ali omejen način gospodarjenja na področju, kjer ti objekti so.

### 4. SODELOVANJE S TUJIMI PARTNERJI

V letu 1995 se bomo vključili v delo projekta PHARE: ENVIRONMENT PROGRAMME MERA (ISPRA ITALIJA).

### 5. BIBLIOGRAFIJA

- Objavljeni referati

HOČEVAR, M., 1992. Osnove in zahteve prostorskih informacijskih sistemov. Pcmen, stanje in prihodnji razvoj gozdarske prostorske informatike. Seminar, IGLG, Ljubljana, 21.5.1992, s. 1-5

HLADNIK, D., 1992. Predstavitev osnovnih možnosti sinteze podatkov in informacij v prostorskem informacijskem sistemu. Seminar, IGLG, Ljubljana, 21 5.1992, s. 49-56

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1992. Zasnova prostorskega informacijskega sistema (PIS/GIS) kot podlage za večnamensko gospodarjenje z gozdom in gozdnato krajino. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Dela 9, Zbornik Simpozija, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete v Ljubljani, s. 153-167

HLADNIK, D., HOČEVAR, M., 1993. Monitoring of a forested landscape - from tree to region. The Role of Landscape Ecology in Forestry. IUFRO Working Party Landscape Ecology (S1.01-05) Conference, Radovljica, Sept. 13-17, 1993, s. 99-106

HOČEVAR, M., 1993. Ganzheitliches Monitoring der Waelder in Slowenien. Internationales Forschungskolloquium: Forstliche Planung und gesellschaftliches Umfeld. Ascona, 12.-16. Oktober 1992

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., 1994. The Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Forest Monitoring in Slovenia. GIS/LIS 94' Central Europe. The second international conference and exhibition on geographic information systems/land information systems for central Europe, Budimpešta, Jun. 13-17, 1994 (v tisku)

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1994. Verwendung digitaler Orthophotokarten fuer die forstliche Bestandeskartierung. Photogrammetrie & Forst - Stand der Forschung und Anwendungen in der Praxis. Freiburg im Breisgau, September 1994, s. 155-168

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1995. Ecological Monitoring of Preserved Forested Landscapes in Slovenia by Means of Remote Sensing and GIS. IUFRO XX World Congress, Tampere, Avgust 1995, (vabljen referat)

- Članki

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1994. Digitalne ortofoto karte za kartiranje gozdnih sestojev. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 1994, s. 149-177

- Posterske predstavitve

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., 1993. Monitoring of a forested landscape - from tree to region. Mednarodni simpozij Die Applikation der Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Forstliche Fakultät der Technischen Universität in Zvolen, Slovaška, 22.-24. september 1993

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1993. Monitoring gozdnate krajine. Predstavitev raziskovalno razvojnih dosežkov in tehnološko naprednejših izdelkov - Slovenska znanost in razvoj. Ljubljana, WTC, 2.-7. november 1993

## 6. PRENOSI RAZISKOVALNIH DOSEŽKOV V PRAKSO

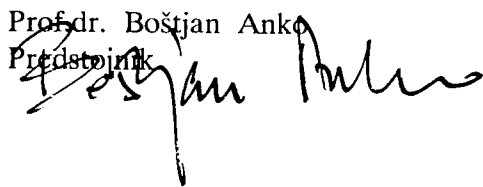
Projekt smo zasnovali s sodelovanjem Gozdnega gospodarstva Kočevje. Do začetka preobrazbe gozdnogospodarskih organizacij smo jim pomagali vzgojiti jedro strokovnjakov, ki so del raziskovalnih dosežkov projekta prenašali v svoje operativno delo. Na tečajih smo njihove delavce naučili samostojno oblikovati posamezne informacijske plasti v prostorskem informacijskem sistemu, jim svetovali pri nakupu programske in strojne opreme ter pomagali graditi lasten prostorski informacijski sistem v gozdarstvu. Če bi zasnovo lastnega prostorskega informacijskega sistema tamkajšnji gozdarji sprejeli z večjim strokovnim zanimanjem, danes na Ministrstvu za kmetijstvo in gozdarstvo verjetno ne bi le upali, da bo kmalu dozorel koncept sonaravnega razvoja kočevske krajine. Tudi nasprotij pri načrtovanju in ravnanju na izvajalski ravni bi bilo manj. Toda priznati je potrebno, da je za prenos tako zahtevne tehnologije kot so prostorski informacijski sistemi in tehnike daljinskega pridobivanja podatkov potrebno daljše obdobje strokovnega sodelovanja.

S podpisom jamčim, da so vse navedbe točne.

IZVAJALEC:

BF Oddelek za gozdarstvo

Prof.dr. Boštjan Anko  
Predstojnik



ODGOVORNI NOSILEC:

Prof.dr. Milan Hočevar





REKAPITULACIJA  
raziskovalnih rezultatov na temeljnem-raziskovalnem projektu  
v LETU 1993

Naslov projekta: Analiza naravnih danosti in ocena razvojnih  
potencialov kočevske krajine

Ivajalec: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo

Številka pogodbe: P4 - 0253 - 0488 - 93

VRSTA RAZISKOVALNEGA REZULTATA	Skupno število
1. Članki (objavljeni) v: - mednarodnih revijah _____ - domačih revijah _____	1
2. Uvodno vabljenno predavanje na: - mednarodni konferenci _____ - domači konferenci _____	2 3
3. Referati - razprave, objavljeni v zbornikih: - mednarodnih konferenc _____ - domačih konferenc _____	3 3
4. Samostojna knjižna dela: - objavljena v tujem jeziku, pri tuji založbi - objavljena v tujem jeziku, pri domači založbi - objavljena v slovenskem jeziku, pri domačem založniku	
5. Patenti: - registrirani v tujini _____ - doma _____ - izvedeni _____	
6. Prenosi raziskovalnih dosežkov v prakso _____	1
7. Ostalo <u>poster, mednarodne konference</u>	2

Odgovorni nosilec:  
prof. dr. Milan Hočevar

Podpis:  
*Milan Hočevar*



*PRILOGE*



INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO

**" POMEN, STANJE IN PRIHODNJI RAZVOJ  
GOZDARSKE PROSTORSKE INFORMATIKE "**

(SEMINARSKO GRADIVO)

Ljubljana, 21. 5. 1992

VSEBINA:

**HOČEVAR, M.:** Osnove in zahteve prostorskih informacijskih sistemov

**MIKULIČ, V.:** Pomen, stanje in prihodnji razvoj gozdarskega informacijskega sistema z vidika obravnavanja prostorskih podatkov

**KRALJ, A.:** Računalniške osnove prostorskih informacijskih sistemov

**KOVAČ, M.:** Analiza gozdarskega informacijskega sistema

**ŽONTA, I.:** Varianta sistema informacijske organiziranosti

**KOVAČ, M.:** Velikoprostorski PIS na modelnem primeru GG Slovenj Gradec

**HLADNIK, D.:** Predstavitev osnovnih možnosti sinteze podatkov in informacij v prostorskem informacijskem sistemu

**GOLOB, A.:** Gozdnogojitveno načrtovanje s pomočjo prostorskega in informacijskega sistema

Naslovi avtorjev:

mag. A. Golob, dipl. inž. gozd., IGLG, Večna pot 2

mag. D. Hladnik, dipl. inž. gozd., BF-gozd. odd., Večna pot 83

dr. M. Hočevar, dipl. inž. gozd., BF-gozd. odd., Večna pot 83

mag. M. Kovač, dipl. inž. gozd., IGLG, Večna pot 2

A. Kralj, dipl. inž. mat., IGLG, Večna pot 2

V. Mikulič, dipl. inž. gozd., IGLG, Večna pot 2

I. Žonta, dipl. inž. gozd., IGLG, Večna pot 2

## OSNOVE IN ZAHTEVE PROSTORSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV

Milan HOČEVAR

### 1 Pomen informatike v gozdarstvu

Gozdarstvo je ena redkih panog, ki že stoletja zbira ogromne količine podatkov. Tako gozdarji danes razpolagamo z obsežnimi podatkovnimi bazami, ki pokrivajo površine velikih dimenzij in segajo stoletja v preteklost. Vse te podatke lahko uvrstimo v dve osnovni kategoriji:

- kategorija atributivnih (vsebinskih) podatkov zajema količinske in kakovostne podatke, ki v obliki teksta, tabel, seznamov in kod opisujejo objekte in površine,
- kategorija prostorskih podatkov pa obsega kartografske predloge in razne tematske karte.

Vzdrževanje klasičnega gozdarskega sistema informacij je časovno zelo zahtevno in drago. Ker pretežno še vedno temelji na manualni tehniki (kljub računalniški podpori v posameznih fazah dela), je tudi počasno, z zelo omejenimi možnostmi za učinkovito racionalizacijo.

Predvsem pa je klasični sistem zelo nebogljen, ko gre za obdelavo prostorsko orientiranih podatkov, kar je poleg zahteve po hitrem in ažurnem posredovanju informacij, osrednji problem učinkovitega načrtovanja. Oboje nudijo računalniško podprti prostorski informacijski sistemi (PIS; slov. sinonim je geografski informacijski sistem - GIS; angl. geographic information system - GIS). Razvoj teh sistemov se je začel šele v sedemdesetih letih, vendar danes ti že omogočajo izredno hitre, kombinirane obdelave in predstavitve kartografskih in vsebinskih informacij. Ker so vsi podatki geokodirani (prostorsko opredeljeni), je s tem omogočeno reševanje zelo natančno definiranih problemov. Ustrezno zasnovan prostorski informacijski sistem nam torej lahko hitro odgovori na različna, točno opredeljena vprašanja, kot so na primer:

- kakšna je lesna zaloga smrekovih sestojev v višinskem pasu 1000 do 1500 m, v območju s koordinatami x in y?
- Na katerih lokacijah (nadmorska višina, ekspozicija, sestava po drevesnih vrstah) se pojavljajo nadpovprečne poškodbe gozdnih sestojev? Sistem posreduje odgovor v obliki tematske karte in ustreznih tabel.
- Kakšen je delež gozdne površine in kakšna je struktura lesne zaloge v pasu, ki od najbližje kamionske ceste ni oddaljen več kot 200 m? Odgovor je npr. v obliki tematske karte, z vrisanimi pricestnimi pasovi, s sestojno strukturo in ustreznimi tabelami.

### 2 Definicija PIS

Prostorski informacijski sistemi so orodje za vsestransko, hitro obdelavo velike količine raznovrstnih, prostorsko opredeljenih podatkov. So računalniško podprti, avtomatični informacijski sistemi, vendar od uporabnika pri rabi ne zahtevajo specializiranega računalniškega znanja. Omogočajo ažurno, selektivno in hitro pridobivanje, obdelavo in posredovanje geokodiranih informacij, kot podlage za smotno gospodarjenje z naravnimi viri in prostorom. Vse informacije so prostorsko orientirane in večplastno združljive. Zasnova sistema zagotavlja kompatibilnost s tujimi bazami podatkov.

PIS združuje lastnosti sistemov za upravljanje s podatkovnimi bazami s sistemi za računalniško grafiko in avtomatično kartografijo. Je pa še mnogo več, saj vsebuje orodja za simultano, soodvisno upravljanje s prostorskimi in atributivnimi podatki, ki se nanašajo na isto lokacijo. Tako npr. vsaki spremembi prostorskih podatkov avtomatično sledi tudi sprememba ustreznih podatkovnih baz vsebinskih podatkov.

### 3 Osnovne funkcije PIS

Osnovne funkcije GIS, ki jih vsebujejo sodobni sistemi so:

- integracija podatkov iz različnih podatkovnih virov v skupne baze podatkov (teren, karta, slika npr.),
- integracija kart narejenih v različnih merilih in projekcijah v karte zelenega formata, tematike in merila,
- izračun površin, pretvorba projekcij, sprememba meril, sprememba vsebine kart,
- vzpostavljanje relacij, med sicer neodvisnimi in mnogokrat iz različnih virov pridobljenimi podatki, preko sistema geokodiranja; s tem je omogočeno pridobivanje povsem novih informacij,
- sposobnost agregiranja podatkov od podrobnega informacijskega nivoja na regionalno ali državno raven; s posebnimi algoritmi tvori sistem iz podrobnih podatkov, nanašajočih se na osnovne informacijske enote, podatkovne baze za stratum na višji načrtovalni ravni,
- avtomatska izdelava novih tematskih kart in baz podatkov na podlagi prekrivanja posameznih podatkovnih ravni,
- avtomatsko določanje sosedskih pasov vzdolž izbranih linij ali poligonov (npr.: določanje površin z ozirom na pravilno razdaljo).

### 4 Pomen PIS za gozdarstvo

Od prostorskih informacijskih sistemov si gozdarstvo obeta:

- razširitev gozdarske baze podatkov s tujimi podatkovnimi bazami (pogoj je kompatibilnost),
- večjo razpoložljivost podatkov, kar bi omogočilo hitro in ciljno pridobivanje zelenih informacij,
- sprotno ažuriranje informacij zaradi stalnega dotoka novih podatkov,
- racionalno in ceneno kartiranje (pogoj avtomatske kartografije je opredelitev podatkov z X, Y koordinatami),
- večje možnosti kartografskih prikazov z vizualizacijo poljubnih informacij iz banke podatkov,
- nove informacije na podlagi povezav med podatki (poljubni preseki informacijskih slojev) v banki podatkov.

### 5 Sestavine PIS

Prostorske informacijske sisteme sestavljajo:

- strojna oprema (hardware),
- podatki in
- programska oprema (software),
- uporabniki.

Bistvena zahteva PIS je prostorska opredeljenost vseh podatkov (geokodiranje) z X in Y koordinatami. Prostorski podatki so v sistemu definirani s točkami, linijami in poligoni.

PIS je sestavljen iz več, med seboj povezanih podsistemov.

-Podsistem za zajemanje podatkov obsega pripravo, organizacijo in snemanje podatkov. Vhodni podatki so v grafični (razne karte) ali alfanumerični (tekstovni) obliki in so s primernimi orodji transformirani v računalniško kompatibilno, digitalno obliko. Poleg terenskih, so bistveni viri prostorsko opredeljenih podatkov še aeroposnetki (iz avionov), v zadnjem času pa vedno bolj tudi posnetki s satelitov. Vnos podatkov je narejen, običajno ločeno po podatkovnih slojih, z digitalizacijo, skeniranjem ali kodiranjem na računalniške spominske medije. Vsi podatki so prostorsko opredeljeni z x, y koordinatami.

- Podsistem za upravljanje s podatkovnimi bazami obsega kontrolo, shranjevanje in obdelavo podatkov. Sistem omogoča strukturiranje, dopolnjevanje, združevanje in transformacijo podatkov, spajanje kartnih izsekov in geometrične korekcije.

- Podsystem za analizo podatkov omogoča geografsko analizo, interpretacijo podatkov ter izdelavo modelnih študij in simulacij. Obdelave obsegajo prostorske, vsebinske ali kombinirane podatke. V tej fazi je možna tudi agregacija podatkov. Tipična operacija npr. je generiranje novih informacij s prekrivanjem izbranih podatkovnih slojev s hkratnim izračunom površin in razdalj, ter izdelava ustreznih vsebinskih datotek in novih tematskih kart v izbranem merilu in tehniki.

- Podsystem za izhod podatkov in prikaz rezultatov omogoča grafično, kartografsko ali tekstovno predstavitev na različnih izhodnih enotah (tabele, grafi, karte). Današnja tehnika na področju grafičnih prikazov in kartografije skorajda ne postavlja nobenih omejitev. Nasprotno, omogoča izpise različnih formatov (do A0) v črnbeli ali barvni tehniki z visoko resolucijo (do 256 različnih barvnih odtenkov) neposredno z računalnika, oziroma preko skanerjev. Zadržanost glede uporabe slednje je umestna, ker zahteva nabava take opreme tudi visoka sredstva.

Glede na način shranjevanja grafičnih podatkov obstojata dva sistema: **rastrski in vektorski zapis**. Oba imata prednosti in pomanjkljivosti, zato mnogi komercialni GIS programi že nudijo možnost konverzije iz enega sistema v drugega. Prednost vektorskih sistemov je v natančnem linijskem zapisu, kar je pomembno v kartografiji, rastrski sistemi pa so enostavnejši. Nekatere baze podatkov obstajajo samo v rastrski obliki (npr. skanirani podatki satelitskih snemanj).

## 6 Izhodišča, pomembna pri zasnovi PIS

Zaradi racionalnosti celotnega PIS moramo izredno pozornost posvetiti predvsem podsistemu pridobivanja podatkov, ki predstavlja do 80% vse porabe časa in stroškov. Iz tega razloga morajo biti vsa lastna snemanja zelo skrbno načrtovana, predvsem pa se moramo izogniti vsakemu podvajanju podatkov. Če je le mogoče uporabljajmo tuje baze podatkov, ki pa morajo biti zasnovane tako, da je zagotovljena popolna združljivost (kompatibilnost). Vodilo je zahteva, da z minimalnim številom podatkov (velja za lastna snemanja) dobimo čim popolnejšo informacijo! Podatki morajo biti objektivni, z znano natančnostjo.

Informacijska vsebina sistema je odvisna od obsega, vrste, detajliranosti in natančnosti zbranih podatkov. Vsak podatek je prostorsko opredeljen. Vodilo je, da zbiramo samo tiste podatke, ki jih kasneje tudi koristno rabimo. Merilo sta kakovost in informacijska učinkovitost podatka; učinkovit je tisti, ki več koristi (mišljena je dolgoročna koristnost podatka) kot stane. Nujno je sodelovanje med načrtovalci sistema in uporabniki informacij.

Veljajo naslednja načela, ki so smiselno oblikovana za gozdarstvo:

**Večplastnost:** ista baza podatkov naj služi kot podlaga za odločanje na različnih ravneh gospodarjenja (sestoj/odsek, GR, GE, GG/regija, republika). Praviloma potrebujemo na višji ravni odločanja bolj generalizirane informacije kot na nižjih, krog uporabnikov pa je na višji ravni širši kot na nižji. Da se izognemo podvajanju, je pomemben smislen tok informacij.

**Mnogonamembnost:** sistem zagotavlja informacije za ovrednotenje in gospodarjenje z vsemi pomembnimi funkcijami gozda. Pri tem velja načelo sorazmernosti; če namreč trdimo, da je pomen splošnokoristnih funkcij vsaj tolikšen kot lesnoproizvodne, potem ni smiselno, da tudi v prihodnje pretežni del vseh naporov (in sredstev) vlagamo v podrobno zbiranje podatkov o lesni zalogi na ravni odseka. Na splošno velja, da podatke vedno zbira tista služba, ki je strokovno najbolj kompetentna, uporaba zbranih podatkov pa je pod določenimi pogoji splošna.

**Prostorska celovitost:** informacijski sistem pokriva ves gozdni prostor ne glede na lastništvo. Pri tem bo še potrebno razmisliti, če to velja za vse ravni odločanja.

**Multitemporalnost:** sistem mora biti zastavljen v smislu monitoringa, nadzora sprememb v gozdu in gozdnem prostoru. Tak pristop zagotavlja zanesljivejšo oceno dogajanja in učinkovitosti ukrepov v preteklosti, kot tudi prognozo prihodnjega razvoja. V primeru vzorčnih snemanj, naj se snemanja opravljajo na stalnih ploskvah.

Zasnova učinkovitega celostnega, informacijskega sistema zahteva še upoštevanje naslednjih načel:

**sodelovanje in koordinacija med snovalci informacijskega sistema in uporabniki (organi odločanja) sta nujni, ker zagotavljata:**

- pravilno izbiro podatkov,
- enotna pravila zbiranja podatkov na vsem prostoru,
- minimalne zahteve glede kakovosti podatkov,
- odpravo nepotrebnih podvajanj in dodatnih snemanj podatkov,
- boljšo uporabnost končnih informacij in izkoriščanje informacijskega sistema.

**Standardizacija in inovativnost:** pomen podatkov mora biti natančno definiran. Samo dosledno upoštevanje teh elementov dovoljuje poljubno kombiniranje in primerjanje informacij (natančni šifranti, pravila snemanja). Hkrati mora sistem ostati dovolj fleksibilen, da so mogoče izboljšave.

**Objektivnost in natančnost** je pomembna zahteva, ki zagotavlja uporabo podatkov iz različnih virov in oceno zanesljivosti odločitev (navedeno mora biti merilo zajemanja podatkov, natančnost snemanja/odčitavanja). Ta zahteva je še posebej pomembna pri današnji, človeku odtujeni računalniški obdelavi podatkov.

**Kontrola in odgovornost** zagotavljata kakovost podatkov v okviru izdelanih pravil. Vsak načrt snemanja mora že na samem začetku opredeliti način kontrole in odgovorne osebe. Sistem zajemanja podatkov mora biti zasnovan prijazno za izvajalca in mora v čim večji možni meri preprečevati možnost pojavljanja napak (zelo pomembno je npr. pri izbiri sistema za digitalizacijo kart, t.j. opravila, ki bo v bližnji bodočnosti narekovalo veliko porabo časa).

Kakovost celotnega GIS sistema je odločilno odvisna od kakovosti vhodnih podatkov, česar se pogosto premalo zavedamo. Podatki morajo biti objektivni, ponovljivi, znana pa mora biti tudi njihova točnost.

To lahko zagotovimo le s primernim pristopom in pripravo dela, ki obsega:

- do vseh podrobnosti izdelan in organiziran sistem snemanja podatkov,
- temeljito uvajanje in trening snemalnega osebja,
- kontrolo dela na terenu ter sprotno, logično in končno kontrolo podatkov in rezultatov.

## 7 Prostorski informacijski sistemi v Sloveniji in v gozdarstvu

V Sloveniji je kar nekaj institucij, ki začenjajo z uvajanjem prostorskih informacijskih sistemov (Geodetski zavod R Slovenije, FAGG Prometnotehnični inštitut, Zavod R Slovenije za statistiko, Vodnogospodarski inštitut). Vsa dela poskuša koordinirati Oddelek za prostorsko planiranje pri Ministrstvu za varstvo okolja in urejanje prostora, koordinacija pa je zaenkrat omejena le na zbiranje informacij o dogajanju na tem področju. Pomembni so predvsem napor: za zagotavljanje kompatibilnosti podatkovnih baz; oddelek je pred kratkim že objavil seznam vseh obstoječih podatkovnih baz.

V gozdarstvu je kratica GIS (gozdarski informacijski sistem) znana že desetletja. Zaradi bistvenih konceptualnih razlik med gozdarskim in sodobno pojmovanim prostorskim (geografskim) informacijskim sistemom, ki je v tujini in pri nas tudi poznan pod sinonimom GIS, vnaša ta kratica zmedo, in ne prispeva k strokovnemu osveščanju. Zarad. razločevanja, predlagam preimenovanje kratice gozdarskega informacijskega sistema GIS v GOZDIS.



Z razvojem PIS se nekaj zadnjih let ukvarjamo tako na gozdarskem oddelku Biotehniške fakultete, kot na IGLG. B stvenih konceptualnih razlik med obema hišama pri tem ni, res pa je, da so pristopi in težišča dela nekoliko različna. Na BF je težišče dela na integraciji fotointerpretacijskih in inventurnih podatkov v obstoječe PIS sisteme (ILWIS, ARC-INFO). Trenutno je poseben poudarek na proučevanju uporabniku prijaznega sistema digitalizacije. Celotno tehnologijo preizkušamo na primeru GG Kočevje.

## PREDSTAVITEV OSNOVNIH MOŽNOSTI SINTEZE PODATKOV IN INFORMACIJ V PROSTORSKEM INFORMACIJSKEM SISTEMU

David HLADNIK

V knjižici z naslovom: „Napovedovanje preteklosti - uporaba GIS (sin. PIS) v arheološki študiji otoka Hvara, je citirano poročilo britanski vladi, ki pravi, da je uporaba GIS v prostorskih analizah prav tako pomembna kot: „je bil izum mikroskopa in teleskopa pomemben za znanost, računalnik za ekonomijo, ter tisk za širjenje informacij. GIS je največji korak v manipulaciji prostorskih podatkov od izuma geografskih kart naprej. (STANČIČ, GAFNEY 1991; s.11). Zanimiva je tudi ocena, da sta zbiranje in obdelava podatkov vedno opravljeni z določenim ciljem. To bi moralo biti pravilo, toda pogosto je mogoče dobiti vtis, da podatke zbiramo le zaradi zbiranja samega in nič več (MOLENAAR 1989).

Zdi se mi, da v zgornjem citatu in oceni leži tudi stiska slovenskih gozdarjev. Potreba po orodju, ki bi pomagalo obvladovati prostorske informacije je stara že več let, dosedanje zbiranje, obdelava in posredovanje podatkov ter informacij pa ni mogoče oceniti kot učinkovito (HOČEVAR 1991). Pa stiske ni povzročila odločitev, kateri programski paket uporabiti, ali bo le ta zmožni prikazati vse meje odsekov v slovenskih gozdovih, niti ali bomo sprejeli rastrski ali vektorski GIS, čeprav je res, da morajo biti za učinkovito delovanje sistema skladne in uravnotežene vse tri njegove komponente: strojna oprema, programska oprema in organizacija. Osnovni problem je predvsem dosednji koncept gozdarskega informacijskega sistema, v katerem so delno oblikovane le posamezne komponente. Ena izmed teh je celostna gozdna inventura, katere koncept je bil večkrat predstavljen (HOČEVAR 1990a, 1991). Ob predlaganih zasnovi, so bili vsebinsko razrešeni tudi problemi povezave med količinskimi in prostorskimi nosilci informacij, kar je pogoj za učinkovito izkoriščanje vseh možnih virov podatkov, pridobljenih z delom na terenu, fotointerpretacijo aeroposnetkov, obdelavo že izdelanih tematskih kart in uporabo tujih baz podatkov. Način združevanja podatkov iz posameznih informacijskih virov je bil podrobno opisan (HOČEVAR, HLADNIK 1988; HOČEVAR 1990b; HLADNIK 1991), z današnjo predstavitvijo želim prikazati del možnosti sinteze podatkov, ki jo omogočajo prostorski informacijski sistemi. Predstavitve je nadaljevanje prispevka z naslovom: „Izboljšanje učinkovitosti in informacijske vsebine gozdne inventure s stratificiranim vzorčenjem. (HLADNIK, HOČEVAR 1989). Osnovna ideja prispevka je bila potrjena z uporabo sodobnega GIS, orodjem, ki je omogočilo resnično operativno delo. Sestavljale so ga naslednje delovne faze:

- izdelava sestojne karte v gozdu Hrastičje s fotointerpretacijo infrardečih barvnih aeroposnetkov v merilu 1:5000,
- kontrola in dopolnitev sestojne karte na terenu,
- vzorčna gozdna inventura s sistematično mrežo 100 x 100 m. Za oceno temeljnice je bila izbrana kotnoštevna metoda s faktorjem 2,
- digitaliziranje sestojne karte v merilu 1:5000,
- digitaliziranje karte gozdarske ureditve in katastrskega načrta v merilu 1:10000,
- prenos podatkov vzorčne gozdne inventure v računalniško zbirko podatkov,
- združitev tabelarnega dela sestojne karte in podatkov vzorčne gozdne inventure,
- izračun lesne zaloge po stratumih,
- združitev sestojne karte in katastrskega načrta,
- končna obdelava podatkov in oblikovanje informacijskega sistema,
- izpis rezultatov.

Pri delu sem upošteval koncept informacijskega sistema ARC/INFO (ESRI 1990). Prikaz posameznih etap dela in končnih rezultatov sem izdelal s programskim paketom ARC/INFO, uporabljena pa je bila skromna oprema: računalnik PC 286/10, digitalnik Graphtec KD4030 in risalnik HP 7475A.

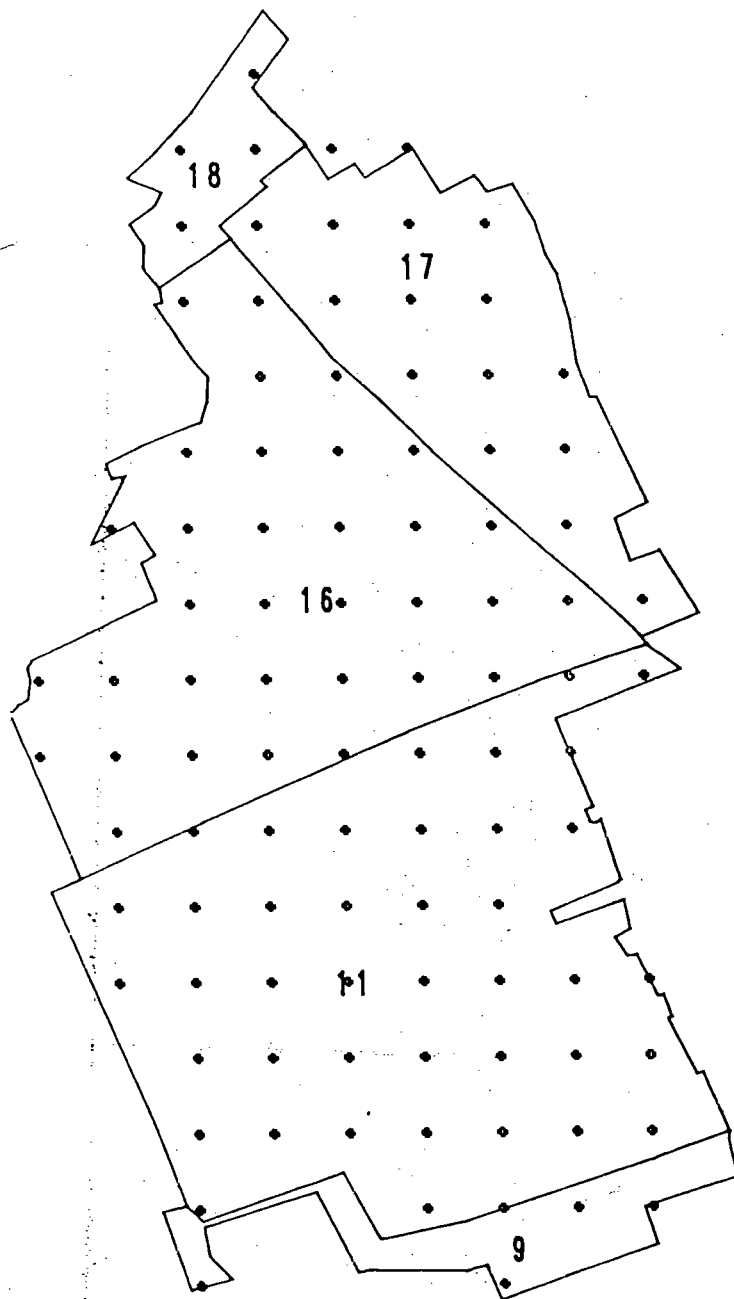
## LITERATURA

- ESRI 1990. Understanding GIS. The ARC/INFO Method. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands.
- Hladnik, D., 1991. Spremljanje razvoja sestojev in časovna dinamika propadanja dreves v jelovo-bukovem gozdu. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 38, str. 55-96
- Hladnik, D., Hočevar, M., 1989. Izboljšanje učinkovitosti in informacijske vsebine gozdne inventure s stratificiranim vzorčenjem. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, str. 5-20
- Hočevar, M., Hladnik, D., 1988. Integralna foto-terestrična inventura kot osnova za smotno odločanje in gospodarjenje z gozdom. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 31, str. 93-120
- Hočevar, M., 1990 a. Ugotavljanje stanja in in razvoja gozdov s kontrolno vzorčno metodo. VTOZD za gozdarstvo, Biotehniška fakulteta Ljubljana, 45 s.
- Hočevar, M., 1990 b. Poškodovanost in rast smrekovega gozda na poključko-jeloviški planoti. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 36, str. 27-68
- Hočevar, M., 1991. Značilnosti celostne gozdne inventure v sistemu sonaravnega upravljanja z gozdovi. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 38, str. 41-54
- Molenaar, M., 1989. Towards a geographic information theory. ITC Journal, 1, str. 5-11
- Stančič, Z., Gaffney, V., 1991. Napovedovanje preteklosti - uporaba GIS v arheološki študiji otoka Hvara. Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana, 102 s.

# MEJA - HRASTIČJE

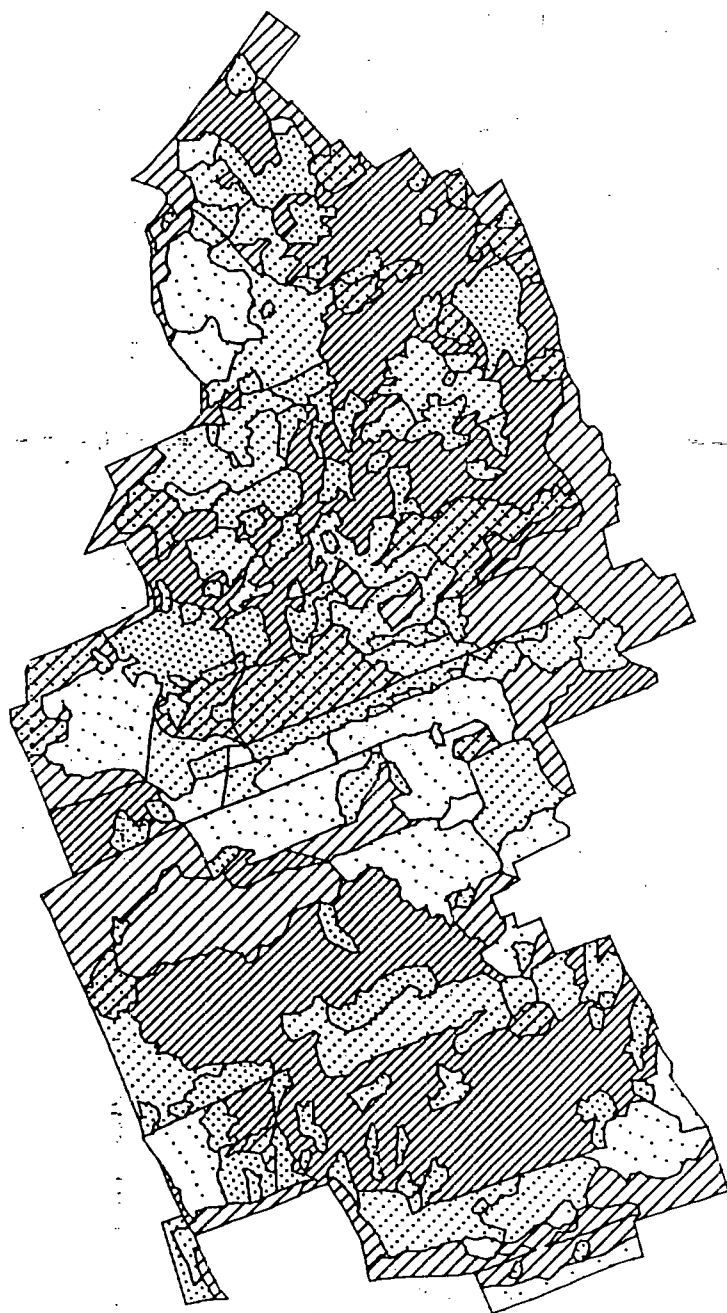
VZORČNA MREŽA V  
UREDITVENIH ENOTAH

M = 1:10000



Izsek iz tabelarnega dela KARTE GOZDARSKE UREDITVE

POVRŠINA	OBSEG			ODDELEK
-978515.50000	5938.894000	1	0	0
36892.620000	1036.884000	2	1	18
162785.800000	2126.880000	3	2	17
317538.100000	2878.729000	4	3	16
410211.000000	3214.890000	5	4	11
51087.900000	2051.745000	6	5	9



## RAZVOJNE FAZE





-  MLADOVJE
-  ML. DROGOVNJAK
-  ST. DROGOVNJAK
-  ML. DEBELJAK
-  ST. DEBELJAK
-  RAZNODOBNO

M = 1:10000

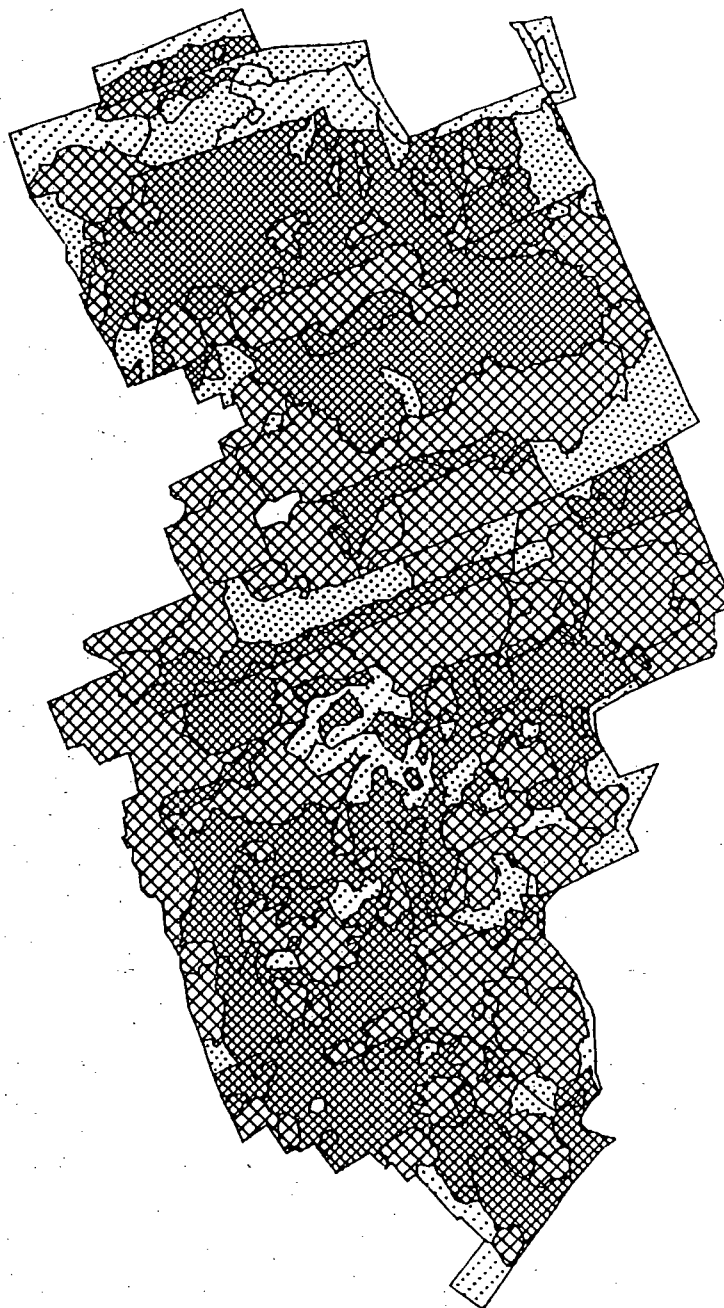
Izsek iz tabelarnega dela SESTOJNE KARTE

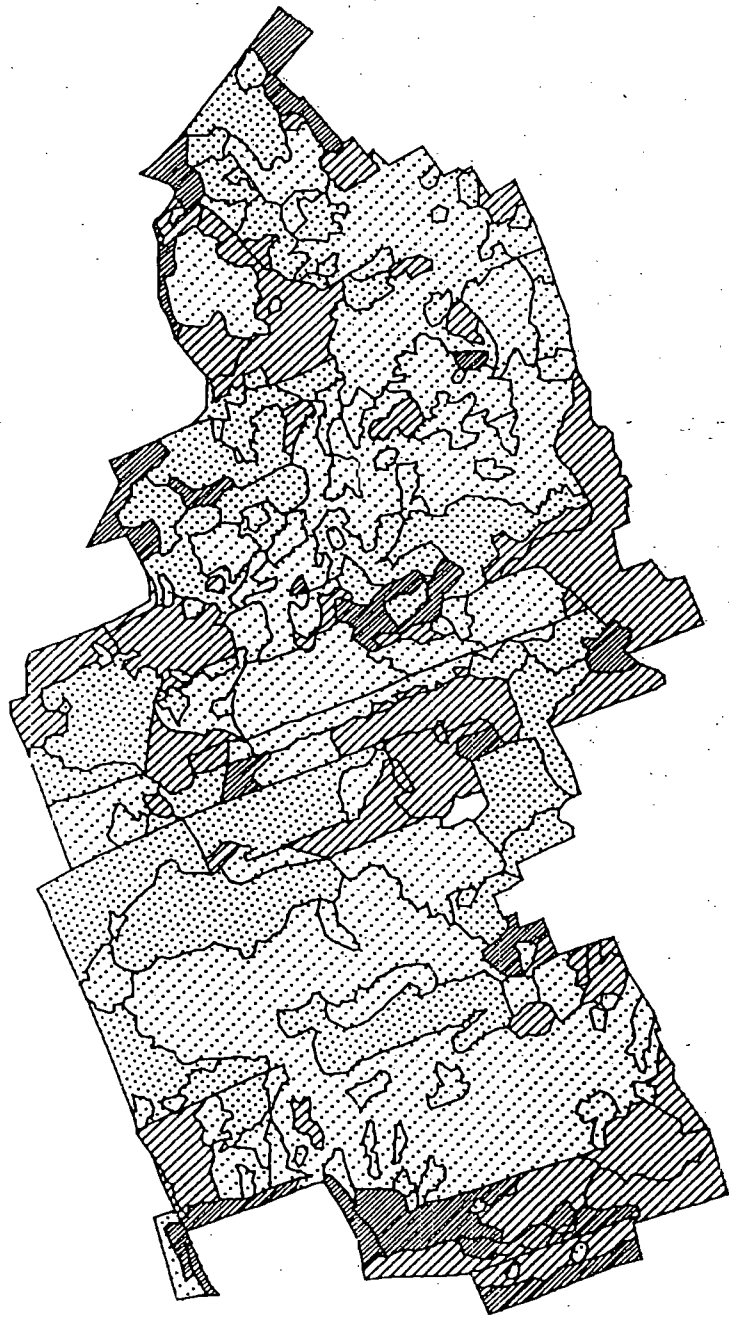
POVRŠINA	ŠTEVILKA	FAZA	MEŠANOST	SKLEP	TIP
3705.457000	1	4	4	1	42
1457.945000	2	2	2	4	21
8399.792000	3	5	1	3	51
3136.753000	4	4	4	1	42
565.182000	5	3	1	2	31

SESTOJNA MESAŃOST

- IGLAVCI > 10 % 
- IGLAVCI 10-49 % 
- IGLAVCI 50-90 % 
- IGLAVCI > 90 % 

M = 1:10000





## SESTOJNI SKLEP

 NORMALEN, GOST

 RAHEL

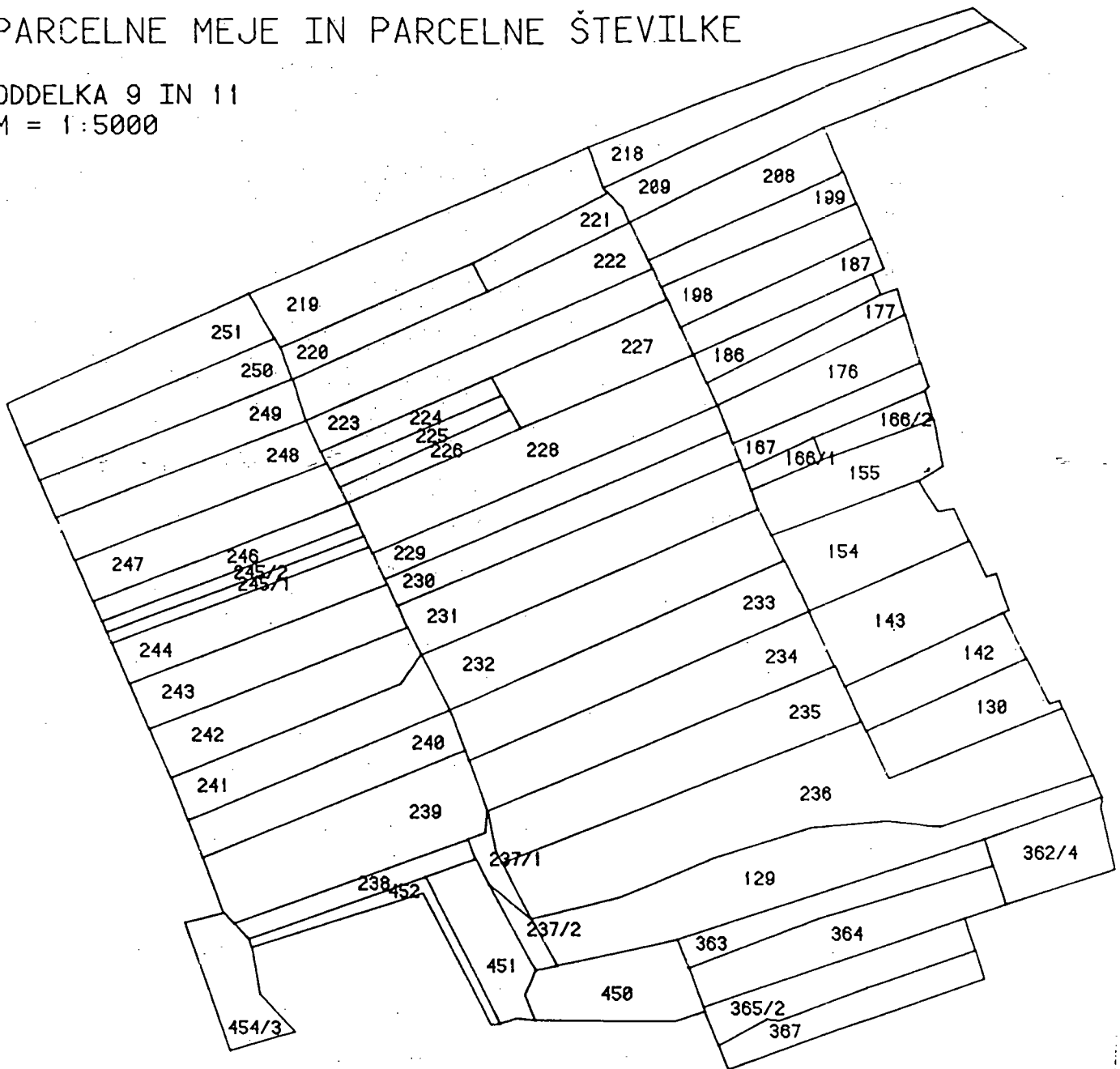
 VRZELAST

 PRETRGAN

M = 1:10000

# PARCELNE MEJE IN PARCELNE ŠTEVILKE

ODDELKA 9 IN 11  
M = 1:5000



## Izsek iz tabelarnega dela KARTE PARCEL

PCVRŠINA	OBSEG			OZNAKA
11022.900000	779.759600	3	26	209
6623.590000	428.944700	4	3	208
14212.830000	690.504700	5	27	219
4560.203000	404.821000	6	31	199
2127.355000	239.513200	23	0	166/2
1147.309000	162.746800	30	48	166/1



POVEZAVE MED POSAMEZNIMI KARTAMI IN OSTALIMI ZBIRKAMI PODATKOV

Karta parcel

POVRŠINA	OZNAKA
11022.900000	209
6623.590000	208
14212.830000	219
4560.203000	199
1147.309000	166/1
-	-
-	-
-	-

Seznam lastnikov

OZNAKA	PRIIMEK	IME
209	Jenko	Helena
208	Jenko	Helena
219		zadruga
199	Zevnik	Pavel
166/1	Vrhovnik	Karel
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Sestojna karta

POVRŠINA	ŠTEVILKA	FAZA	MEŠANOST	SKLEP	TIP
3705.457000	1	4	4	1	42
1457.945000	2	2	2	4	21
8399.792000	3	5	1	3	51
3136.753000	4	4	4	1	42
565.182000	5	3	1	2	31
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Lesne zaloge  
stratumov

TIP	m3/ha
21	197
22	153
31	215
32	215
41	364
42	289
51	363
52	363
61	274
62	75

Združena sestojna karta in Karta parcel

POVRŠINA	OBSEG	OZNAKA	ŠTEVILKA	FAZA	MEŠANOST	SKLEP	TIP
1000.13	149.64	208	108	4	2	3	41
2218.79	195.88	208	121	3	2	2	31
3404.10	253.01	208	125	2	2	3	21
464.29	390.28	209	0	0	0	0	0
1457.67	203.35	209	108	4	2	3	41
4438.39	362.83	209	110	5	2	2	51
795.21	115.90	209	113	3	3	2	32
1977.57	204.02	209	121	3	2	2	31
1603.06	167.81	209	123	6	2	1	61
288.19	161.74	209	125	2	2	3	21
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

UDK 91:681.3

ISSN 0352-7921

**ODDELEK ZA GEOGRAFIJO  
FILOZOFŠKE FAKULTETE  
UNIVERZA V LJUBLJANI**

**DEPARTMENT OF GEOGRAPHY  
FACULTY OF ARTS  
UNIVERSITY IN LJUBLJANA**

**DELA**

**9**

**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI  
SISTEMI V SLOVENIJI**

**GEOGRAPHIC INFORMATION  
SYSTEMS IN SLOVENIA**

LJUBLJANA 1992

# ZASNOVA PROSTORSKEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA (PIS/GIS) KOT PODLAGE ZA VEČNAMENSKO GOSPODARJENJE Z GOZDOM IN GOZDNATO KRAJINO

Milan Hočevar, David Hladnik in Marko Kovač

UDK 630:91:681.3

## Izvešček

Smotrno in trajno gospodarjenje z gozdom in gozdnim prostorom zahteva dobro poznavanje njunega stanja in razvojnih teženj. Zato je gozdarstvo ena redkih panog, ki že stoletja zbira velike količine podatkov, posebno v zadnjih letih pa skuša za potrebe načrtovanja oblikovati celosten informacijski sistem. Dosedanji informacijski sistem so sestavljali predvsem popis znakov in dendrometrijska inventura v ureditvenih enotah ter gozdarska kartografija. Širjenju podatkovnih baz ni sledil tudi uravnotežen razvoj informacijske tehnologije, zaradi čedalje bolj obremenjenega okolja in propadanja gozdov pa je potrebno težišče dela prenesti na učinkovit monitoring dogajanj v gozdu in gozdnem prostoru. Zasnova sodobnega prostorskega informacijskega sistema mora poleg integracije dosedanjega sistema zbiranja podatkov v gozdarstvu upoštevati vedno bolj poudarjeno mnogonamensko vlogo gozda in naš sonaraven, prostorsko izredno razčlenjen način gospodarjenja. Zaradi racionalnosti mora biti pridobivanje podatkov čim cenejše, uporaba informacij pa čim bolj široka, kar ponazarjajo predstavljena načela večplastnosti, polifunkcionalnosti, prostorske celovitosti in multitemporalnosti.

UDC 630:91:681.3

## Abstract

CONCEPTS OF SPATIAL INFORMATION SYSTEM (SIS/GIS) AS A BASIS FOR THE MULTIPURPOSE MANAGEMENT OF THE FOREST AND FOREST LANDSCAPE

The goal of the Geographic Information Systems in forestry is to improve efficiency and effectiveness in decision making regarding the regulation, protection and management of environmental resources. In order to carry out relevant analyses in the system of co-natural forest management, to record changes and damage to our forests, and to allow us to make constructive use of the resources available, the integration of spatial and factual data is necessary. The principles of the structure of modern spatial information systems and the concept of a comprehensive forest inventory as its integral part are described.

## POMEN INFORMATIKE V GOZDARSTVU

Gospodarjenje s krajino in naravnimi viri se izraža z nenehno interakcijo med človekovimi zahtevami do okolja in njegovim smotrnim izkoriščanjem.

Dr. M. Hočevar, mag. D. Hladnik, mag. M. Kovač, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in IGLG, Ljubljana.



To razmerje sodi v širši kontekst razvojnih paradigem, ki jih oblikujejo najrazličnejše silnice, med katerimi so najpomembnejše "preživetje človeka kot vrste" in pa moralno-etični vidiki, ki človeku kot delu stvarstva onemogočajo nenadzorovano početje v prostoru in času. Za današnji svet se zaradi naglega znanstvenega, tehnološkega in ekonomskega razvoja zdita sprejemljivi COLBYJEVI (Golob, 1992) paradigmi "gospodarjenje z viri" in "ekorazvoj", ki ju že nekaj časa oblikuje tudi gozdarska stroka in ju je mogoče povsem vključiti v sodobni načrtovalski proces. Učinkovitega načrtovanja naravnih virov, ki poleg dobrin upošteva še biološke danosti in vrsto interakcij med naravo in družbo, si ni mogoče zamišljati brez kakovostnih informacij o njihovem stanju in prihodnjem potencialu. Informacije so tudi podlaga za konsistenten program družbenogospodarskega razvoja, predvsem pa predpogoj za smotrno odločanje na vseh strateško pomembnih načrtovalskih ravneh.

Gozdarstvo je ena izmed redkih panog, ki že stoletja zbira podatke o gozdu in gozdnem prostoru. Rezultat načrtnega dela so obsežne podatkovne zbirke, ki obravnavajo praktično vse slovenske gozdove, v časovnem smislu pa segajo daleč v preteklost. Razvrstimo jih lahko v dve osnovni kategoriji: v kategorijo vsebinskih (atributivnih) in v kategorijo prostorskih podatkov. Prva obsega količinske in kakovostne podatke, ki v obliki teksta, tabel, seznamov in kod opisujejo posamezne elemente prostora in površine. V drugo kategorijo večinoma uvrščamo kartografske predloge in razne tematske karte.

Vzdrževanje klasičnega sistema informacij je časovno zelo zahtevno in drago. Ker pretežno še temelji na manualni tehniki, kljub računalniški podpori v posameznih fazah dela, je počasno in ima omejene možnosti za učinkovito racionalizacijo. Predvsem pa je klasično zasnovan sistem nebogljjen, ko je treba obdelati prostorsko orientirane podatke in informacije, kar je poleg zahtev po njihovem hitrem in ažurnem posredovanju osrednji problem učinkovitega načrtovanja. Oboje nam nudijo računalniško podprti prostorski informacijski sistemi (v nadaljevanju PIS). Razvoj tovrstnih sistemov se je začel v sedemdesetih letih. Danes le-ti že omogočajo hitre in kombinirane obdelave podatkov in informacij ter njihovo predstavitev v kartografski in tekstovni obliki. Glede na to, da so vse informacije geokodirane (prostorsko opredeljene), je z orodji mogoče reševati eksaktno definirane probleme oz. naloge. Nekatere med njimi so:

- kakšna je lesna zaloga smrekovih sestojev v višinskem pasu med 1000 in 1500 m, v poljubnem območju s koordinatami x in y?
- na katerih lokacijah (nadmorska višina, ekspozicija, drevesna sestava) se pojavljajo nadpovprečne poškodbe gozdnih sestojev?
- kolikšen je delež gozdne površine in kakšna je struktura lesne zaloge v pasu, ki od najbližje kamionske ceste ni oddaljen več kot 200 m?

## VRSTE IN ZGRADBA PROSTORSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV

### DEFINICIJA IN FUNKCIJE PIS

Prostorski informacijski sistemi so orodje za vsestransko hitro obdelavo velike količine raznovrstnih prostorskih podatkov in informacij. So računalniško podprti avtomatski informacijski sistemi, vendar pa pri uporabi od uporabnika ne zahtevajo specializiranega računalniškega znanja. Omogočajo ažurno, selektivno in hitro pridobivanje informacij, njihovo obdelavo in posredovanje geokodiranih informacij, ki so podlaga za smotrno gospodarjenje z naravnimi viri in prostorom. Vse informacije so večplastno združljive, prav tako so združljive tudi s tujimi podatkovnimi zbirkami.

PIS združuje lastnosti sistemov za upravljanje s podatkovnimi bazami, s sistemi za računalniško grafiko in avtomatsko kartografijo. Je pa še mnogo več. Vsebuje namreč še orodja za simultano, soodvisno upravljanje s prostorskimi in atributivnimi podatki, ki se nanašajo na isto lokacijo. Tako npr. vsaki grafični spremembi avtomatsko sledi tudi sprememba vsebinskih podatkov v ustreznih podatkovnih zbirkah. Najpomembnejše funkcije, ki jih sodobni PIS-i omogočajo pri gospodarjenju z gozdovi, je mogoče povzeti takole:

- integracija podatkov iz različnih podatkovnih virov v skupne baze podatkov (teren, karta, slika),
- integracija kart, narejenih v različnih merilih in projekcijah, v karte želenega formata, tematike in merila,
- izračun površin, pretvorba projekcij, sprememba meril, sprememba vsebine kart,
- vzpostavljanje relacij med neodvisnimi in mnogokrat iz različnih virov pridobljenimi podatki preko sistema geokodiranja; s tem je omogočeno pridobivanje povsem novih informacij,
- sposobnost agregiranja podatkov od podrobnega informacijskega nivoja na regionalno ali državno raven; s posebnimi algoritmi tvori sistem iz podrobnih podatkov (nanašajočih se na osnovne informacijske enote) podatkovne baze za stratume na višji načrtovalski ravni,
- avtomatska izdelava novih tematskih kart in podatkovnih zbirk na podlagi presekov (prekrivanja) posameznih podatkovnih ravni,
- avtomatsko določanje sosedskih pasov vzdolž izbranih linij ali poligonov (npr.: določanje površin upošteva s pravilno razdaljo ali določanje emisijskega pasu vzdolž avtoceste itn.).

### SESTAVINE PIS

Prostorske informacijske sisteme sestavljajo strojna in programska oprema, podatki in uporabniki. PIS zahteva, da so vsi podatki prostorsko opredeljeni (s koordinatami  $x$ ,  $y$ ). Samo enoličen zapis omogoča njihovo kasnejše prepoznavanje, ne glede na to, ali so v sistemu zapisani kot točke, linije

ali poligoni. V principu je PIS sestavljen iz več med seboj povezanih pod-sistemov.

Podsystem za zajemanje podatkov obsega pripravo, organizacijo in snemanje podatkov. Vhodni podatki so v grafični (razne karte) ali alfanumerični (tekstovni) obliki in so s primernimi orodji transformirani v za računal-nik prepoznavne digitalne oblike. Poleg terenskih so bistveni vir prostor-skih podatkov še aeroposnetki, v zadnjem času pa vedno bolj tudi satelit-ski posnetki. Vnos podatkov poteka običajno po ločenih podatkovnih slojih z digitalizacijo, skaniranjem ali kodiranjem na računalniške spominske medije.

Podsystem za upravljanje s podatkovnimi bazami obsega kontrolo, shranje-vanje in obdelavo podatkov. System omogoča strukturiranje, dopolnjevanje, združevanje in transformacijo podatkov, spajanje kartnih izsekov in geo-metrične korekcije.

Podsystem za analizo podatkov omogoča geografsko analizo, interpretacijo podatkov ter izdelavo modelnih študij in simulacij. Obdelave obsegajo pros-torske, vsebinske ali kombinirane podatke. V tej fazi je možna tudi njih-o-va agregacija. Tipična operacija je npr. generiranje novih informacij s pre-krivanjem izbranih podatkovnih slojev ob hkratnem izračunu površin in razdalj ter izdelava ustreznih vsebinskih datotek in novih tematskih kart v izbranem merilu in tehniki.

Podsystem za izhod podatkov in prikaz rezultatov omogoča grafično, kar-tografsko ali tekstovno predstavitev na različnih izhodnih enotah (tabele, grafi, karte). Današnja tehnika na področju grafičnih prikazov in karto-grafije skorajda ne postavlja nobenih omejitev. Nasprotno, omogoča izpise različnih formatov (do A0) v črnobeli ali barvni tehniki, z visoko resoluci-jo (do 256 različnih barvnih odtenkov) neposredno z računalnika, oziroma preko skanerjev. Zadržanost glede uporabe slednje je umestna, ker zahteva nabava take opreme tudi visoka sredstva.

Glede na način shranjevanja grafičnih podatkov obstajata dva načina: ras-trski in vektorski zapis. Oba imata prednosti in pomanjkljivosti, zato mnogi komercialni PIS programi že nudijo možnost pretvorbe zapisa iz ene oblike v drugo. Prednost vektorskih sistemov je v natančnem linijskem zapisu, kar je pomembno v kartografiji, rastrski sistemi pa so enostavnej-ši. Nekatere baze podatkov obstajajo samo v rastrski obliki (npr. skanira-ni podatki satelitskih snemanj).

## ORIS OBSTOJEČE GOZDARSKE INFORMATIKE

Biološka narava gozda in pa dolga proizvodna obdobja sta najpomembnej-ša razloga, zaradi katerih je gozdarska stroka že pred več kot stoletjem začela načrtno urejati gozdni prostor in vzdrževati gozdno proizvodnjo (Funkl, 1979). Filozofsko načelo trajnosti, ki ga je sooblikovala in tudi



sprejela za svoj temeljni postulat, ji je bilo pri njenem delu v veliko pomoč in oporo. Upošteva ta izhodišča in nekatera, že omenjena v uvodnih besedah, sploh ne preseneča sorazmerno zgodaj postavljena zahteva po vzpostavitvi gozdarskega informacijskega sistema. Le-ta naj bi v prvi vrsti zadostil potrebam urejevalcev (načrtovalcev) gozdnega prostora, rabil pa bi tudi strokovnim službam v gozdarstvu in zunaj njega. Obstoječi informacijski sistem naj bi gozdarstvu pomagal predvsem pri izpeljavi naslednjih vsebinskih nalog (Mikulič, 1983, 1987, 1992):

- zagotavljanje trajnih funkcij gozda z upoštevanjem medsebojne povezanosti in soodvisnosti naravnih, gospodarskih in splošnodružbenih dejavnikov,
- povezava sistema z večravninskim sistemom gozdnogospodarskega načrtovanja (načrti gozdnogospodarskih območij, gozdnogospodarskih enot in podrobni gojitveni načrti),
- pridobitev strokovnih osnov za celovit sistem "družbenega" planiranja in pomoč pri usklajevanju in razmejevanju širšega družbenega interesa za gozdove od ostalih interesov,
- načrtno zbiranje podatkov o stanju v gozdovih, nadzor nad učinki gospodarjenja (preverjanje razvojne dinamike gozda),
- oceno optimalne izkoriščenosti rastiščnega potenciala upošteva strokovna izhodišča v celotnem slovenskem gozdnem prostoru.

Naštetim nalogam, ki so trajno navzoče že od konca sedemdesetih let, so se v preteklem desetletju pridružile še nove. Pravi šok je npr. doživelo gozdarstvo in z njim celotna slovenska javnost z razširitvijo propadanja gozdov v našo deželo. Ta je najprej sprožil polemiko, nazadnje pa odločitev, da tudi v Sloveniji pristopimo k organiziranemu monitoringu tega procesa. Kljub dejstvu, da je bil v gozdarstvu tisti čas že organiziran operativni gozdarski informacijski sistem, se je vendarle izkazalo, da nove naloge ne bo mogel zadovoljivo opraviti, vsaj ne v tako kratkem času, kot ga je zahtevala metoda snemanja. Zaradi tega je bil zasnovan in vzpostavljen nov sistem, ki v primerjavi s starejšim (gozdarskim informacijskim sistemom) temelji na statistični zasnovi. Slovensko gozdarstvo tako ta čas vodi dva sistema: gozdarski informacijski sistem, ki rabi predvsem gozdnogospodarskemu načrtovanju, in pa popis poškodovanosti gozdov, ki je namenjen monitoringu zdravstvenega stanja gozdov.

## OBSTOJEČI GOZDARSKI INFORMACIJSKI SISTEM

Sedanja zasnova računalniško podprtega sistema, oblikovana v začetku osemdesetih let, vsebuje take postopke zbiranja in obravnave informacij, ki naj bi omogočili izpeljavo že omenjenih nalog. V tem smislu je gozdarski informacijski sistem sestavljen iz treh medsebojno povezanih dejavnosti: popisa atributivnih znakov v gozdovih, odsečnih dendrometrijskih inventur in gozdarske kartografije.

Osnovni nosilec podatkov je najmanjša organizacijska in prostorska enota, imenovana odsek. Njena povprečna površina je 12 ha, celotnemu sistemu pa daje hierarhičen značaj; pretok podatkov namreč teče od odseka do večjih enot kot so gozdnogospodarske enote in območja. Interpretacijske enote so lahko (zaradi hierarhičnega združevanja podatkov) vse omenjene površinske celote, zaradi narave gozdarskega načrtovanja pa je to največkrat gospodarski razred (ekološko-gospodarski stratum), oblikovan na ravni gozdnogospodarske enote ali območja.

#### DATOTEKA ODSEKOV:

- evidenčni podatki o odseku (GG območje, GG enota, katastrska občina, površina odseka, vrsta zemljišča, sektor lastništva itn.),
- požarna ogroženost,
- geografsko-rastiščni podatki (koordinati centroida, nadmorska višina, vrsta pokrajine, oblika reliefa, vrsta kamnine, tip tal itn.),
- tip rastlinske združbe in njen površinski delež v odseku,
- podatki o sestoji (stopnja ohranjenosti, zgradba sestoja),
- pravilne razmere (smer, razdalja).

#### DATOTEKA RAZVOJNIH FAZ (nosilec podatkov je razvojna faza znotraj odseka):

- evidenčni podatki (GGO, odsek),
- podatki o razvojnih fazah in njihovih površinskih deležih,
- sestojna zasnova, negovanost, smernice za ukrepanje,
- glavne poškodbe in njihov površinski obseg.

#### DATOTEKA STRUKTURE LESNIH FONDОВ:

- lesna zaloga in prirastek,
- nastanek sestoja in drevesna sestava,
- kakovost in vitalnost sestoja.

Metode snemanja, s katerimi opredeljujemo posamezne znake so več ali manj izdelane, ni pa mogoče trditi, da so brez pomanjkljivosti. Pravzaprav jih karakterizirajo podobne slabosti kot jih opažamo pri vseh večjih sistemih (Berry, 1987, Golob, 1990, Hočevar, 1992, Kovač, 1992 idr.), te pa so: prešibko definirani standardi za snemanje posameznih znakov (definicije pojmov, eksaktni ključi, rangiranje, natančna navodila za snemanje znakov v mejnih primerih itn.), premajhna stopnja objektivnosti, neizenačenost ocen, prešibek terenski nadzor nad posnetimi podatki, v manjši meri pa tudi nepreverjanje stanja, ki ga izkazujejo različni valorizacijski modeli z realnim (in-situ) stanjem.

Odsečne dendrometrijske inventure so še v razvoju. Še do nedavnega je bil pretežni delež ocen pridobljen z okularnimi cenitvami, danes pa se le-ta zmanjšuje, saj stroka za oceno lesnih fondov vse bolj uporablja različne

varianste objektivnejših vzorčnih metod. Na raziskovalnem področju oblikujemo koncept celostnega prostorskega informacijskega sistema, katerega integralni del bodo tudi gozdne inventure.

Tretja komponenta gozdarskega informacijskega sistema je gozdarska kartografija, ki zaenkrat še temelji na klasičnih kartografskih tehnikah. Vsebinski napredek v primerjavi s prejšnjimi desetletji je očiten, pripisovati pa ga gre predvsem stiski po kakovostnem in sprotnem prikazovanju vseh vrst tematskih sporočil, ne le topografskih. V preteklem desetletju je bil namreč zasnovan sistem gozdarskih kart (Juvančič, 1988, 1990), ki je kartografsko dejavnost poenotil in vsebinsko razširil. Kljub premiku sistem ni predvidel niti rešil dejavne (aktivne) povezave podatkovnih zbirk s tematskimi kartami. Avtomatsko povezavo začasno nadomešča tehnika prikazovanja grafičnih informacij s centroidi in je zgolj informativnega (preglednega) značaja.

#### ORIS SISTEMA, NAMENJENEGA POPISU POŠKODOVANOSTI GOZDOV

Popis propadanja gozdov teče v Sloveniji že od sredine osemdesetih let. Njegova zasnova je statistična, uporabljeni model pa je dvostopenjsko vzorčenje v traktih. Trakti so praviloma postavljeni samo tam, kjer je ekološki tip gozd (brez premikov na terenu), kar zmanjšuje možnost pristranih površinskih ocen. Podatkovna zbirka ima naslednjo vsebino:

- evidenčni podatki,
- ekološko-rastiščni podatki,
- dendrometrijski podatki,
- podatki o poškodovanosti drevja (osutost, tip osutosti, porumenelost, tip porumenelosti, prisotnost neobičajnih vej itn.),
- podatki o lišajih.

Enota snemanja je ves trakt s površino 6,25 ara, ocenjevanje znakov pa teče po dveh ravneh; del znakov, predvsem takih, ki imajo površinski (ploskovni) značaj ocenjujemo na celotni površini, znake, ki so vezani na ocenjevanje oz. merjenje dreves pa snemamo na štirih stojiščih trakta.

Večina popisnih točk (traktov) iz sistematske mreže z gostoto 4x4 km je posneta že tretjič. Nekajletno variacijo vrednosti znakov (dinamiko procesa) je zato že mogoče ocenjevati s tehnikami temporalne analize. Vsebina podatkovne zbirke je nekoliko širša kot ga zahteva srednjeevropska metodologija. Tudi v primerjavi z gozdarskim informacijskim sistemom je vsebina bolj ekološko obarvana in pravzaprav predstavlja prvi poskus ekološkega monitoringa na velikoprostorski, recimo temu nacionalni ravni.





## IZHODIŠČA ZA ZASNOVO NOVEGA, CELOSTNEGA INFORMACIJSKEGA GOZDARSKEGA SISTEMA

Izgradnja celostnega gozdarskega prostorskega informacijskega sistema je prednostna naloga gozdarstva in vseh strok, ki se tako ali drugače ukvarjajo s prostorom. Zaradi racionalnosti novega gozdarskega PIS je treba veliko pozornost posvetiti podsistemu za pridobivanje podatkov. Ta proces bo namreč zahteval kar 80% vse porabe časa in stroškov. Iz tega razloga bi morala biti vsa lastna snemanja skrbno načrtovana, predvsem pa se bo treba izogniti vsakemu podatkovnemu podvajanju. Če je le mogoče, bo potrebno uporabiti tuje podatkovne zbirke, ki pa bi morale biti zasnovane tako, da bo zagotovljena njihova popolna združljivost. Splošni napotek naj bo, da je z minimalnim številom podatkov (velja za lastna snemanja) mogoče dobiti čim popolnejšo informacijo! Podatki morajo biti objektivni in z znano natančnostjo.

Informacijska vsebina sistema je v splošnem odvisna še od obsega, vrste, detajlnosti in natančnosti zbranih podatkov. Smiselno je zbirati samo tiste podatke, ki jih bomo kasneje tudi rabili. Merilo odločanja, ali nek znak pride v poštev ali ne, sta njegova kakovost in informacijska učinkovitost; učinkovit je tisti podatek, ki več koristi (mišljena je dolgoročna koristnost podatka) kot stane. Nujno je sodelovanje med načrtovalci sistema in uporabniki informacij. Pomemben parameter pri oblikovanju celostnega PIS je še njegova večdimenzionalna integrabilnost. Določena je z naslednjimi elementi:

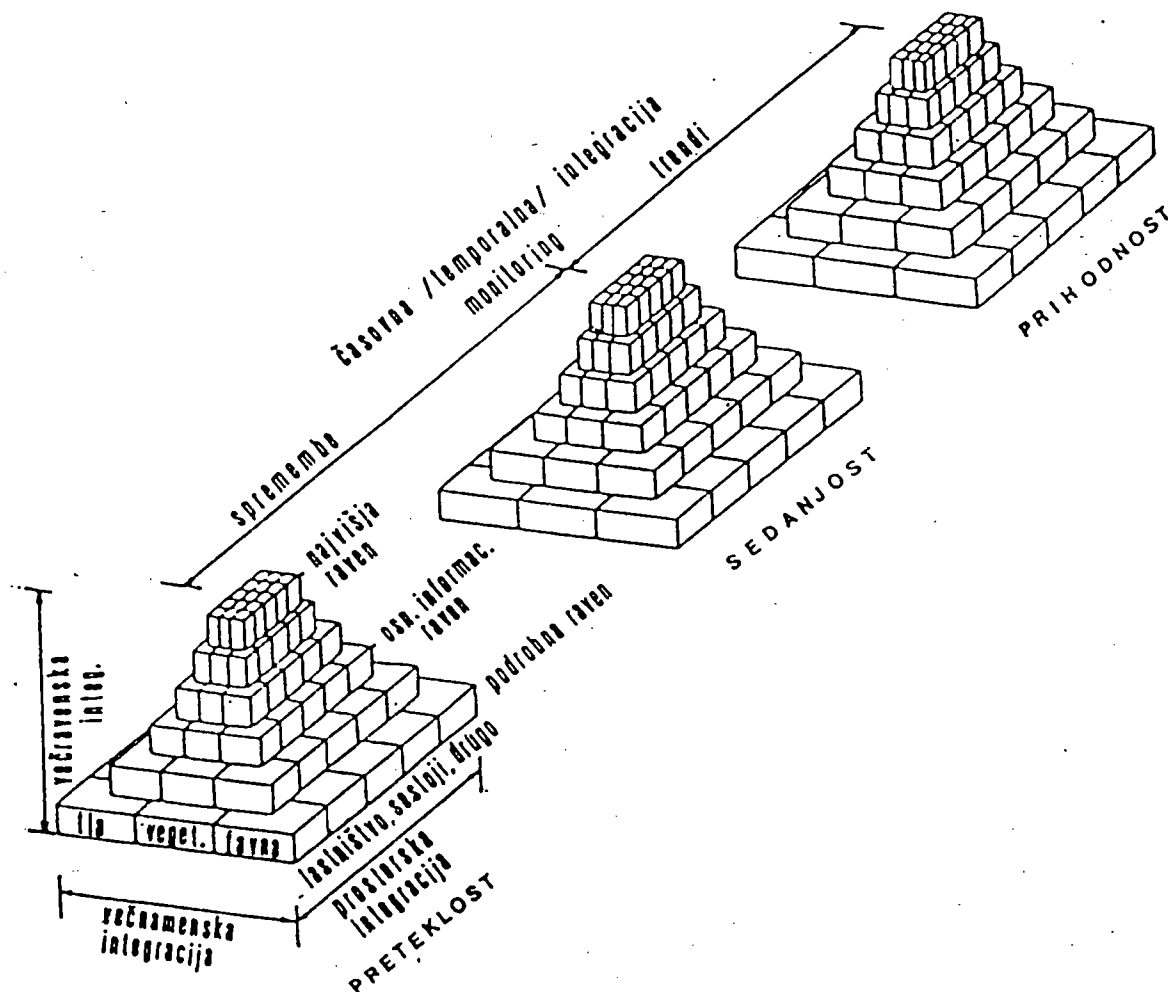
**Večplastnost** - ista baza podatkov naj rabi kot podlaga za odločanje na različnih ravneh gospodarjenja. V gozdarstvu so te ravni sestoj/odssek, gospodarski razred, gozdnogospodarska enota, območje/regija in republika. Praviloma so na višji ravni odločanja potrebe bolj generalizirane informacije kot na nižjih, krog uporabnikov le-teh pa je na višji ravni širši kot na nižji. Da se izognemo podvajanju, je treba oblikovati smiseln krogotok informacij.

**Mnogonamenskost** sistema zagotavlja informacije za ovrednotenje in za gospodarjenje z vsemi pomembnimi funkcijami gozda. Pri tem velja načelo sorazmernosti med splošnokoristnimi in proizvodnimi funkcijami. V plošnem velja, da naj podatke zbira tista služba, ki je strokovno najbolj kompetentna, uporaba zbranih podatkov pa je pod določenimi pogoji splošna.

**Prostorska celovitost** - informacijski sistem pokriva ves gozdni prostor ne glede na lastništvo.

**Multitemporalnost** - sistem mora biti zasnovan v smislu monitoringa, t.j. nadzora sprememb v gozdnem in gozdnatem prostoru. Tak pristop zagotavlja zanesljivejšo oceno dogajanja in učinkovitosti ukrepov v preteklosti in tudi prognozo prihodnjega razvoja. V primeru vzorčnih snemanj naj se snemanja opravljajo na stalnih ploskvah.

Slika 2: Model celostne integracije podatkov v PIS (Po Lund 1988).



Poleg omenjenega je pri izgradnji informacijsko učinkovitega celostnega PIS potrebno upoštevati še naslednja načela:

Sodelovanje in koordinacijo, ki med snovalci informacijskega sistema in uporabniki (organi odločanja) zagotavljata pravilno izbiro podatkov, enotna pravila zbiranja podatkov na vsem prostoru, minimalne zahteve glede kakovosti podatkov, odpravo nepotrebnih podatkovnih podvajanj in dodatnih snemanj ter boljšo uporabnost končnih informacij in izkoriščanje informacijskega sistema kot celote.

Standardizacijo in inovativnost, ki odločata o enoličnosti podatkovnih zbirk in sistemski prožnosti. Pomen podatkov mora biti natančno defi-



niran. Samo dosledno upoštevanje teh elementov dovoljuje poljubno kombiniranje in primerjanje informacij (natančni šifranti, pravila snemanja). Hkrati mora sistem ostati dovolj prožen, da so mogoče izboljšave.

Objektivnost in natančnost je pomembna zahteva, ki zagotavlja uporabo podatkov iz različnih virov in oceno zanesljivosti odločitev (navedeno mora biti merilo zajemanja podatkov, natančnost snemanja/odčitavanja). Zahteva je še posebej pomembna zaradi današnje, človeku odtujene računalniške obdelave podatkov.

Kontrola in osebna odgovornost zagotavljata kakovost podatkov v okviru izdelanih pravil. Vsak načrt snemanja mora že na samem začetku opredeliti način kontrole in odgovorne osebe. Sistem zajemanja podatkov mora biti zasnovan prijazno za izvajalca in mora v čim večji možni meri preprečevati možnost pojavljanja napak (npr. izbira sistema za digitalizacijo kart, t.j. opravila, ki bo v bližnji bodočnosti narekovalo veliko porabo časa).

Kakovost celotnega PIS je odvisna predvsem od kakovosti vhodnih podatkov. Tega se v praksi pogosto premalo zavedamo. Podatki morajo biti objektivni, ponovljivi, znana pa mora biti tudi njihova točnost. To lahko zagotovimo le s primernim pristopom in pripravo dela, ki obsega:

- do vseh podrobnosti izdelan in organiziran sistem snemanja podatkov,
- temeljito uvajanje in trening snemalnega osebja,
- kontrolo dela na terenu ter spontano logično in končno kontrolo podatkov in rezultatov.

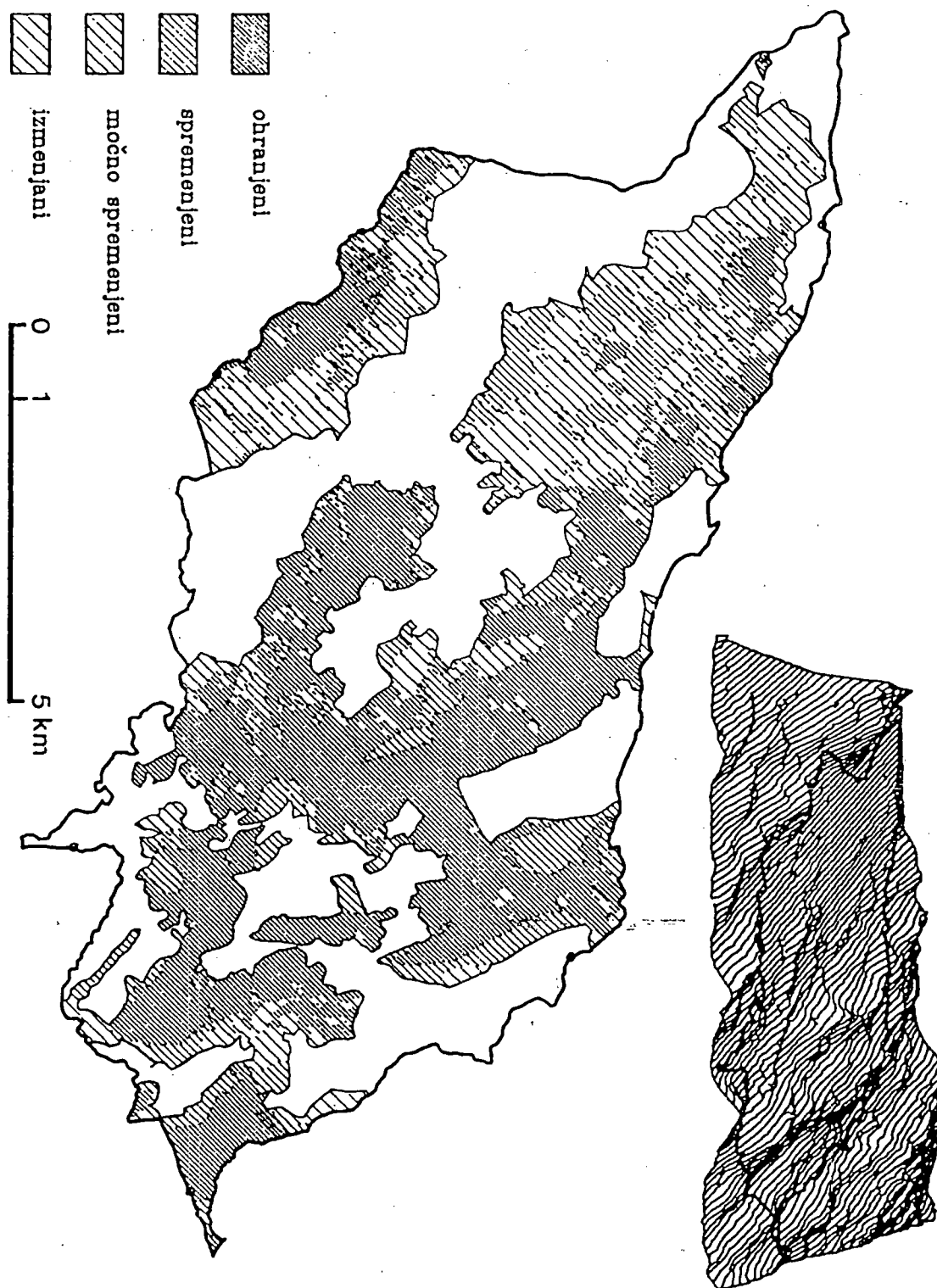
## NADZOR GOZDNEGA EKOSISTEMA IN GOZDNATE KRAJINE

Zaradi čedalje bolj obremenjenega okolja in propadanja gozdov je potrebno težišče dela prenesti na učinkovit monitoring dogajanj v gozdu in gozdnem prostoru. Zasnova sodobnega prostorskega informacijskega sistema mora poleg integracije dosedanjega sistema zbiranja podatkov v gozdarstvu upoštevati vedno bolj poudarjeno mnogonamensko vlogo gozda in naš sonaraven, prostorsko izredno razčlenjen način gospodarjenja.

Ideja sonaravnosti je presegla prizadevanja po varovanju prvobitnosti in poslednjih oaz ohranjene narave, posebno v gozdu je vtkana v celoten prostor človekove dejavnosti (Amer, Utschick, 1982; Volk, 1988; Schirmer, 1991). Sklicevanje na resnico, da je gozd med vsemi elementi kulturne krajine naravi najbližji, ne zadošča več. Gozdarstvo postaja pomemben oblikovalec biotopov tudi v deželah, kjer je doslej gozd predstavljal predvsem tradicionalen vir surovin in zatočišče ali bivališče divjadi (Hanstein, 1992, Brooks, Grant, 1992).

Ob analizi gozdnega prostora in gozdnate krajine ne razmejujemo gozdnih

Slika 3: Ohranjenost gozdnih sestojev v gozdnogospodarski enoti Mozelj na Kočevskem. Meje enote so vrisane tudi v 3d prikaz modelnega območja.



sestojev le kot osrednjih homogenih nosilcev podatkov in informacij, pomembni postajajo tudi znaki:

- sonaravne zgradbe sestojev,
- strukturne in vrstne pestrosti,
- redkosti rastlinskih vrst.

Gozdni sestoj tako opredelimo tudi glede na njegov ekološki potencial. Na nivoju gozdnega ekosistema in gozdnate krajine pa so pomembni znaki prostorske pestrosti, mozaične prepletenosti posameznih rab prostora, oblike in dolžine gozdnega roba, ohranjenosti, sklenjenosti in povezanosti gozdnega prostora.

Teh znakov doslej nismo upoštevali, ker jih pred uveljavitvijo prostorskih informacijskih sistemov niti ni bilo mogoče ocenjevati in analizirati. Nujne so bile poenostavitve, pri katerih smo bodisi privzeli, da je prostor homogen, ali pa smo sklepali predvsem o linearnih povezavah v okolju.

Predstavljena izhodišča bomo uveljavili v okviru projekta "Analiza naravnih danosti in ocena razvojnih potencialov kočevske krajine". Temeljni cilji projekta so:

- izdelati zasnovo prostorskega informacijskega sistema za kočevsko regijo in ga povezati z dosedanjim informacijskim sistemom,
- v sodelovanju z GG Kočevje oblikovati gozdarski prostorski informacijski sistem,
- analizirati naravne in antropogene danosti za oblikovanje krajinskega parka.

Ob privzetih informacijskih plasteh bo osrednji del projekta usmerjen k oblikovanju sklopa gozd in gozdarstvo. Pri njegovem oblikovanju bomo poleg že predstavljenih virov uporabili naslednje vire podatkov in informacij:

- terensko zbiranje podatkov v okviru gozdne inventure,
- aerosnemanje z infrardečim barvnim filmom v merilu 1:35000 iz leta 1992, letalske posnetke cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) in posebnega snemanja iz leta 1965,
- izsek iz satelitskega posnetka LANDSAT TM iz leta 1992.

Doslej smo na slovenskem s terenskim zbiranjem podatkov na vzorčnih ploskvah kontrolne vzorčne metode ocenjevali predvsem dendrometrijske znake (Hočevar 1990), zato bo metoda dopolnjena z obsežnejšo oceno sestojne zgradbe in opisom krajinskih elementov. Tu bomo podrobno primerjali terenske znake z njihovo preslikavo na letalskih posnetkih in izdelali interpretacijski ključ rabe prostora. Oblikovali bomo način razvrščanja gozdnih sestojev, ki bo upošteval dosednji koncept členitve gozdnega prostora, prilagoditi pa ga bo potrebno različnim nivojem analize prostora. Tu ne gre za generalizacijo podatkov v kartografskem smislu, temveč za oblikovanje ključev, prilagojenih različnim merilom oziroma nivojem prostorske členit-

ve. Z določitvijo izhodišč za velikoprostorski nadzor okolja bo mogoče oblikovati tudi načela za primerjavo med posameznimi regijami. Povezave med znaki, s katerimi opredeljujemo značilnosti gozdnega ekosistema in gozdnate krajine, se namreč spreminjajo po posameznih krajinskih tipih, kar onemogoča neposredno primerjavo med regijami ali drugačnimi prostorski celotami.

V sklepnem delu raziskave bomo z obdelavo satelitskega posnetka prenesli izsledke iz modelnega območja v širši prostor kočevske. Uporaba satelitskih posnetkov za velikoprostorski nadzor zahteva temeljitejšo raziskavo, toda ob oblikovanju informacijskega sistema o okolju in izrednih možnosti zaporednih snemanj (multitemporalnost nadzora), ki jih ponujajo satelitska snemanja, bomo skušali vsaj določiti mesto te tehnike v velikoprostorskem nadzoru gozdnega ekosistema in gozdnate krajine na slovenskem.

#### LITERATURA IN VIRI

- Amer, U., Utschick, H., 1982: Methodische Ueberlegungen fuer eine Biotopkartierung im Wald, Forstw. Cbl. 101, 60-68.
- Berry, J.K., 1987: Computer - assisted map analysis: potential and pitfalls, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53, 10, 1405-1410.
- Brooks, D.J., Grant, G.E., 1992: New Approaches to Forest Management, Journal of Forestry, 1, 25-28.
- Funkl, L., 1979: Temeljne poteze v razvoju urejanja gozdov na Slovenskem, Gozdnogospodarsko načrtovanje - integralni del družbenega planiranja, Gozdarski študijski dnevi 1977, Ljubljana, IGLG, 7-14.
- Golob, A., 1990: Možnosti razvoja računalniško podprtega prostorskega informacijskega sistema v slovenskem gozdarstvu, Gozdarski vestnik, Ljubljana, 48, 5, 261-266.
- Golob, A., 1992: Eko-razvoj, Naši razgledi (21. februar), Ljubljana, 119
- Hanstein, U., 1992: Vollflaechige Waldbiotopkartierung als Teil der Forsteinrichtung, Forst und Holz, 14, 17, 531-533.
- Hočevar, M., 1990: Ugotavljanje stanja in razvoja gozdov s kontrolno vzorčno metodo, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo, Zbirka referatov in navodila za pripravo in snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah.
- Hočevar, M., 1992: Osnove in zahteve prostorskih informacijskih sistemov, Pomen stanje in prihodnji razvoj gozdarske prostorske informatike, IGLG, Ljubljana, 1-5.
- Juvančič, M., 1988: Funkcije gozdarskih kart pri gospodarjenju z gozdovi, FAGG, Ljubljana, disertacija, 266 s.
- Juvančič, M., 1990: Vprašalnik - sistem gozdarskih kart 1990, BF Oddelek za gozdarstvo, Ljubljana, mnsr., 10 s.



- Kovač, M., 1992: Analiza gozdarskega informacijskega sistema, Pomen stanje in prihodnji razvoj gozdarske prostorske informatike, IGLG, Ljubljana, 15-21.
- Lund, G., 1988: A Primer on Integrating Resource Inventories, US Dep. of Agricult., Gen. Tech. Report WO-49, 64 s.
- Mikulič, V., 1983: Računalniško podprt informacijski sistem v Sloveniji, IGLG, Ljubljana, mnsr., 6 s.
- Mikulič, V., 1987: Opis podatkov v skupni zbirki podatkov za gozdarski IS, IGLG, Ljubljana, mnsr., 24 s.
- Mikulič, V., 1992: Pomen, stanje in prihodnji razvoj gozdarskega informacijskega sistema z vidika obravnavanja prostorskih podatkov, Pomen stanje in prihodnji razvoj gozdarske prostorske informatike, IGLG, Ljubljana, 7-8.
- Schirmer, C., 1991: Waldbiotopbewertung Heilbronn, Biotopschutz und Forstwirtschaft im kollinen Neckerland, Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden-Wuerttemberg, Heft 164, 109.
- Volk, H., 1988: Die Waldbiotopkartierung, Ein Ansatz zur Erfassung des Naturschutzwertes der Waelder, AFZ, 4, 55-62.

---

INCONTRO INTERNAZIONALE DI STUDIO  
INTERNATIONALES FORSCHUNGSKOLLOQUIUM  
COLLOQUE INTERNATIONAL DE RECHERCHE

---



PLANIFICATION FORESTIÈRE ET ENVIRONNEMENT  
SOCIALE  
FORSTLICHE PLANUNG UND GESELLSCHAFTLICHES  
UMFELD  
ASCONA, 12. - 16. OKTOBER 1992

---

ZÜRICH, FEBRUAR 1993

---

Forschungskolloquium: Forstliche Planung und gesellschaftliches Umfeld  
Ascona vom 12. bis 16. Oktober 1992.

## GANZHEITLICHES MONITORING DER WÄLDER IN SLOWENIEN

Dr. Milan Hočevar  
Biotechnische Fakultät, Forstabteilung, Ljubljana

### Inhalt:

1. Der Wald ist nicht nur Holz
2. Umdenken in der Forstplanung
3. Ganzheitliches Monitoring
4. Wald und Forstwirtschaft in Slowenien
5. Konzept der integrierten Waldinventur
6. Stand der Arbeiten und Ausblick

# 1. Der Wald ist nicht nur Holz

Wir leben in einer Zeit des starken Wandels der Ansprüche an Wald mit betonter ökologischer Note. Der Wald wird nicht mehr nur als Holzherzeuger, sondern viel mehr als Lebensraum mit vielfältigen Funktionen angesehen. Der Mensch wird in diesem Raum zu Gast und nicht, wie oft bisher, allmächtiger, kurzsichtiger Nutzniesser. Die Forstwirtschaft bekommt damit die dringende Aufgabe den Lebensraum Wald als Ganzes zu erhalten und zu pflegen. Sie muss die vielfältigen Ansprüche die an Wald gestellt werden erkennen, sie bewerten und zum Wohl des Waldes und des Menschen steuern.

Diese Überlegungen setzen für die Waldbewirtschaftung neue Randbedingungen, die volle Beachtung verdienen, wenn Forstwirtschaft nicht von anderen Interessengruppen verdrängt werden will. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten die in drei Gruppen zusammengefasst werden können:

## Das gesellschaftliche Umfeld:

- Es melden sich neue Interessengruppen mit eigenen Vorstellungen über die Waldbewirtschaftung, die oft stark von klassischen forstwirtschaftlichen Ansichten abweichen.
- Die breite Öffentlichkeit entwickelt ein starkes Interesse am Wald als Lebensraum. Verlangt werden:
  - Erlebnis der zeitlosen Natur ( Bedeutung von Altbeständen, des Alten)
  - Erlebnis der ursprünglichen Natur ( Gedanke der naturnahen Wälder )
  - Erlebnis der Naturvielfalt
  - Wald als Raum für Sport, Erholung

## Das politische Umfeld

- Der Wald steht im Rampenlicht der Politik. Damit wird das eigenständige Handeln der Forstwirtschaft zum Teil stark eingeengt.
- Erhaltung der Urwälder, Naturreserve und Artenvielfalt wird Gegenstand der internationalen Politik.
- Wald als Schutzraum und Klimaregulator ( CO<sub>2</sub> ) tritt geopolitisch stark in Vordergrund.

## Forstwirtschaftliche Bedingungen und Tendenzen

- Durch das Waldsterbenphänomen werden viele traditionelle Forstkenntnisse in Frage gestellt. Wegen veränderten Umweltbedingungen müssen die ertragskundlichen und traditionellen waldbaulichen Grundlagen einer kritischen Überprüfung unterzogen werden. Die Ertragstabellen verlieren an Bedeutung.
- Durch Übergang zum naturnahen Waldbau entstehen kleinflächige, heterogene Mischbestände; die langen Verjüngungszeiten verwischen die Bestandesgrenzen



- Einführung der Forstinformationssysteme bietet die Möglichkeit der Modellierung, Abspielen von komplexen Szenarien und damit eine Möglichkeit zur Abschätzung von Risiken.

## 2. Umdenken in der Forstplanung

Die geänderten Randbedingungen verlangen Umdenken auch in der forstlichen Planung. Die Forsteinrichtung wird Instrument zur Überwachung und Steuerung des Lebensraumes Wald. Dies soll jedoch durch eine sinnvolle Berücksichtigung der ökologischen Ansprüche ohne Verneinung der Produktionsfunktion des Waldes geschehen. Neue Forsteinrichtung muss aus folgenden Tatsachen ausgehen:

- Probleme der Walderhaltung müssen zuerst global ( großflächig ) erkannt werden um dann sinnvolle und wirkungsvolle Strategien auf der lokalen Ebene durchführen zu können. Die angestrebte Waldbehandlung soll aus Kenntnissen des Funktionierens und Entwicklung von natürlichen Ökosystemen ausgehen.
- Der segmentale Vorgang ( Trennung von Wäldern nach Funktionen ) muss durch die ganzheitliche Waldbewirtschaftung abgelöst werden.
- Biologische Vielfalt und der naturnahe Zustand sind für die Stabilität des Ökosystems Wald von entscheidender Bedeutung. Erhaltung des Gleichgewichtes im Ökosystem ist ein von primären Zielen.
- Die auftretenden Wechselwirkungen und möglichen Risiken müssen ständig berücksichtigt werden.
- Die multifunktionale Waldbewirtschaftung stellt den Wald als Raum (Lebensraum, Fläche) in Vordergrund, die Kubiken sind nur noch ein Massstab für eine von Funktionen.

Durch komplexere Waldplanung werden aber auch an die Forstinventur höhere Ansprüche gestellt. An Stelle der klassischen produktionsorientierten Forstinventur geht die Entwicklung zur permanenten Überwachungsinventur mit ganzheitlichem Waldmonitoring im Raum und Zeit.

## 3. Ganzheitliches Monitoring

Unter ganzheitlichem Waldmonitoring wird multifunktional und ökologisch gerichtete, auf Grundsätzen der Geoinformationssysteme aufgebaute Waldinventur verstanden.

Die Merkmale einer solchen Inventur sind:

#### **Methode und Datenstruktur:**

- Erfassung von Zustand und Veränderungen,
- Periodische Aufnahmen auf permanenten Aufnahmeflächen,
- Ganzheitliche Datenstruktur
  - Waldflächendaten (Waldbestände, Standorte,...)
  - Produktionsdaten: Vorrat, Zuwachs,
  - Ökologische Daten: Gefährdung, Stabilität, Naturnähe, Struktur- und Artenvielfalt, Seltenheit

#### **Integration der Waldinventur ins GIS**

- Alle Daten sind räumlich definiert (geokodiert),
- Die Forstdaten sind kompatibel zu bestehenden GIS,
- Die Forstwirtschaft ist Träger von Informationen über Wald und Waldraum und damit eins von wesentlichen Bestandteilen des allgemeinen Systems des Umweltmonitorings.

#### **Monitoringsebenen:**

- Baum,
- Bestand,
- Region, Staat.

#### **Monitoringstechniken:**

- Bodenaufnahmen,
- Fernerkundung

## **4. WALD UND FORSTWIRTSCHAFT IN SLOWENIEN**

Mit rund 1 Million Hektaren Wald ist Slowenien ein der relativ walddreichsten Länder Europas. Die Fläche pro Einwohner beträgt 0.55 ha.

Der Anteil des Privatwaldes betrug schon bisher 63% und lag somit erheblich über dem europäischen Durchschnitt von 47%. Die jüngsten politischen und gesellschaftlichen Veränderungen werden vermutlich zu einer Erhebung dieses Anteils auf 80% führen. Der Privatwald ist ein stark zersplitterter Kleinbesitz mit insgesamt mehr als 250 000 Besitzern. Bis vor kurzem wurden die Privatwälder zusammen mit dem Staatswald von öffentlichen forstwirtschaftlichen Unternehmen nach einheitlichem Bewirtschaftungskonzept betreut. Der neue, in der Vorbereitung stehende Forstgesetz, bringt hier allerdings erhebliche Neuerungen. Wenn die Vorschläge verwirklicht werden, bleibt die Forstplanung nachwievor gemeinsam, die Waldbewirtschaftung wird jedoch weitgehend dem Besitzer überlassen. Für die Waldplanung von grosser Bedeutung ist die

**Entscheidung, dass die Forstwirtschaft der Informationsträger der Raumplanung im Wald bleibt.**

Der slowenische Wald hat, mit wenigen Ausnahmen, weitgehend den naturnahen Aufbau behalten. Die Reinbestände (Kriterium: mehr als 80% des Holzvorrates der gleichen Baumart) sind mit 12.3% bei Fichte, 1.4% bei Weisstanne (Nadelholzbestände zusammen: 15.4 %), 12.6% bei Buche und 1.4% bei Eiche relativ selten vertreten. Erfreulich hoch ist mit 66 Prozent der Anteil der Bestände mit wenigsten 30% Laubholz. Das Waldbild prägen die baumartenreichen, kleinflächigen, reichlich strukturierten Bestände. Die Kahlschläge sind verboten. Die Waldbaulehre und waldbauliche Praxis sind ökologisch, multifunktional und naturnahe orientiert und durch freien Waldbaustil gekennzeichnet.

Auf eine langjährige Tradition blickt auch die Forsteinrichtung zurück. Sie orientierte sich lange nach bewährten Traditionsmustern des Schlagwaldes mit Unterabteilung, die dem Bestand gleichgestellt wurde, als Grundeinheit und vermochte so die neuen Wege in der Waldbaulehre nicht zu folgen. Bis zur jüngsten Zeit beharrte die Forsteinrichtung am Konzept der detaillierten Anleitungen für kleinste Flächeneinheiten womit sie im krassen Widerspruch zum deklarierten freien Waldbaustil stand.

Das geltende Forstinventurkonzept umfasst zwei in der Regel zeitlich und personell getrennte Tätigkeiten:

- Unterabteilungsweise Bestandestaxation auf gesamter Waldfläche und
- Stichprobenweise Vorrats- und Zuwachsinventur (ca. 50% der Fläche), in geringem Masse die Vollkuppung.

Wie anderswo in Europa wird diese Quasi-Bestandesinventur immer mehr in Frage gestellt (Tschupke, 1989). Sie ist teuer, ineffizient und vermag sich nur schlecht den neuen Entwicklungstendenzen wie sie in der Einleitung vorgestellt wurden, anzupassen. Deswegen wird seit einigen Jahren ein integriertes, ökologisch betontes Waldzustandserfassungskonzept vorbereitet, das als wesentlichen Bestandteil die Kontrollstichprobenmethode beinhaltet und sich als Träger in das forstliche Informationssystem (FIS) einfügt.

## **5. KONZEPT DER INTEGRIERTEN WALDINVENTUR**

Grundlage für die Konzeptausarbeitung waren die in vorherigen Kapiteln vorgestellte Überlegungen und die Randbedingungen gestellt durch die spezifisch slowenischen Verhältnisse. Es waren massgebend :

- Ausrichtung auf Mehrzweck-Waldbehandlung,
- der praktizierende freie Waldbaustil,
- kleinflächige und heterogene Bestandesstruktur die in der Regel mit Unterabteilungsgrenzen nicht übereinstimmt,

- hoher Anteil von Privatwäldern in der Zukunft unzureichender Übersicht und Erfolgskontrolle.
- Forstwirtschaft als Informationsträger für den Waldraum.

Die Ziele und Merkmale des Inventurverfahrens wurden wie folgt definiert:

### Bessere Daten

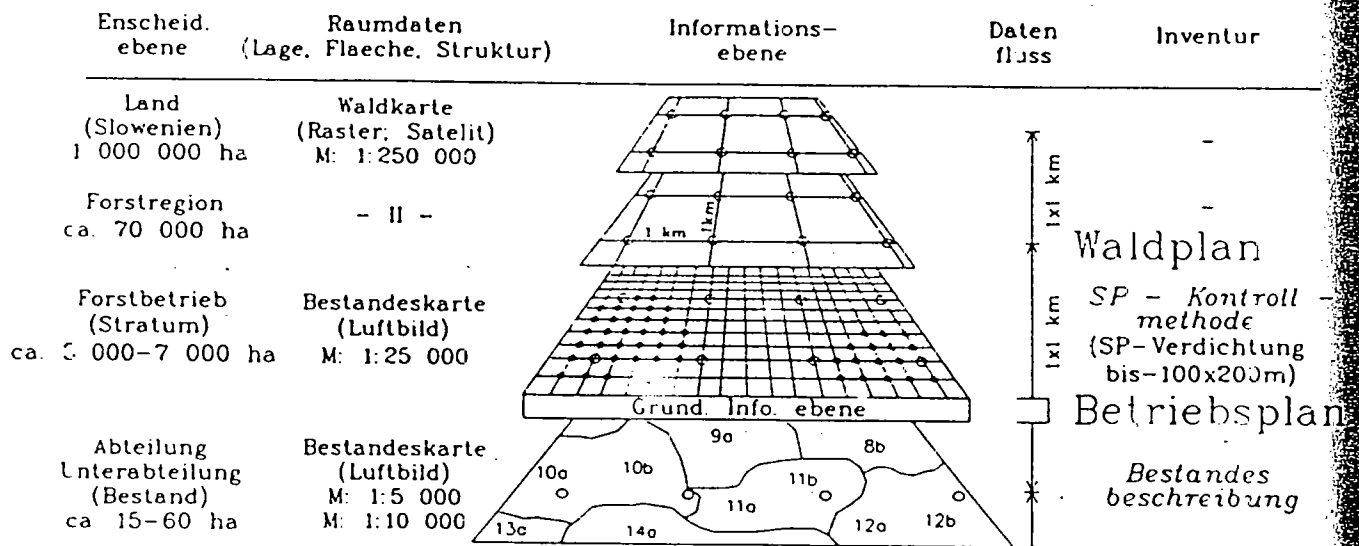
- Kostengünstige Bereitstellung von objektiven Daten mit bekannter Genauigkeit als Grundlage für die zuverlässige Entscheidungsfindung und Planung auf allen wesentlichen Planungsebenen: Stratum (Bestandestyp), Betrieb, Forstregion und Land.
- Erweiterung der Datenstruktur mit Merkmalen die der multifunktionalen Bedeutung des Waldes Rechnung tragen. Systematisch werden der Zustand und Entwicklung auf der Ebene des Baumes, Bestandes und des Waldökosystems als Ganzes erfasst.
- Zweckmäßige Verwendung von verschiedenen Datenquellen (Geländeaufnahmen, Luftbild). Auf der Baumebene werden stichprobenweise vor allem die dendrometrischen Daten ( Brusthöhendurchmesser, Durchmesserzuwachs, Schadenintensität ) erfasst. Im Vordergrund dieser Erhebungen steht die Überwachung der Holzproduktionsfunktion mit terrestrischen Methoden. Auf der Bestandesebene werden die flächenmäßigen Produktions- und Strukturmerkmale ( Zustand, Entwicklungstrend, Struktur- und Verteilungsmuster ) wie: Vorrat und Bestandeszuwachs, Beschädigungsgrad, Baumartenstrukturverschiebungen, Entwicklungsphasenstrukturanomalien, Bestandesauflösungserscheinungen mit Gelände- und Luftbildtechniken verfolgt. Auf dieser Stufe geht es um eine ausgewogene multifunktionale Waldzustandüberwachung. Auf der Waldökosystemebene steht die Überwachung von umweltbildenden Funktionen mit fernerkundlichen Methoden im Vordergrund.
- Ausgeglichene Verwendung von quantitativen, qualitativen und strukturellen Daten ist eine weitere Forderung. Alle wesentlichen Informationen sollten durch Angaben über Menge, Qualität, Fläche und räumliche Lage beschrieben werden. Dies bedeutet, dass die Messung im Wald und die durch Luftbilddauswertung erstellte Bestandskarte gleichwertige Informationsträger werden. Die Raumdaten (Flugbilder, Geländeaufnahmen auf permanenten Stichproben und bei der Bestandesbeschreibung) sind zugleich über GIS- Datenbanken ins landesweite Raumüberwachungsnetz eingegliedert.



## Kontrollstichproben

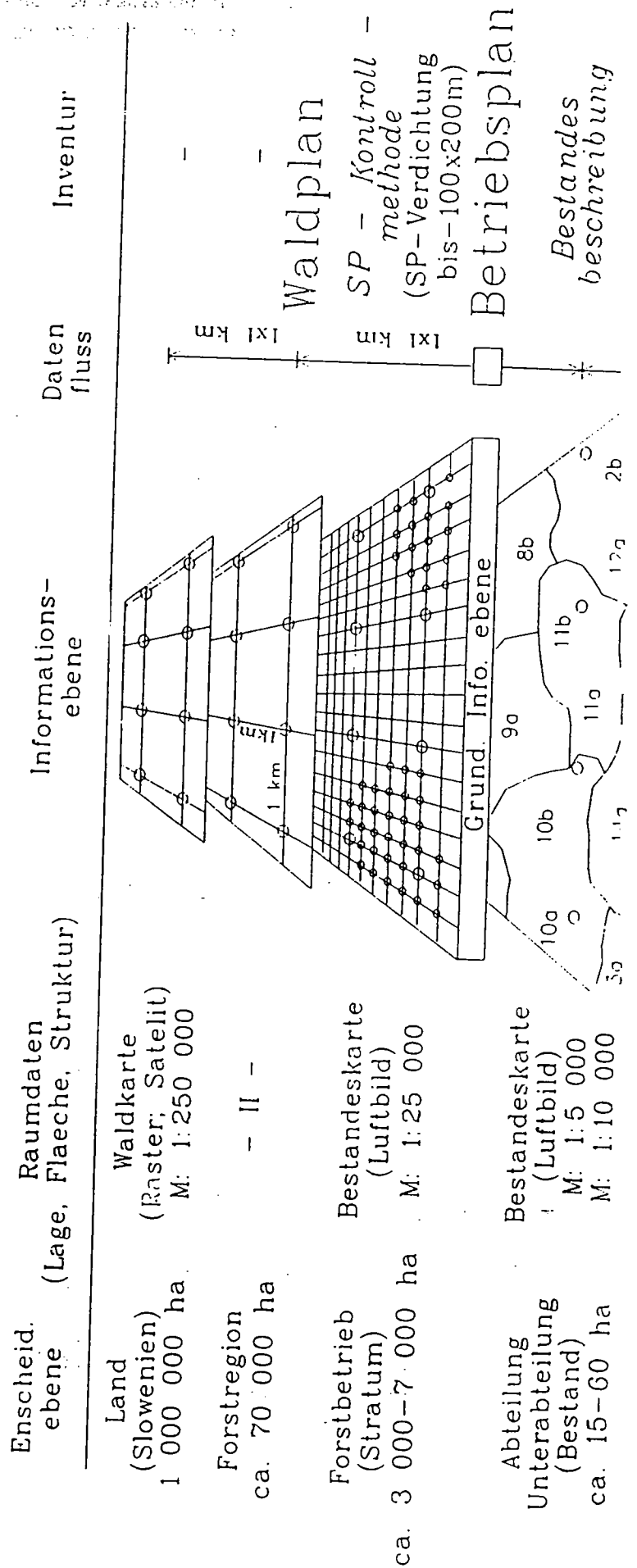
- Die Grundinformationsebene stellt die Kontrollstichprobeninventur (Schmid-Haas, 1989) dar die zuverlässige Daten und Informationen für die Planung und Erfolgskontrolle auf höheren Planungsebenen für die Waldplanung (Bestandesstraten, Waldregionen, Land) bereitstellt. Sie ermöglicht, dass rechtzeitig auch geringe Abweichungen im Waldzustand sowie negative Entwicklungstendenzen infolge schädlicher umweltbedingten oder anthropogener Einfüsse erkannt werden. Für die einzelnen Straten werden die Informationen für die waldbauliche und betriebliche Erfolgskontrolle abgeleitet und Ursachen-Wirkungsmechanismen analysiert. Auf dieser Basis erarbeitete Waldbehandlungsstrategien für einzelne Straten von Bestandentypen dienen als Entscheidungshilfen für die Arbeit auf der Bestandesebene (Bild 1).

Bild 1: Konzept der ganzheitlichen Waldinventur



- Zur Anwendung kommen Kontrollstichproben (konzentrische SP-Kreisflächen), auf einem Basisnetz von 1 x 1 Km (Slowenien: ca. 10 000). Dadurch werden Daten mit genügender Genauigkeit über den Waldzustand (z.B.:Vorrat) und Entwicklungstendenzen (z.B.: Holzzuwachs, Waldschäden) für die Festsetzung von Waldbewirtschaftungsstrategien auf der Landes- und Forstregionsebene bereit- gestellt. Die nötige räumliche Auflösung liefern die Waldtypenkarten die mittels Luftbildinterpretation (Flugzeug, Satellit) hergestellt werden.

Bild 1: Konzept der integrierten Forstinventur



- Um die zuverlässigen Informationen auf der Betriebsebene und für die einzelnen bedeutenden Straten (Bewirtschaftungsklasse, Bestandestyp) zu bekommen, wird das Stichprobennetz auf 100x200 m bis 250x500 m verdichtet. Die strukturellen und flächenbezogenen Daten werden aus der Bestandeskarte gewonnen.
- Die nötige Detailauflösung auf der Bestandesebene wird mit einer sinnvollen Synthese von Daten aus der Bestandesschätzung (einfache Grundflächenbestimmung, ausnahmsweise Vorratsschätzung; Bestandesbeschreibung: Pflegezustand, Mischung, Schlussgrad, Alter, ausgewählte ökologische Parameter), der Bestandeskarte (Fläche, Lage) und der Informationen für das betreffende Stratum (Kontrollstichproben) erreicht. Das Zuwachsverhalten und andere Trends werden aus Kontrollstichproben hergeleitet. Das Vorgehen ermöglicht dass für den Einzelbestand noch recht zuverlässige Schätzungen, weitgehend ohne systematischen Fehler, gewonnen werden. Mögliche Fehler bei der Bestandesschätzung sind auf höhern Ebenen ohne Belang da alle Werte nur aus Kontrollstichproben errechnet werden.

### Umstellungen in der Forstpraxis notwendig

Das vorgestellte Konzept bringt etliche Änderungen bei der Waldinventur und verlangt gewisse Umstellung bei der Planung sowie Vollzug. Die Informationen und Behandlungsmassnahmen werden nicht mehr für den konkreten Bestand, sondern für den Bestandestyp gegeben. Dadurch wird die Arbeit abstrakter und anspruchsvoller, da der Förster im Gelände den konkreten Bestand zunächst, mit Hilfe der Bestandeskarte und seines Fachwissens, einem Bestandestyp zuordnen muss. Die nötigen Eingriffe und Pflegemassnahmen im Bestand können dann aufgrund vom Behandlungsrichtlinien für den Bestandestyp im Wirtschaftsplan, der Richtlinien im Waldbauplan und unter Berücksichtigung der kleinstandortlichen Verhältnisse und Zustandes der Einzelbäume bestimmt werden. Auf diese Weise wird dem Förster im Gelände die nötige Handlungsfreiheit gewährt und gleichzeitig die Entscheidungshilfen gegeben.

### 6. Stand der Arbeiten und Ausblick

Das vorgeschlagene Inventurkonzept ist in einigen Teilen bereits verwirklicht oder im Untersuchungsstadium. Auf bereits 20-jährige Erfahrungen können wir bei der Kontrollstichprobeninventur zurückschauen (Hočevár, 1990). In einigen Fällen liegen bereits 3 Folgeaufnahmen vor. Voruntersuchungen der beschriebenen Bestandesinventurverfahren wurden durchgeführt und werden in Praxistest in grösserem Massstab überprüft.

## 7. Verwendete Literatur:

- Hočevar, M.: 1992: Waldzustandserfassung in naturnahen Wäldern Sloweniens. Oest. Forstztg., 1: 9-12.
- Hočevar, M.: 1990: Überwachung gefährdeter Wälder mittels Kontrollstichproben und Fernerkundung. In: Research in Forest Inventory, Monitoring, Growth and Yield., Publ. No. FWS 3-90, Virginia Polytech. Inst. and State Univ., S. 86-94.
- Schmid-Haas, 1989: Schweizer Kontrollstichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. Schweiz. Z. Forstwes., 140, 1:43-56.
- Tzschupke, W., 1989: Anforderungen an ein zeit- und funktionengerechtes Forsteinrichtungsverfahren. Allg. Forst- u. J. Ztg., 160 , 4:62-65.

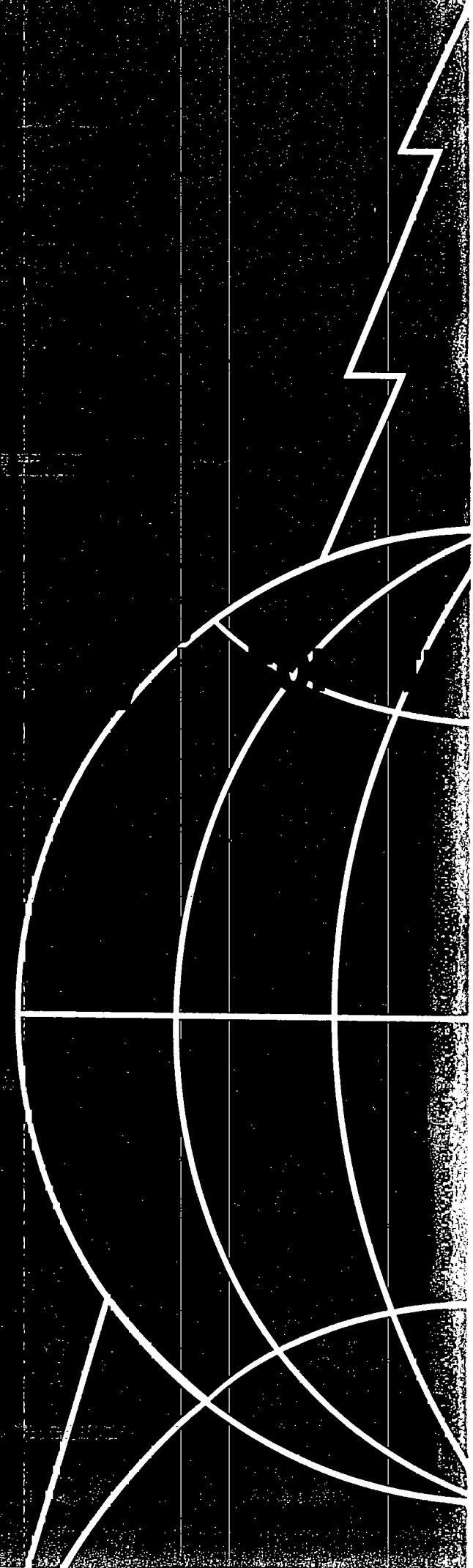
---

**PIANIFICAZIONE FORESTALE E CONTESTO SOCIALE  
FORSTLICHE PLANUNG UND GESELLSCHAFTLICHES UMFELD  
PLANIFICATION FORESTIERE ET ENVIRONNEMENT SOCIALE**

---



# COFFIN



# The Role of Landscape Ecology in Forestry

Proceedings of the IUFRO Working Party  
LANDSCAPE ECOLOGY (S1.01-05) Conference

September 13 - 17, 1993  
Radovljica - Planina - Kočevje  
Slovenia

Ljubljana, 1993

# MONITORING OF A FORESTED LANDSCAPE - FROM TREE TO REGION

*David Hladnik, M.Sc., prof. Milan Hočevar  
Biotechnical Faculty, Department of Forestry  
University of Ljubljana, Slovenia*

## Abstract

Environmental monitoring must provide both quantitative and qualitative descriptions at all relevant spatial scales. This paper presents a discussion on some possibilities for integrating multi-source data in an environmental monitoring programme in the Kočevska region. Current trends in ecological studies and forest inventories have dictated the integration of remotely sensed data into geographic information systems (GIS). Continuous forest inventory was adopted as an approach for ecological evaluation at the level of forest stands. The developed methods in the study area should also give a methodological foundation of environmental monitoring.

**Key words:** monitoring, remote sensing, GIS, continuous forest inventory

## Monitoring

In order to understand what is truly happening to our forest land, we need to monitor the resources in order to measure and predict change. Monitoring is the periodic observation of selected parameters for quantifying changes over time (IUFRO, 1992). It is a process of detecting whether change has occurred, establishing its direction and measuring its extent. This should be accompanied by an assessment of the significance of the changes detected (Hellowell, 1991). Although monitoring is intrinsically purpose-specific, its activities often combine data for different types of monitoring proj-

ects. According to the IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring (1992), the monitoring types are:

1. land cover or land use - for land management
2. forest resources - for timber production
3. biomass - for energy use of carbon balance
4. environmental quality - for ecosystem management.

In environmental monitoring, the problem is not only how to establish the monitoring programme but also how to define key indicators, standards or signals of significant change in the landscape or in specific ecosys-

tems. A good example of the difficulties faced in defining key indicators and standards is the assessment of forest damage. Since the beginning of the 1980s much research has been conducted in an effort to enhance the identification and classification of the damage characteristics of individual trees. It was also essential to assess the dynamics of stand decline and to ensure a continuous evaluation. Nowadays the focus of attention is on monitoring ecosystem health and the preservation of biological diversity. Monitoring should be an integral part of forest and land management. It should provide managers with information on the status and trend of species, ecosystems or the landscape as a whole.

### **Information needs**

In Slovenian forestry an information system has been developed to support multi-level forest management. The content of the forestry information system database is basically designed for monitoring the production and economic function of the forest. Although some data with regard to other functions of the forest have been introduced, information is lacking for environmental conservation and landscape management (Kovač, 1992). Other existing inventories, such as the national inventory of forest decline, are not suitable for monitoring at local levels or do not address the environmental issues we now face. In addition to traditional forest-based commodities (timber, water, wildlife), society increasingly values forests for such things as age,

absence of human disturbance, biological diversity and their role in regulating climate change. Many of these values depend on intact forest rather than on products, such as timber, that can be removed (Brooks and Grant, 1992).

A forest ecosystem can be described in terms of its states, stocks and flows. The state describes the condition with respect to age, structure composition of vegetation, type and distribution of wildlife, and type and distribution of human benefits. Proximity to natural conditions, rarity, and diversity are key attributes for ecological evaluation. State descriptions depend on spatial scale; parameters important in one scale are frequently not important or meaningful in another scale. A given state supports various stocks and flows. Stocks are defined as quantities of resources per unit area, for example basal area and volume of standing trees, or density of trees in different forest stands. Flows are the periodic yields from the stock of the system. Foresters have been traditionally concerned with the measurement of primary products cut from stands and the estimation of growth; nowadays the scope of forestry has widened.

The difference compared to previous forest management science and the previous forestry information system is the attention to issues on larger spatial scales and explicit recognition of the need for interdisciplinary approaches (Brooks and Grant, 1992). Scale leads also to an important concept - holism. A large scale body cannot be understood by directly



studying only the smallest elements, but should be examined at the various hierarchical levels as an entity (Zonneveld, 1989). Research on monitoring must provide both quantitative and qualitative descriptions at all relevant spatial scales. This is the reason why we need to work on the elaboration of a new monitoring programme which will cover all the levels involved. This paper presents a discussion of some possibilities for integrating multi-source data in an environmental monitoring programme. The emphasis will be on methods and techniques suitable for monitoring at the regional level.

## Methods and technologies

One of the inducements to develop new approaches to forest management has been the advent of computer-based technologies suitable for handling multiple resource problems over large spatial and time scales (Brooks and Grant, 1992). It is important to recognise that almost all environmental data have a spatial element and it is the spatial relationships between data that are important. Many ecologists in the past have simplified spatial interactions by assuming that the environment is homogeneous, or by assuming that what occurs at one point is independent of what occurs at others. Recent advances in computer software and hardware have led to the development of geographical information systems, which now permit a quantitative assessment of the consequences of heterogeneity in ecological systems over a broad range of

spatial and temporal scales (Johnson, 1990). A geographical information system is the ideal solution because its technology provides the medium for integration of spatial data, and at the same time provides a powerful tool for quantitative analysis of land-use change and map revision. It is expected that the integrating of GIS technology with remote sensing will provide the maximum information content and analysis capabilities and thus be of benefit to land use planners (Nellis et al., 1990).

Remote sensing platforms and sensors vary from resampled Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) satellite imagery with 4 km resolution to aerial photographs which permit very detailed monitoring and mapping. The most suitable scale must be selected according to the level of monitoring in order to detect the characteristics and quantify changes over time. It is important to keep in mind that boundaries are meaningful only relative to some questions and points of reference. What appears as an ecotone at one spatial scale may be seen as a collection of patches at a finer scale (Gosz, 1991). For forest monitoring, the Landsat Thematic Mapper (TM) with 30 m resolution and the French Systeme Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT) with 10-20 m resolution are recommended.

For Slovenian forestry the resolution of satellite images is not sufficient to supply the required detail at stand level. The individual forest stands are generally much too small and much too varied in their structure and composition for reliable mapping

using satellite imagery. One of the constraints in using satellite digital imagery for environmental monitoring is that changes must dominate a large enough area to influence the reflectivity of multiple pixels (Price et al., 1992). One primary reason for using aerial photography instead of or in addition to satellite imagery is the ability to work at a larger scale. Aerial photography with photogrammetric cameras can provide imagery with a resolution better than 1 m. This is an important source of information in Slovenia, — comprehensive data having existed for most of the country since the 1950s. As part of a mapping and planning programme in 1975 and 1980, complete coverage of Slovenia was obtained. In 1985 the programme of cyclical aerial photographing was modified. The whole country was covered in three years at a scale of 1:17,500 or 1:10,000 in areas of intensive urban or rural use. In that time foresters intensified the use of photogrammetric methods and the Department of Forestry of the Biotechnical Faculty began to investigate remote sensing methods for an inventory of forest decline. Large scale colour infrared photographs have been used for an inventory of forest damage. The decline of trees and forest stands was studied by photo-interpretation and field surveys (Hočevar and Hladnik, 1988). A method for observation of the development of stands and for estimating changes in damaged trees was designed (Hladnik, 1991). Although we do not use a sophisticated analytical plotter we may state that problems of a combined inventory with permanent sample

units on aerial photographs and on the ground are solved. Photogrammetry is also in transition. It is becoming an important component of image processing and GIS operations (Welch, 1992). A few years ago it was anticipated that the continued evolution of PC and mapping software technology would result in the transfer of many tasks from a specialised service industry to a broader community (Welch, 1989). Nowadays in the Department of Forestry we have PC-based technology for image processing, mapping and GIS.

The main problem in the past was the transfer of interpreted details onto a base map. In the early period we used a monoscopic transfereoscope. This device employs a viewing system that optically superimposes a view of the photograph and the map. It was replaced with the PC-based system which transforms the photo-coordinates to map coordinates by way of a digital terrain model. Today we have possibilities for handling image and map data in digital formats. A scanner must be used to convert analogue data on the film into a digital image. All digital images are subject to geometric distortions caused by sensor geometry, variations in platform attitude and by variations in the elevation of the terrain. For digital aerial photos, simple geo-referencing techniques used for satellite images are inadequate. Displacement caused by the terrain relief in the image must be removed to allow its registration to the map base in the GIS (Steiner, 1992). The resulting undistorted image is known as an orthophoto - a

suitable basis for forest monitoring and construction of detailed maps of forest stands. In our experience, stand maps are an excellent instrument in stratifying forest areas. By stratifying areas into a homogeneous stand, the efficiency of forest inventory and concreteness of collected data are increased.

The continuous forest inventory provides important information on the actual condition of forests, on changes in that condition and on growth. Combined inventories use both remote sensing and sampling on the ground. In successive forest inventories, previously constructed stand maps are checked against the most recent aerial imagery and updated with detailed data obtained from field surveys. The field description sheets embrace those aspects of land use and vegetation cover that can be observed directly in the field. For the assessment of change the samples on the ground should be permanent. Differences between the results of two successive inventories determine changes for each permanent plot and also changes for each remeasured tree as the lowest level of monitoring. In order to find the sampling plot, its location is noted on the map. The polar coordinates of all trees are recorded in the first inventory. In this way it is easier to find the sampling centre and to identify the individual trees in subsequent inventories. Our experience and also experience in Switzerland has shown that practically all sampling plots and trees are relocated (Schmid-Hass, 1983).

All these briefly described methods

and techniques are integrated in the monitoring programme in the Kočevje region.

## Study area in the Kočevje region

This region lies in the southeast of Slovenia, in the area between Notranjski Snežnik, the valley of the Kolpa and the mountains of Kočevski Rog. Fir and beech forests predominate in the region and there are other beech forest communities. The forests are relatively well preserved and it should be mentioned that primary forest complexes have also been retained. The characteristic historical development of the Kočevje region is reflected in the landscape. There has been sparse settlement in all periods, part of the area was colonised in the 14th century, although generally conditions for agriculture were unsuitable. Emigration after 1900 has had a considerable impact, especially during the Second World War when over 20,000 people moved out. The forest started to grow over the abandoned agricultural land so that today it covers almost 80% (500 km<sup>2</sup>) of the region. A study area near the town of Kočevje was chosen for preliminary evaluation of the comprehensive monitoring programme. It encompasses approximately 10,000 hectares and contains a diversity of vegetation and cover types ranging from grassland and deciduous forests at lower elevations (450 m) to spruce-fir forest at higher elevations (1,000 m). The selection criteria for the study area were based on existing information

available to the project.

## A comprehensive monitoring design

The purpose of the monitoring programme is to provide information to managers to assist in decision-making. It is also the objective of the project to document present land cover and land use in the region. In the first phase, an analysis of existing information on the entire area was carried out. Forests in the region are characterised by more than a hundred years of planned management and rich archive material is preserved. Thematic spatial data are available only in hardcopy format. They were converted to digital forms manually and imported into PC Arc/Info GIS (ESRI 1990). In this way vegetation maps and surveys of geology and soils were included in the GIS. Topographical data were obtained from a Digital Elevation Model (DEM). The DEM contains elevation data in a Gauss-Kruegger referenced matrix for 100x100 metre elements. These data are supplemented by management plans, other records from planning activities for environmental conservation and literature (endangered species, important and rare habitats). According to the different levels of our comprehensive monitoring programme, four sources of information are included:

- Landsat TM image, 27 August 1992,
- colour infrared photographs scale 1:35,000, taken 16 August 1992,
- existing information in the form

of thematic maps, management plans,

- continuous forest inventory.

Satellite images will be used as a first level of monitoring - for broad land classification, assessment of large scale horizontal structure or patchiness of vegetation, to identify areas where changes have occurred, and where more detailed information is needed. The Landsat TM scene was geo-registered to Gauss-Kruegger projection coordinates and will be classified using supervised classification in the next phase of the project.

The land cover and land use types will be delineated on 1:35,000 colour infrared stereo imagery. At this level we will assess spatial and structural variety as a possible measure of biodiversity. The distribution of woodlands in the landscape, horizontal structure or patchiness, shape and length of edge between different land cover or stand types will be studied. We will also assess species composition, canopy closure of forest stands, size and distribution of old growth, distribution of age classes or growth stages in the forest. A GIS will be used to assist in evaluation of proximity to natural conditions for each individual stand, based on the assumption that natural features have a higher association with the landscape attributes than do non-natural or artificial ecosystems.

A ground survey is the last level in a monitoring concept. Continuous forest inventory was adopted as an approach for ecological evaluation at the level of forest stands. The forest

land in the region will be continually assessed by remeasuring permanently established sample plots as a part of a continuous forest inventory system. In the first year 220 sample plots were systematically spaced across the study area on a 1x1 km grid. Sampling intensity is higher in strata or regions with higher probability of change. All measurements on the given sample plot were recorded in two concentric circles, for trees with a diameter at chest height above 30 cm in the whole unit of 500 m<sup>2</sup> and for trees with diameter between 10 and 30 cm in a circle of 200 m<sup>2</sup>. Through periodic measurement of diameter at the same position of sampling trees the increment will be established. Similarly social status of individual trees, needle or leaf loss, injury to crown and stem were assessed to be studied in subsequent surveys. On each permanent sample plot the stand structure was described according to vertical layering and species composition. In the same way species richness of tall shrub and ground vegetation was described.

The goal of the preliminary evaluation of the monitoring programme in the study area is to find out what data from various levels must be collected and linked. A set-up of the information system is also to be completed. We expect that guidance on the application of biodiversity standards will be established from monitoring and studying natural forests in the region.

## REFERENCES

Brooks, D.J., Grant, G.E., 1992. New Approaches to Forest Management. *Journal of Forestry*, 1, 25-28 and 2, 21-24.

ESRI, 1990. PC Arc/Info User's manual. Redlands, CA: Environmental Research Institute, Inc.

Gosz, J.R., 1991. Fundamental ecological characteristics of landscape boundaries. In *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments*, ed. M.M. Holland, P.G. Risser, R.J. Naiman. Chapman and Hall, New York, London, 8-30.

Hellawell, J.M., 1991. Development of a rationale for monitoring. In *Monitoring for conservation and ecology*, ed. F.B. Goldsmith. Chapman and Hall, London, 1-14.

Hladnik, D., 1991. Spremljanje razvoja sestojev in časovna dinamika propadanja dreves v jelovo-bukovem gozdu. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 38, str. 55-96

Hočevar, M., Hladnik, D., 1988. Integralna foto-terestrična inventura kot osnova za smotrno odločanje in gospodarjenje z gozdom. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 31, str. 93-120

IUFRO, 1992. IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring.

Johnson, L.B., 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using a geographical information system. A Review of Ecological Applications.



Kovač, M., 1992. Poizkus kritične razčlembe gozdarskega informacijskega sistema. Zbornik Gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 40, str. 123-160.

Nellis, M.D., Lulla, K., Jensen, J., 1990. Interfacing Geographic Information Systems and Remote Sensing for Rural Land-Use Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56, 3: 329-331.

Price, K.P., Pyke, D.A., Mendes, L., 1992. Shrub Dieback in a Semiarid Ecosystem: The Integration of Remote Sensing and Geographic Information systems for Detecting Vegetation Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58, 4: 455-463.

Schmid-Haas, P., 1983. Swiss continuous forest inventory, twenty

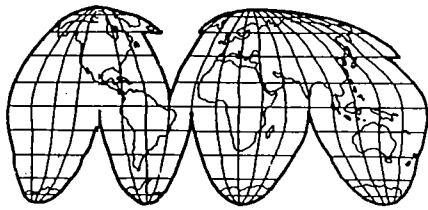
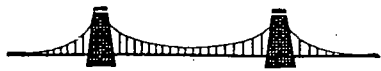
years' experience. Offprint from: *Renewable Resource Inventories for Monitoring Changes and Trends*, ed. J.F. Bell, T. Atterbury. Corvallis, OSU, College of Forestry, 1983, 133-140.

Steiner, D.R., 1992. The integration of digital orthophotographs with GIS in a microcomputer environment. *ITC Journal*, 1992, 1: 65-72.

Welch, R., 1989. Desktop Mapping with Personal Computers. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 11: 1651-1662.

Welch, R., 1992. Photogrammetry in Transition - Analytical to Digital. *Geodetical Info Magazine*, 1992, 7: 39-41.

Zonneveld, I.S., 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology and its applications. *Landscape Ecology* 3, 2: 67-86



# GIS/LIS '94 ● Central Europe

The second international conference and exhibition on  
geographic information systems/land information systems  
for Central Europe

## *Final Program*

Budapest, Hungary  
13-17 June 1994

Technical University of Budapest

The 2nd in a series of  
annual conferences  
&  
exhibitions  
beginning with  
GIS/LIS '93 ● Hungary



**2060 Forest Management - VI**  
**Thursday 16 June, 13:30-15:00**  
**Chair: Wolfram Kneib**  
**Co-Chair: Előd Ősz**

E. Pietrzak, Institute of Geodesy and Cartography,  
 POLAND  
 Co-Authors: T. Zawila-Niedźwiecki, POLAND, B. de  
 Roover and S. de Mulder, University of Gent, BELGIUM  
 ■ *Management of Deteriorated Forests with the Use of  
 Geographic Information Systems*

David Hladnik, University of Ljubljana, SLOVENIA  
 Co-Author: Prof. Milan Hočevar  
 ■ *Monitoring of a Forested Landscape: From Tree to  
 Region*

W. Dewispelaere, Eurosense, BELGIUM  
 ■ *Thematic Mapping of the Flemish Forest Cover*

Péter Csóka, Forest Service, HUNGARY  
 ■ *GIS Applications in Forest Management in Hungary*

**2070 Environmental Projects -VII**  
**Thursday 16 June, 15:30-17:00**  
**Chair: Robert Mahoney**  
**Co-Chair: Pál Bozó**

James E. Barnes, Stanley Consultants Inc., USA  
 ■ *GIS Development in New Europe: Environmental Case  
 Study from Republic of SLOVENIA*

Matthew E. MacIver, MacIver & Co, USA  
 ■ *The Fresh Kills GIS: Using Enterprise GIS to Manage  
 the World's Largest Landfill*

Michael Heiss, Ökologis, GERMANY  
 ■ *Landscape Ecology and GIS Consulting*

Rainer Duttmann, GERMANY  
 Co-Author: Prof. Thomas Mosimann  
 ■ *Landscape Analyses with a Geological Information  
 System - A GIS Based Approach to an Integrative View  
 of Ecosystemic Functions*

**3010 Local Government Applications - I**  
**Tuesday 14 June, 15:30-17:00**  
**Chair: Barry Wellar**  
**Co-Chair: Lucien Wald**

Christophe Hutin, SPOT Image, FRANCE  
 ■ *New Tools for Local Government GIS Management*

Roman Pryjomko, PADCO, USA  
 Co-Authors: Robert Lach and Jan Szczygielski, City of  
 Gdansk LIS Program, POLAND  
 ■ *The Development of a Municipal GIS/LIS in the City of  
 Gdansk, Poland*

Robert P. Mahoney, Business Information Management,  
 UNITED KINGDOM  
 Co-Author: Robin A. McLaren Know Edge Ltd.  
 ■ *The Introduction of GIS for Local Authorities*

Szabolcs Mihály, Institute of Geodesy, Cartography and  
 Remote Sensing, HUNGARY  
 ■ *Governmental Development Project on GIS-oriented,  
 Digital Mapping, Surveying and Cadastre in Hungary*

**3020 Remote Sensing Applications - II**  
**Wednesday 15 June, 8:30-10:00**  
**Chair: Karl Kraus**  
**Co-Chair: Pierre Maurel**

Lucien Wald, Ecole des Mines de Paris, FRANCE  
 ■ *Some Aspects of the Use of Remote Sensing Data for  
 the Simulation of Urban Growth*

John Antenucci, Plangraphics, USA  
 ■ *The New Space Race*

Miklós Gross, Eurosense Kft, HUNGARY  
 ■ *Possibilities of Application of Digital Orthophotos in  
 the Cadastral Mapping*

E. Csaplovics, Technische Universität Dresden, GERMANY  
 Co-Author: Johannes Kanonier, Technical University,  
 Vienna, AUSTRIA  
 ■ *High Resolution space Photography (KFA,KWR) for  
 Optimizing Regional Geo-Information Systems - IGIS  
 for the Lake Fertő National Park (Austria, Hungary)*

**3030 Policies - III**  
**Wednesday 15 June, 10:30-12:00**  
**Chair:**  
**Co-Chair: Pál Divényi**

David Danko, U.S. Defense Mapping Agency, USA  
 ■ *DMA Data Standards and Interoperability*

Karen A. Mulcahy, City University of New York, USA  
 Co-Author: K. C. Clarke  
 ■ *Government Digital Cartographic Data Policy and  
 Environmental Research Needs*  
 Ádám Podolcsák, PHARE, HUNGARY  
 Co-Author: Richard Baldwin, PHARE  
 ■ *Cadastral Mapping and Text Data Entry for the  
 Computerization of the Land Offices in Hungary*

# THE INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR FOREST MONITORING IN SLOVENIA

Milan Hočevar, David Hladnik  
Biotechnical Faculty, Department of Forestry  
University of Ljubljana, Slovenia

## ABSTRACT

Managing forests and other natural resources requires merging of data and knowledge from many fields. This paper presents a discussion on some possibilities for integrating multi-source data in an environmental monitoring programme which must provide both quantitative and qualitative descriptions at all relevant spatial scales. Current trends in ecological studies and forest inventories have dictated the integration of remotely sensed data into geographic information systems (GIS). The developed methods should also give a methodological foundation of environmental monitoring.

## MONITORING IN FORESTRY

In order to understand what is truly happening to our forest land, we need to monitor the resources to measure change and to predict change. Monitoring is the periodic observation of selected parameters for quantifying changes over time (IUFRO, 1992). It is a process of detecting whether change has occurred, establishing its direction and measuring its extent. This should be accompanied by an assessment of the significance of the changes detected (Hellowell, 1991). Although monitoring is intrinsically purposeful, its activities often combine data for different types of monitoring projects:

1. land cover or land use - for land management
2. forest resources - for timber production
3. biomass - for energy use of carbon balance
4. environmental quality - for ecosystem management.

Nowadays the focus of attention is on monitoring ecosystem health and the preservation of biological diversity. Monitoring should be an integral part of forest and land management. It should provide managers with information on the status and trend of species, ecosystems or landscape as a whole. Forests cannot be seen merely as assemblages of trees or their stands. They are ecological systems with a rather complex structure and interrelations between constituent components. Human action oriented towards one component has consequences for other components and the whole system, changing energy flows, processes and interrelations (Fanta, 1993). We need to know the consequences of management activities at local, regional, national and global level.

In Slovenian forestry an information system has been developed to support multi-level forest management. The contents of the forestry information system database

is basically designed for monitoring the production and economic function of the forest. Although some data with regard to other functions of the forest have been introduced, information is lacking for environmental conservation and landscape management (Kovač, 1992).

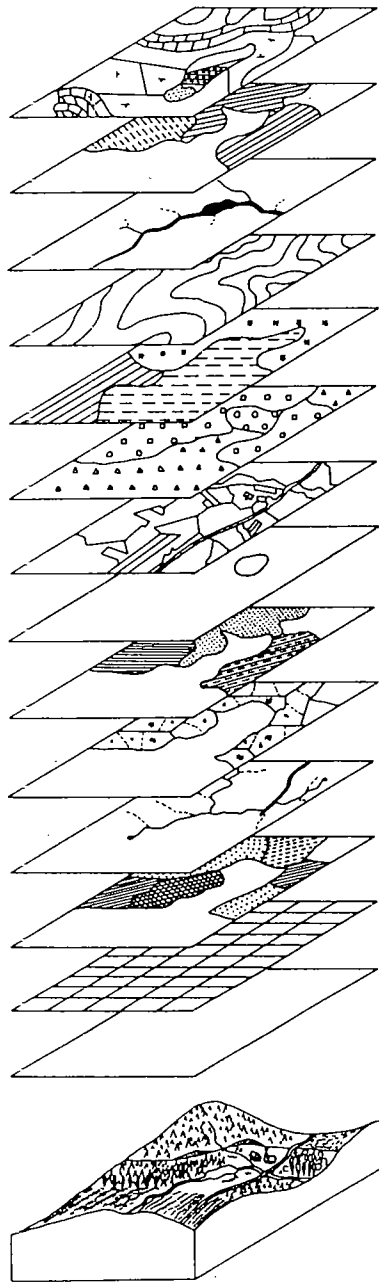
In addition to traditional forest-based commodities (timber, water, wildlife), society increasingly values forests for such things as age, absence of human disturbance, biological diversity and their role in regulating climate change. Many of these values depend on intact forest rather than on products, such as timber, that can be removed. The difference from previous forest management science and previous forestry information system is the attention to issues at larger spatial scales and explicit recognition of the need for interdisciplinary approaches (Brooks and Grant, 1992). Scale leads also to an important concept - holism. A large scale body cannot be understood by directly studying only the smallest elements, but should be examined at the various hierarchical levels as an entity (Zonneveld, 1989). Research on monitoring must provide both quantitative and qualitative descriptions at all relevant spatial scales. This is the reason why we need to work on elaboration of a new monitoring programme which will cover all the levels involved. This paper presents a discussion of some possibilities for integrating multi-source data in an environmental monitoring programme. The emphasis will be on methods and techniques suitable for monitoring at the regional level.

## METHODS AND TECHNOLOGIES

One of the inducements to develop new approaches to forest management has been the advent of computer-based technologies suitable for handling multiple resource problems over large spatial and time scales. It is important to recognise that almost all environmental data have a spatial element and it is the spatial relationships between data that are important. Many ecologists in the past have simplified spatial interactions by assuming that the environment is homogeneous, or by assuming that what occurs at one point is independent of what occurs at others. Recent advances in computer software and hardware have led to the development of geographical information systems, which now permit the quantitative assessment of the consequences of heterogeneity in ecological systems over a broad range of spatial and temporal scales (Johnson, 1990). A geographical information system is the ideal solution because its technology provides the medium for integration of spatial data, and at the same time provides a powerful tool for the quantitative analysis of land use change and map revision. Due to expedient and more efficient spatial management in Slovenia, there has been launched a state-wide development of the computer-supported geocoded geographic information system (GIS). Forestry is responsible for the development of an informational database about forest land, therefore a sound and comprehensive design of the forestry information system (FIS) is of particular importance to this project. The FIS will provide a link between already existing forestry databases and the GIS, it will also be compatible with the other systems being established in Slovenia, and will support the multipurpose forest and forest-land management.



Figure 1: The structure of the forestry information system



GEOLOGY

SOILS

WATER RESOURCES

GEOMORPHOLOGY

*DHR*

CLIMATE

LAND COVER, LAND USE

OWNERSHIP

POPULATION

VEGETATION TYPES, PLANT COMMUNITIES

MANAGEMENT UNITS, FOREST COMPARTMENTS

FOREST ROADS

FOREST STANDS

DENDROMETRICAL DATA, FOREST INVENTORY

CONSERVATION MANAGEMENT

*forestry*

*various disciplines*

It is expected that the integrating of GIS technology with remote sensing will provide the maximum information content and analysis capabilities and thus be of benefit to land use planners. Depending on the level of observation a variety of methodologies are employed.

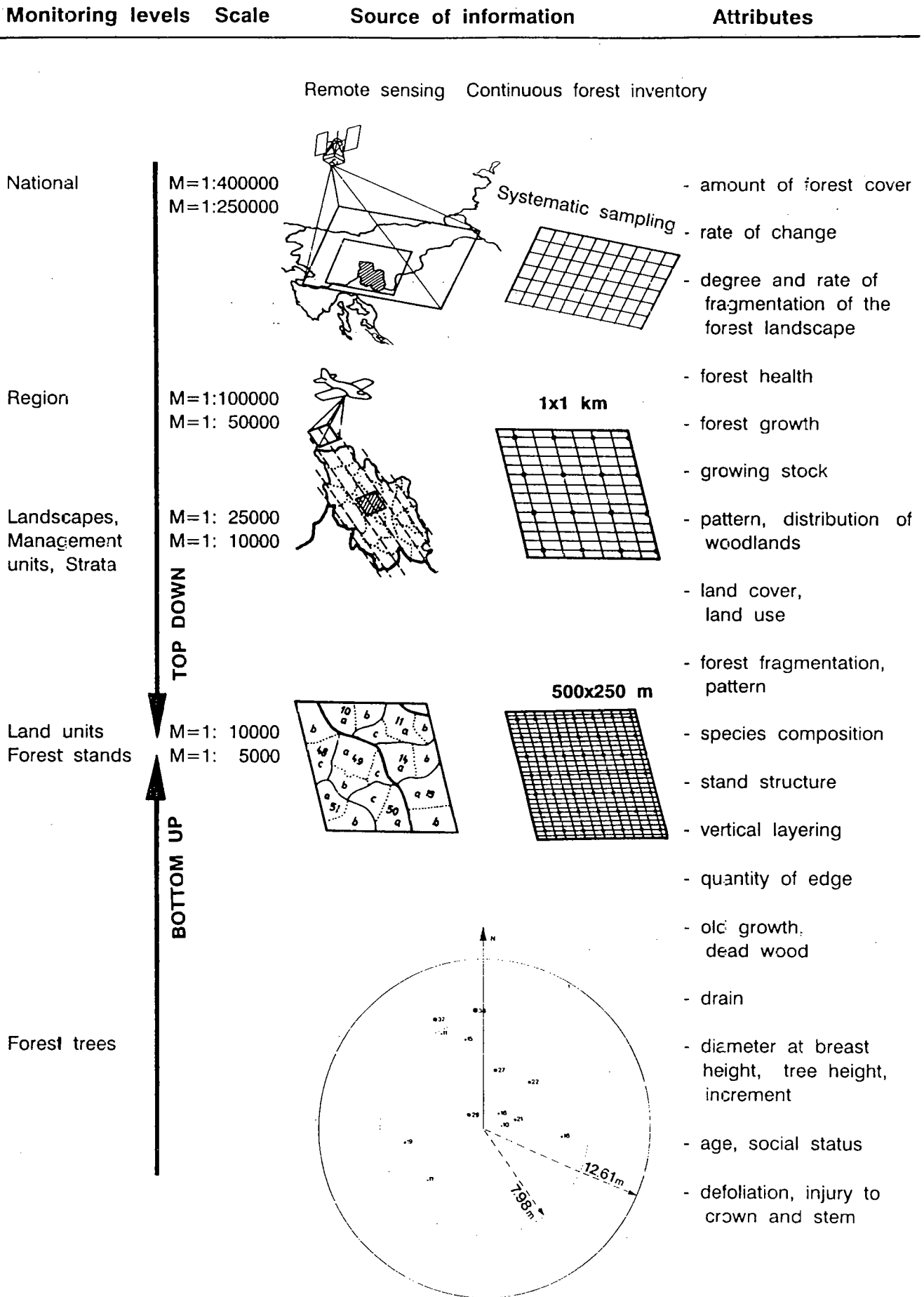
Remote sensing platforms and sensors vary from resampled Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) satellite imagery with 4 km resolution to aerial photographs which permit very detailed monitoring and mapping. According to the level of monitoring, the most suitable scale must be selected to detect the characteristics and quantify changes over time. It is important to keep in mind that boundaries are meaningful only relative to some questions and points of reference. What appears as an ecotone at one spatial scale may be seen as a collection of patches at a finer scale (Gosz, 1991).

For forest monitoring the Landsat Thematic Mapper (TM) with 30 m resolution and the French Systeme Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT) with 10-20 m resolution are recommended. The basis for accuracy interpretation of forest vegetation types can be formed by combining the 10-m single band SPOT panchromatic image with high geometric resolution with colour information from sensors with high radiometric resolution - the 30-m image data from the six reflective bands of the Landsat TM.

For Slovenian forestry the resolution of satellite images is not sufficient to supply the required detail at stand level. The individual forest stands are generally much too small and much too varied in their structure and composition for reliable mapping using satellite imagery. A constraint in using satellite digital imagery for environmental monitoring is that changes must dominate a large enough area to influence the reflectivity of multiple pixels (Price et al., 1992). One primary reason for using aerial photography instead of or in addition to satellite imagery is the ability to work at a larger scale. Aerial photography with photogrammetric cameras can provide imagery with a resolution better than 1 m. This is an important source of information in Slovenia, comprehensive data having existed for most of the country since 1950s. Photogrammetry is becoming an important component of image processing and GIS operations. A few years ago it was anticipated that the continued evolution of PC and mapping software technology would result in the transfer of many tasks from a specialised service industry to a broader community (Welch, 1989). Nowadays in the Department of Forestry we have PC based technology for image processing, mapping and GIS. We have possibilities for handling image and map data in digital formats. A scanner must be used to convert analogue data on the film into a digital image. All digital images are subject to geometric distortions caused by sensor geometry, variations in platform attitude and by variations in the elevation of the terrain. For digital aerial photos, simple geo-referencing techniques used for satellite images are inadequate. Displacement caused by the terrain relief in the image must be removed to allow its registration to the map base in the GIS (Steiner, 1992). The resulting undistorted image is known as an orthophoto - suitable basis for forest monitoring and construction of detailed maps of forest stands.

Forest inventory is the source of information in forestry. The information core of the inventory is continuous forest inventory as the source of reliable and objective data on the condition and development at the level of strata, forest management units and districts as well as at the national level. The continuous forest inventory provides important information on the actual condition, on changes of forest condition and on growth. Combined inventories utilise both remote sensing and sampling on the ground.

Figure 2: The hierarchical structure of forest monitoring



In successive forest inventories, previously constructed stand maps are checked against the most recent aerial imagery and updated with detailed data obtained from field surveys. The field description sheets embrace those aspects of land use and vegetation cover that can be observed directly in the field. For the assessment of change the samples on the ground should be permanent. Differences between the results of two successive inventories determine changes for each permanent plot and also changes for each remeasured tree as the lowest level of monitoring. We may state that problems of a combined inventory with permanent sample units on aerial photographs and on the ground are solved (Hladnik, 1991; Hočevcar and Hladnik, 1988). Permanent field plots are critical for forest monitoring. They serve as ground truth for calibrating remote sensing, provide a local source of information that we cannot get through other sources and provide basis for research and model building.

## A COMPREHENSIVE MONITORING DESIGN IN THE KOČEVSKA REGION

The purpose of the monitoring programme is to provide information to managers to assist in decision making. It is also the objective of the project to document present land cover and land use in the Kočevska region. The region lies in the south-east of Slovenia, in the area between Notranjski Snežnik, the valley of the Kolpa and the mountains of Kočevski Rog. Fir and beech forests predominate in the region and there are other beech forest communities. The forests are relatively well preserved and it should be mentioned that primary forest complexes have also been retained. The characteristic historical development of the Kočevje region is reflected in the landscape. There has been sparse settlement in all periods, part of the area was colonised in the 14<sup>th</sup> century, although generally conditions for agriculture were unsuitable. Emigration after 1900 has had a considerable impact, especially during the Second World War when over 20,000 people moved out. The forest started to grow over the abandoned agricultural land so that today it covers almost 80% (500 km<sup>2</sup>) of the region. A study area near the town of Kočevje was chosen for preliminary evaluation of the comprehensive monitoring programme. It encompasses approximately 10,000 hectares and contains a diversity of vegetation and cover types ranging from grassland and deciduous forests at lower elevations (450 m) to spruce-fir forest at higher elevations (1,000 m). The selection criteria for the study area were based on existing information available to the project.

In the first phase, analysis of existing information on the entire area was done. Forests in the region are characterised by more than a hundred years of planned management and rich archive material is preserved. Thematic spatial data are available only in hardcopy format. They were converted to digital forms manually and imported into PC Arc/info GIS (ESRI, 1990). In this way vegetation maps, surveys of geology and soils were included in GIS. Topographic data were obtained from Digital Elevation Model (DEM). The DEM contains elevation data in a Gauss-Kruger referenced matrix for 100x100 meter elements. These data are supplemented by management plans, other records from planning activities for environmental conservation and literature (endangered species, important and rare habitats). According to different levels of our comprehensive monitoring programme four sources of information are included:

- Landsat TM image, 27 August 1992,
- colour infrared photographs scale 1:35000, taken August 16, 1992,
- existing information in the form of thematic maps, management plans,
- continuous forest inventory.

Satellite image is used as a first level of monitoring - for broad land classification, assessment of large scale horizontal structure or patchiness of vegetation, to identify areas where changes have occurred, and where more detailed information is needed. The Landsat TM scene was geo-registered to Gauss-Kruger projection coordinates and it will be classified using supervised classification in the next phase of the project.

The land cover and land use types were delineated on 1:35000 colour infrared stereo imagery. Colour infrared photographs are more suitable for monitoring more subtle changes in land cover and changes in visible characteristics of individual trees. At this level we will assess spatial and structural variety as a possible measure of biodiversity. The distribution of woodlands in the landscape, horizontal structure or patchiness, shape and length of edge between different land cover or stand types will be studied. We will also assess species composition, canopy closure of forest stands, size and distribution of old growth, distribution of age classes or growth stages in forest. A GIS will be used to assist in evaluation of proximity to natural conditions for each individual stand, based on assumption that natural features have higher association with the landscape attributes than do non-natural or artificial ecosystems.

A ground survey is the last level in a monitoring concept. Continuous forest inventory was adopted as an approach for ecological evaluation at the level of forest stands. The forest land in the region will be continually assessed by remeasuring permanently established sample plots as a part of a continuous forest inventory system. In the first year 220 sample plots were systematically spaced across the study area on a 1x1 km grid. Sampling intensity is higher in strata or regions with higher probability of change. Field information is an essential part in forest monitoring project. For linking the field plots to remote sensing imagery and GIS the sample locations were geo-referenced. All measurements on the given sample plot were recorded in two concentric circles, for trees with diameter at breast height above 30 cm in the whole unit of 500 m<sup>2</sup> and for trees with diameter between 10 and 30 cm in a circle of 200 m<sup>2</sup>. Through periodic measurement of diameter at the same position of sampling trees the increment will be established. Similarly social status of individual trees, needle or leaf loss, injury to crown and stem were assessed to be studied in subsequent surveys. On each permanent sample plot the stand structure was described according to vertical layering and species composition. In the same way species richness of tall shrub and ground vegetation was described.

The goal of preliminary evaluation of monitoring programme in the study area is to find out which data from various levels must be collected and linked. A set-up of the information system is also to be completed. We expect that guidance on the application of biodiversity standards will be established from monitoring and studying natural forests in the region.



## REFERENCES

Brooks, D.J., Grant, G.E., 1992. New Approaches to Forest Management. *Journal of Forestry*, 1, 25-28 and 2, 21-24.

ESRI, 1990. PC Arc/Info User's Manual. Redlands, CA: Environmental Research Institute, Inc.

Fanta, J., 1993. The role of landscape ecology in forestry research. In *The role of landscape ecology in forestry. Proceedings of the IUFRO Working Party LANDSCAPE ECOLOGY (S1.01-05) Conference*, ed. B. Anko. Ljubljana, 1-13.

Gosz, J.R., 1991. Fundamental ecological characteristics of landscape boundaries. In *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments*, ed. M.M. Holland, P.G. Risser, R.J.Naiman. Chapman and Hall, New York, London, 8-30.

Hellawell, J.M., 1991. Development of a rationale for monitoring. In *Monitoring for conservation and ecology*, ed. F.B. Goldsmith. Chapman and Hall, London, 1-14.

Hladnik, D., 1991. Spremljanje razvoja sestojev in časovna dinamika propadanja dreves v jelovo-bukovem gozdu. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 38, str. 55-96.

Hočevar, M., Hladnik, D., 1988. Integralna foro-terestrična inventura kot osnova za smotrno odločanje in gospodarjenje z gozdom. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 31, str. 93-120.

IUFRO, 1992. IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring.

Johnson, L.B., 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographical information system. *A Review of Ecological Applications. Landscape Ecology* 4, 1: 31-432.

Kovač, M., 1992. Poizkus kritične razčlenbe gozdarskega informacijskega sistema. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 40, str. 123-160.

Price, K.P., Pyke, D.A., Mendes, L., 1992. Shrub Dieback in a Semiarid Ecosystem: The Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Detecting Vegetation Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58, 4: 455-465.

Steiner, D.R., 1992. The integration of digital orthophotographs with GIS in a microcomputer environment. *ITC Journal*, 1992, 1: 67-72.

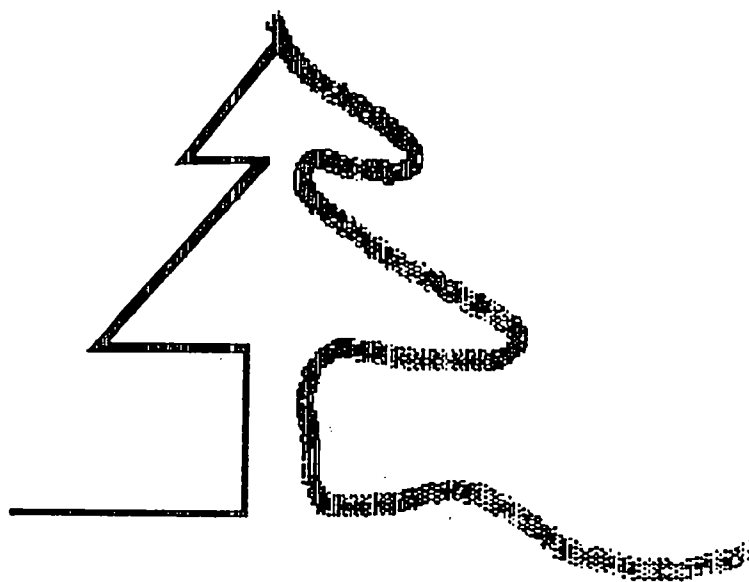
Welch, R., 1989. Desktop Mapping with Personal Computers. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 11: 1651-1662.

Zonneveld, I.S., 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology and its applications. *Landscape Ecology* 3, 2: 67-86.

# Photogrammetrie & Forst

- Stand der Forschung und Anwendungen in der Praxis -

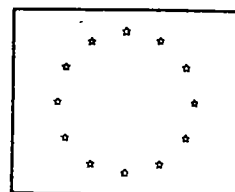
Freiburg im Breisgau, September 1994



## Tagungsband



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Forstwissenschaftliche Fakultät  
Abt. Luftbildmessung und Fernerkundung



Kommission der Europäischen Union  
Generaldirektorat für Landwirtschaft  
und Forsten

## Verwendung digitaler Orthophotokarten für die forstliche Bestandeskartierung

M. Hočevár<sup>1)</sup>, D. Hladnik<sup>1)</sup> und M. Kovač<sup>2)</sup>

### Abstract

The use of digital orthophotos for forest stand mapping

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 photo interpretation and photogrammetry in Slovenian forestry, it also shows possibilities of use of 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 landscape management process.

### Zusammenfassung

Die Fortschritte bei der Entwicklung der digitalen Photogrammetrie bringen neue Möglichkeiten auch bei der Herstellung von Forstkarten. Im Beitrag wird zunächst die Entwicklung der Photointerpretation und der Luftbildauswertung in Slowenien behandelt und dann die Möglichkeiten und die Technologie der Orthophotoherstellung auf der PC-Basis vorgestellt. Die Qualität und die Lagegenauigkeit der hergestellten Orthokarten, die zwischen 5 und 6 Meter lag, erlaubte es die digitale Orthophotobestandeskarte in das geographische Forstinformationssystem (FIS) einzufügen, womit dem Forstfachmann ein ausgezeichnetes Mittel für die Entscheidungsfindung in verschiedenen Fachbereichen zur Verfügung steht.

<sup>1)</sup> Biotechnische Fakultät, Forst Abteilung, SLO-61111 Ljubljana, Večna pot 83  
<sup>2)</sup> Slowenisches Forstinstitut, SLO-61101 Ljubljana, Večna pot 2

## 1. Einleitung

Die Anforderungen die an eine in der letzten Zeit betont multifunktional und naturnah ausgerichtete Bewirtschaftung von Waldbeständen und Waldraum sind heute komplexer denn je und sie können nur erfüllt werden, wenn sie sich auf eine zielorientierte und zuverlässige Planung stützen können. Durch komplexere Waldplanung werden aber auch an die forstliche Datenbeschaffung höhere Ansprüche gestellt. Anstelle der klassischen produktionsorientierten Forstinventur geht die Entwicklung zur permanenten Überwachung, zum ganzheitlichen Waldmonitoring im Raum und Zeit, eingefügt in das raumorientierte computerunterstützte Informationssystem über.

In diesem Sinne wird in Slowenien seit einigen Jahren ein integriertes Waldzustandserfassungskonzept vorbereitet, der als wesentlichen Bestandteil die terrestrische Kontrollstichprobenmethode für die Erfassung von punktuellen, quantitativen und die Bestandeskarte für die Erfassung von flächenbezogenen qualitativen Daten beinhaltet. Die eigenen forstlichen und die dazugezogenen fremden Daten sind in das forstliche Informationssystem (FIS) eingefügt (Hoèevar 1992).

In neuem System wird den Flugaufnahmen und der Bestandeskarte ein hoher Stellenwert beigemessen. Dies war möglich da im vergangenen Jahrzehnt systematisch an der Einführung der neuen Techniken in die forstliche Praxis gearbeitet wurde. In dieser Zeit wurde es versucht die Ausarbeitung der Bestandeskarten aufgrund der photogrammetrischen Auswertung von Luftaufnahmen in die forstliche Praxis einzuführen. Dies gelang nur zum Teil, da sich vor allem die klassische Kartierung mit dem Luftbildumzeichner für die Praxis zu anspruchsvoll und zu wenig genau erwies. Um dieses Problem zu lösen wurden seit 1986 verschiedene Einbildsysteme getestet und auch fallengelassen (Monoplot, Molenaar et Stuijver, 1987), bis im Jahr 1992 die ersten kostengünstigen und verbraucherfreundlichen digitalen Orthophotosysteme zugänglich wurden (Welch, 1992a). Ein solches am PC laufendes Orthophotosystem (DMS/SPM, Welch 1992b) wurde dann in 1992 angeschafft und getestet.

Von neuem Verfahren versprochen wir uns nicht nur Lösung unserer Kartierungsprobleme, sondern verfolgten wir gleichzeitig die Idee die digitale Orthophotokarte als Referenz-Informationsschicht in unser im Entstehen begriffenes, geokodiertes Forstinformationssystem (FIS) zu integrieren. Im Einzelnen wurden folgende Untersuchungsziele gesetzt:

- Überprüfung der Genauigkeit und Kosten der aufgrund von digitalen Orthophotos erstellten Orthophotobestandeskarte.
- Überprüfung der Möglichkeit und Genauigkeit der Interpretation, Messung und Kartierung am digitalen Bildschirm-Stereomodell.

- Überprüfung der Möglichkeiten und die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Integration von digitalen Orthokarten in FIS.
- Überprüfung und Beurteilung der Qualität von geeigneter Hardware und Software für das Scannen von Flugaufnahmen und die Erstellung von qualitativ-hochwertigen Karten in Farbe oder Schwarz-Weiss.

In der Folge werden die ersten Resultate vor allem unter Punkt 1 aufgeführten Untersuchungen näher vorgestellt, während die übrigen nur so weit wie nötig behandelt werden.

## 2.0 Entwicklung der digitalen Photogrammetrie und des Orthophotos

Durch die Entwicklung von digitalen Photogrammetrietechniken hat sich in jüngster Zeit auch die Produktion von Orthophotos verstärkt, die sich bislang wegen hohen Kosten analoger Verfahren nicht durchzusetzen vermochten. Digitale Orthophotos bieten bei niedrigen Kosten ausgezeichnete Qualität und enorme Vielfältigkeit. Heute besteht bereits eine Vielfalt von Systemen zur digitalen Orthophotoherstellung. Viele brauchen spezielle Hardware oder sind nur im Paket Hardware und Software erhältlich. Solche Systeme basieren auf Workstations, sind schnell und leistungsfähig, kosten aber mehrere Hunderttausend DM. Sie sind in erster Linie für den anspruchsvollen professionellen Landvermessungsbereich bestimmt. Sie zeichnen sich durch hohe geometrische Genauigkeit, Schnelligkeit und ausgezeichnete Stereobildqualität (in der Regel auch in Farbe) aus.

Einen anderen Trend stellen Systeme, basierend auf kostengünstigen Standard-Workstations und PC dar bei welchen Software systemunabhängig eingesetzt werden kann. Wenn diese Systeme, die meistens nur aus Software bestehen, im Vergleich zu professionellen Ausstattungen auch einige Nachteile aufweisen (z.B.: einfache anaglyphe Stereobilddarstellung, geringere Genauigkeit, usw.) ist ihr Beitrag zur Verbreitung der Verfahren der digitalen Photogrammetrie besonders im nicht professionellen, Nicht-Geodetenbereich, von hoher Bedeutung. Insbesondere sind folgende Vorzüge zu erwähnen:

- günstigere Anschaffungsmöglichkeiten, da meistens nur Software neu gekauft werden muss,
- kostengünstige Systeme vorhanden (DMS ab 5000\$),
- anwenderfreundliche, schnell erlernbare Software, die kein besonderes photogrammetrisches Spezialwissen verlangt,
- relativ gute geometrische Genauigkeit von Messungen und Karten,
- bei günstigem Preis-Leistungsverhältnis sehr gut ausgestattete Software (oft GIS- oder Remote Sensing Zusatzmodule inbegriffen).



### 3. Herstellung der Orthophotobestandekarte aus Flugaufnahmen

#### 3.0 Konzept der digitalen Orthophotoherstellung

Ein digitales photogrammetrisches System besteht im wesentlichen aus Hardware (PC oder Workstation, Input- und Output-Geräten) und geeignetem Softwarepaket.

Bei digitalen Photogrammetriesystemen werden anstelle von Originalflugaufnahmen die digitalisierten Bilder benutzt. Mit Scannern, wie sie im Desk Top Publishing verwendet werden, werden die Originalflugbilder gescannt. Damit liegen für die weitere Computerverarbeitung die digitalisierten Bilder vor.

**Tabelle 1:** Räumliche Auflösung bei verschiedenen Luftbildmassstäben und Scannerauflösung

Table 1: Spatial resolution at various photo scales and scanner resolutions

Bildmaßstab Photo Scale	Flugaufnahme - -bodenauflösung 1.) Aerial photo ground resolution in m		Scanner- -auflösung Scanner resolution dpi	Bildaauflösung Image Resolution		Boden- -auflösung Ground resolution m/Pixel	Datenmenge/Data volume	
	ohne without FMC 2.)	mit with FMC		Pixel/mm	µm/Pixel		schw/w B/W Mb	RGB RGB Mb
10000	0,25	0,07	300	11,81	84,67	0,85	7,29	21,87
	0,25	0,07	600	23,62	42,33	0,42	29,16	87,48
	0,25	0,07	1200	47,24	21,17	0,21	116,64	349,92
	0,25	0,07	2400	94,49	10,58	0,11	466,56	1399,68
20000	0,5	0,14	300	11,81	84,67	1,69	7,29	21,87
	0,5	0,14	600	23,62	42,33	0,85	29,16	87,48
	0,5	0,14	1200	47,24	21,17	0,42	116,64	349,92
	0,5	0,14	2400	94,49	10,58	0,21	466,56	1399,68
30000	0,75	0,21	300	11,81	84,67	2,54	7,29	21,87
	0,75	0,21	600	23,62	42,33	1,27	29,16	87,48
	0,75	0,21	1200	47,24	21,17	0,64	116,64	349,92
	0,75	0,21	2400	94,49	10,58	0,32	466,56	1399,68

1.) Flugaufnahme-Bodenauflösung/Aerial photo ground resolution:

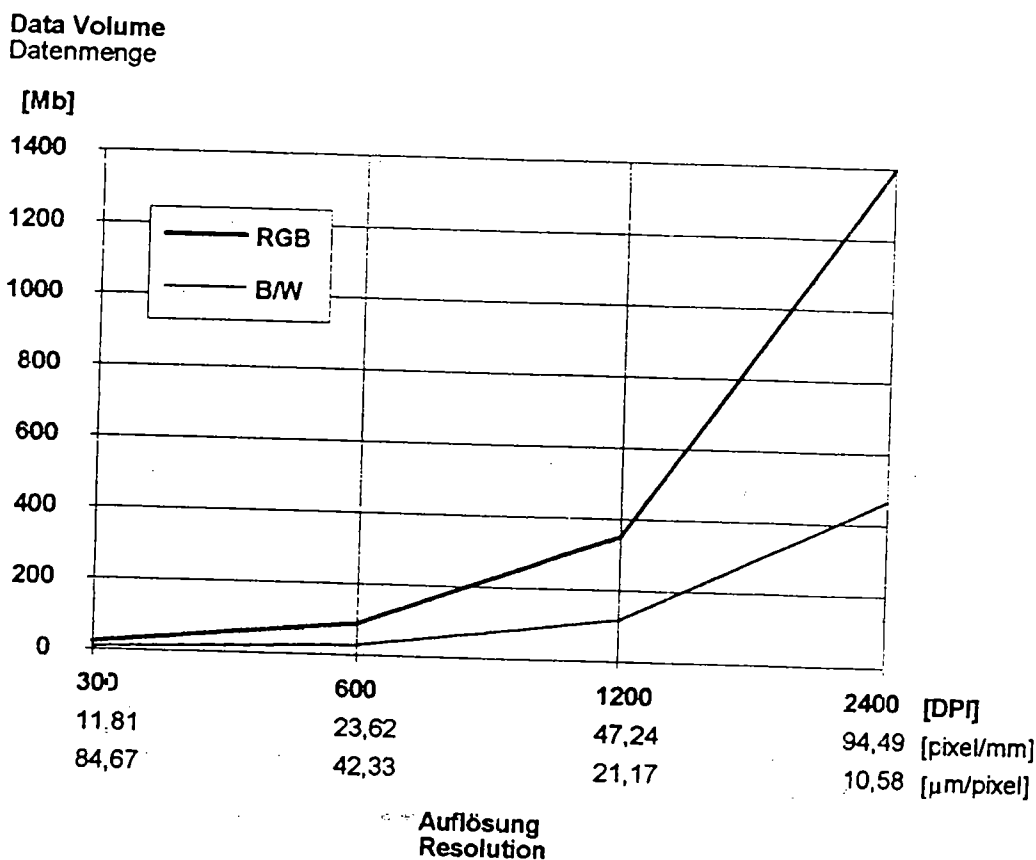
ohne/without FMC: 40 lp/mm

mit/with FMC: 140 lp/mm

2.) FMC: Forward Motion Compensation Camera

Die Qualität der gescannten Bilder hängt in erster Linie von der Scannaufösung ab. Theoretisch benötigt man für eine volle Informationsauschöpfung eines analogen Flugbildes (z.B. optische Auflösung: 40 Linienpaare pro mm) eine Scannerauflösung von ca 2400 dpi (Dots per Inch), welche einer Detaillauflösung von ca. 10  $\mu\text{m}$  entspricht (Naithani, 1990). Bei einer Flugbildgrösse von 23 x 23 cm ergibt dies im schwarz-weiss ( B/W) Modus 466 Mb und in Farbe (RGB) sogar enorme 1400 Mb (Tabellen 1 und Bild 1). Solche Datenmengen stellen sowohl bei der Bearbeitung, wie beim Transport noch immer erhebliche Probleme dar. Allerdings werden diese mit immer leistungsfähigen Computern immer geringer.

**Bild 1:** Datenmenge bei verschiedenen Scannerauflösungen  
Figure 1: Data volumes at various scanner resolutions



Wenn man annimmt daß für thematische Kartierungen eine Bodenaufösung von 0.5 bis 1.0 Meter genügt (geometrische XY Genauigkeit von Rasterkarten liegt im Bereich vom 0.5 bis 1.0 Pixel), wären für forstliche Anwendungen bei Flugbildmassstäben von 1:10 000 bis 1:20 000 die Scannerauflösungen von 600 bis 1000 dpi ausreichend.

Die eingelesenen, digitalen Stereobilder werden vor der weiteren Verarbeitung radiometrisch korrigiert (Kontrastverstärkung, Filterung) und anschliessend relativ und absolut orientiert.

Dafür wird eine Anzahl (6 bis 30) Fixpunkte mit bekannten Bild- und Geländekoordinaten benötigt, die möglichst genau ausgemessen werden sollten. Hier bieten sich in letzter Zeit GPS - Techniken an, die besonders bei Kartierungen im Wald von großem Nutzen sein werden. Am orientierten und registriertem Stereomodell können Messungen und Kartierungen durchgeführt werden. Durch die Stereokorrelation kann ebenso automatisch ein DTM generiert werden. Viele Systeme bieten die Möglichkeit einer DTM- Kontrolle und -Korrektur durch die Überlappung am Stereomodell.

Für die Arbeit am digitalen Stereobild mit der Raummarke sind die Art der Stereodarstellung und Qualität des Monitors von entscheidender Bedeutung. Die Stereodarstellung der digitalen Bilder erfolgt am Bildschirm auf grundsätzlich 3 verschiedene Arten:

- Beide Bilder werden nebeneinander auf vertikal zweigeteiltem Bildschirm dargestellt. Beobachtung erfolgt mit einer Spiegelstereoskop ähnlicher Betrachtungsoptik.
- Beide Bilder des Stereopaars werden aufeinander als Anaglyphen-Bild projiziert. Die Betrachtung erfolgt mit speziellen Brillen.
- Beide Bilder werden nacheinander intermittierend mit hoher Frequenz auf Bildschirm projiziert und mit speziellen, vom Computer gesteuerten Polarisationsbrille beobachtet.

Den qualitativ höchsten Ansprüchen entspricht das zuletzt aufgeführte Verfahren, das eine Vollbilddarstellung jedes einzelnen Bildes in Farbe ermöglicht. Leider ist dieses Verfahren auch weit das teuerste. Ebenso volle Bildschirmbreite nutzt das Anaglyphenverfahren aus, ermöglicht aber nicht die Anzeige von Farbbildern. Es ist kostengünstig und wird gerne bei PC Systemen eingesetzt. Der wesentliche Nachteil des Verfahrens mit geteiltem Bildschirm ist die halbierte Bildgröße der einzelnen Bilder.

Für die Herstellung der Orthophotos werden ein digitales Flugbild mit Orientierungsdaten und DTM für die Eliminierung von Radialdeformationen benötigt. Es kann sowohl eigenes wie nationales DTM benutzt werden. Das erstellte Orthophoto ist voll geometrisch korrigiert und kann anschließend mit Koordinatengitter und Beschriftungen ergänzt werden. Mehrere Orthophotos können zu einem Mosaik zusammengefügt werden. Da das Orthophoto nun digital und im nationalen Koordinatensystem geokodiert vorliegt, sind nun die Integration in GIS und die Überlagerungen mit verschiedenen GIS-Informationsschichten möglich.

Output erfolgt in digitaler Form als File der weiterverarbeitet werden kann oder als Hardcopy auf Papier oder Folie. Eine solche Orthophotokarte, die später noch genauer vorgestellt wird, stellt das Bild 2 dar.

Bild 2: Orthophoto- Bestandskarte Muta 551



Die Herstellung einer Bestandeskarte mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie wird in der Fortsetzung am Beispiel des DMS Orthophotosystems dargestellt (Welch, 1992b). Bei DMS System

handelt es sich um ein modulares Programm das die Bearbeitung von Satellitenaufnahmen und digitalisierten Flugbildern gestattet und gleichzeitig über alle wesentlichen Raster-GIS Funktionen verfügt. Die Darstellung des Stereobildes erfolgt durch das Anaglyphenverfahren. Das Programmpaket wurde im Jahr 1992 erworben und läuft auf einem 80486 DX2 66 PC mit ET4000 Graphikbord, 540 Mb Harddisk und einem EIZO 17" Farbmonitor.

### 3.1 Verfahren zur Herstellung von Orthophotobestandeskarten

Unser Konzept der Bestandeskartenherstellung sieht zur Zeit zwei in vielen Vorgangslösungen sehr unterschiedliche Verfahren vor. Die Unterschiede bestehen in der Art der Photointerpretation und der Erstellung des Orthophotos. Bei beiden müssen zunächst die Bilder gescannt, die Fixpunkte bestimmt und das Stereopaar orientiert werden. Von da an trennen sich beide Verfahren. Beide bieten einige Vorteile aber auch Beschränkungen.

Verfahren 1 gestattet, mit Ausnahme von Fixpunktbestimmung, eine völlig autonome Orthophotoherstellung, da alle Daten am Stereomodell gewonnen werden. Die Photointerpretation erfolgt am digitalen Bildschirm-Stereomodell. Mit Hilfe der Raummarke werden die Grenzen der stereoskopisch dargestellten Waldbestände umfahren und digitalisiert. Es entsteht ein geometrisch korrekter Vektorfile der in GIS übertragen werden kann. Mit Hilfe der automatischen Stereokorrelation wird ein eigenes DTM berechnet, der wegen der Begrenzung des Stereofeldes auf etwa 60% der Einzelbildfläche wesentlich kleiner als die gesamte Flugbildfläche ist. Anschließend wird mit Hilfe dieses DTM das Orthophoto erstellt. Durch Überlagerung von Orthophoto, Bestandes- und Abteilungsgrenzen (importiert aus GIS) entsteht Orthophotobestandeskarte die im beliebigen Maßstab ausgedruckt und für Geländearbeiten (eventuelle zusätzliche Datenerhebungen) verwendet werden kann (siehe auch Bild 2 und 4).

Bei zweitem Verfahren erfolgt die Photointerpretation wie bisher an Originalflugbildern analog mit Spiegelstereoskop. Die Bestandesgrenzen werden auf die an einem Flugbild befestigten Klarsichtfolie gezeichnet. Dieses Vorgehen nutzt die Vorteile optisch hochqualitativen Stereoskope und die Möglichkeit der Betrachtung in Farbe. Die Arbeit ist einfacher und weniger ermüdend als am Bildschirm; sie kann auch im Forstbetrieb durch ortskundige Förster durchgeführt werden. Die auf der Folie gezeichneten Bestandesgrenzen weisen alle geometrische Deformationen des Original-Flugbildes auf; sie müssen deswegen anschließend gescannt und korrigiert werden. Dies kann mit Transformationsparametern des zutreffenden Flugbildes

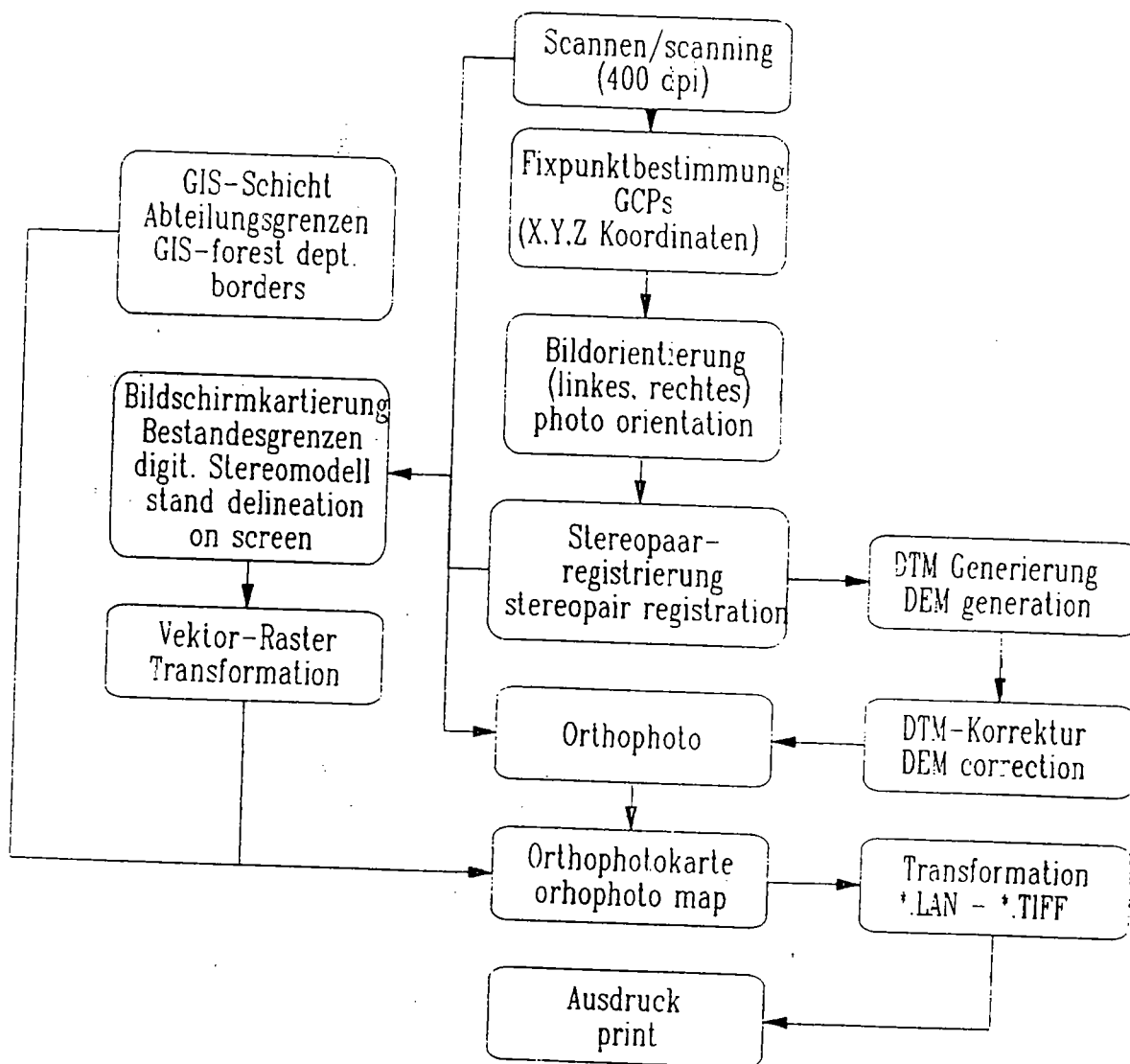


durchgeführt werden. Für die Orthophotoherstellung wird das nationale DTM ( in Slowenien 100 x 100 Meter) verwendet. Es kann die volle Einzelbildfläche ins Orthophoto differential entzerrt werden. Der weitere Vorgang ist gleich wie bei Verfahren 1.

### 3.2. Beispiel: Orthophotobestandeskarte Muta

Die Eestandeskarte Muta (Bild 2) wurde nach Verfahren 1 hergestellt. Die wesentlichen Arbeitsschritte und Merkmale sind aus dem Flussdiagramm im Bild 3 ersichtlich.

Bild 3: Flussdiagramm der Orthophotoherstellung Muta  
Figure 3: Flowchart of the orthophoto map MUTA production



Für die im Bild 2 wiedergegebene Orthophotokarte wurden Falschfarben-Infrarot Flugaufnahmen Muta-2590 und Muta-2591 im Massstab ca.1:10000 mit einer Auflösung von 400 dpi gescannt

(Datenmenge: 13.5Mb/Flugbild) und schwarz-weiss eingelesen. Die Bodenpixelgrösse betrug 0.62 m. Von anfänglich vorbereiteten 35, bzw. 28 Fixpunkten wurden für die Orientierung bei Flugaufnahme 2590 nur 12, bei der 2591 nur 14 berücksichtigt (mindestens 6 verlangt). Der geometrische Restfehler der Fixpunkte ist mit 0.69 (Tabelle 2), bzw. 1.28 m relativ gering.

**Tabelle 2: Fixpunktliste, Orientierungsparameter und Orientierungsfehler für das Flugbild 2590 (Bildschirmausdruck)**

Table 2: Orientation parameters of the aerial photography No. 2590 (print screen)

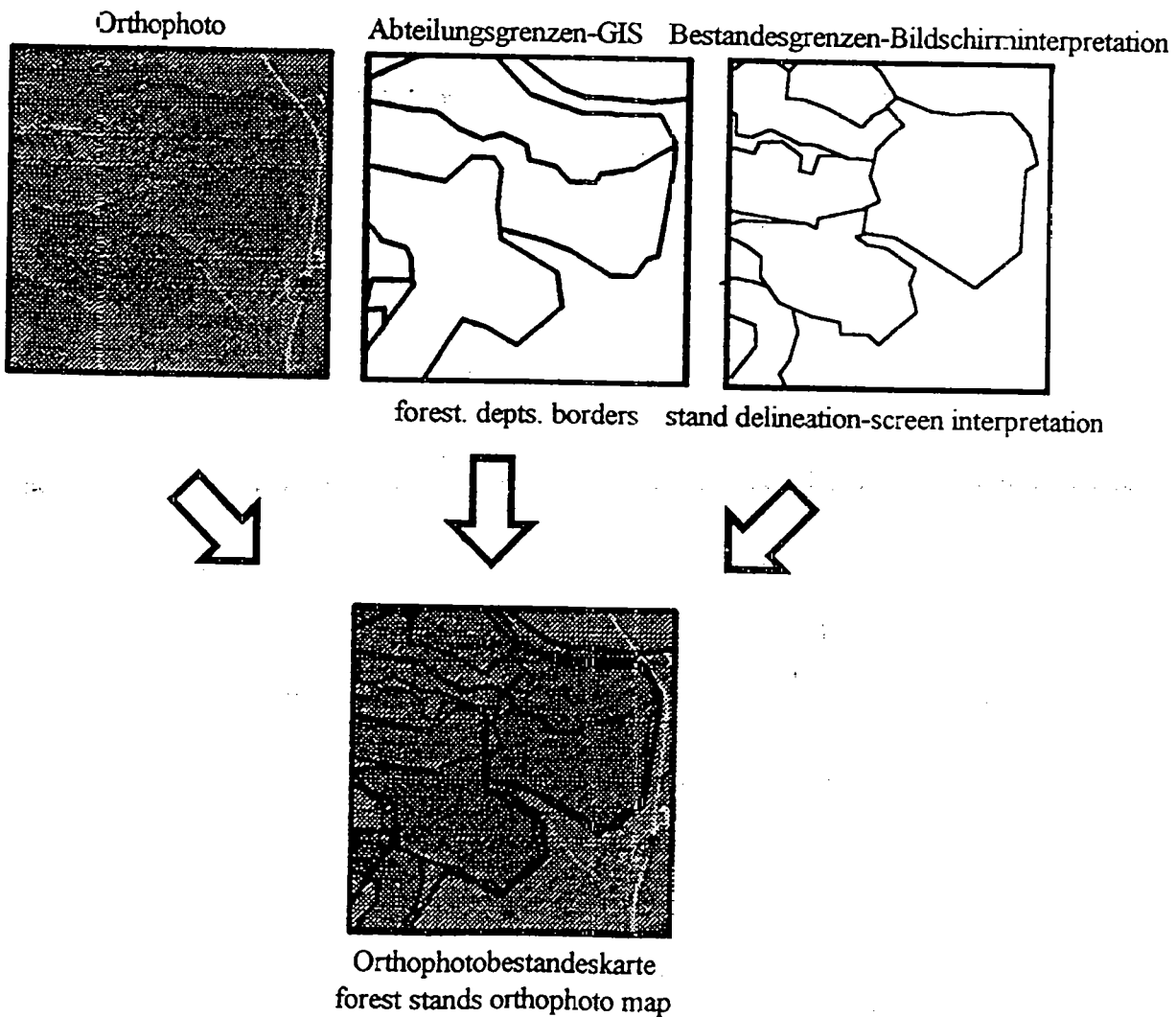
Point	Status	Error	Point	Status	Error	Orientation Parameters
1	out	-----	20	in	1.172	XL= 5510681.240 m
2	out	-----	21	out	-----	YL= 5165265.464 m
3	in	1.093	22	out	-----	ZL= 3567.784 m
4	in	0.961	23	in	0.930	Ω = -0.209°
5	out	-----	24	out	-----	Φ = -0.886°
6	out	-----	301	in	0.901	K = -90.062°
7	in	1.122	302	out	-----	xo= 1803.342
8	out	-----	303	out	-----	yo= 1778.149
9	out	-----	304	out	-----	z = -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

Nach der Orientierung wurde durch die Registrierung beider Bilder in der Flugrichtung das Stereomodell hergestellt. Am Stereomodell erfolgte die Digitalisierung von Bestandesgrenzen mit durch Maus- und Tastaturbefehle geführte Raummarke. Dabei wurden die Raummarkebewegungen durch X, Y und Z Grundkoordinaten angezeigt. Durch die automatische Stereokorrelation am Stereomodell (Suchfenster: 15 x 15 Pixel) wurde ein DTM mit 40 x 40

Pixel, das entsprach einer Bodenmatrix von 25 x 25 Meter erstellt. Zur Kontrolle und Korrektur des DTM wurde dieses auf das Stereomodell projiziert und optisch kontrolliert. Das Programm ermöglicht sehr einfache DTM Korrekturen: DTM Punkte die nicht auf dem Boden liegen, können sehr einfach mit dem Cursor in richtige Lage gebracht werden. Korrigiertes DTM wurde anschließend für die Orthophotoherstellung benutzt. Am Orthophoto konnten nun im besonderen Kartierungsmodul alle 2-dimensionalen Messungen (Distanzen, Flächen) und die Kartierung (Bildschirmvektorisierung) mit einfachen Cursorbewegungen durchgeführt werden. Bewegungen des Cursors wurden im gewählten, bei uns Gauss-Krüger-Koordinatensystem, mit X,Y Koordinaten direkt angezeigt.

Für weitere Verarbeitung wurde Orthophoto Muta in IDRISI GIS ( Eastman,1992) übertragen und mit GIS -Schichten: "Bestandesgrenzen" und "forstliche Einrichtungseinheiten" überlagert (Bild 4). Die Orthophotobestandeskarte wurde im gewünschtem Maßstab 1:5 000 und Beschriftung in der graphischen Windows-Umgebung auf Bubble Jet Farbdrucker CANON BJC 800 ausgedruckt ( Bild 2).



## Bild 4: Integration der Orthophotographie in FIS

### Figure 4: Integration of orthophoto and Forestry Information System

Unser besonderes Anliegen war es die digitalen, geometrisch korrekten Karten auch als Papierdruck in guter Qualität für die zusätzliche Bestandesbeschreibungen im Gelände herzustellen. Dadurch daß diese Karten neben der Aufnahme der Bestände aus Luft auch die Bestandes- und Abteilungsgrenzen vorgezeichnet enthalten, sollten die Geländearbeiten wesentlich erleichtert und beschleunigt werden. Die im Gelände überprüften und ergänzten Informationen werden wieder ins FIS übernommen und als Attribute zur Bestandeskarte verwaltet.

### 3.3 Genauigkeit der Orthophotokarten

Die Lagegenauigkeit der hergestellten Orthophotokarten wurde durch Vergleich von Orthophoto- und Kartenkoordinaten von klardefinierten Kontrollpunkten auf beiden Medien berechnet. Als Kontrollpunkte wurden die Hausecken, Straßenkreuzungen, Brücken und ähnliches verwendet. Die Fehler sind als diagonale Vektoren (RMSE<sub>xy</sub> in Meter) angegeben.

**Tabelle 3:** Geometrische Genauigkeit der Orthophotokarten bei verschiedenen Flugaufnahme-Maßstäben

Table 3: Geometrical (positional) accuracy of orthophotos having various characteristics

Bild-maßstab	Objektiv	Auflösung	Boden-	Anzahl	Modell-	RMSE <sub>xy</sub>		Bemerkung
Scale	f [mm]	[dpi]	pixelgröße	Fixpunkte	höhen-	[m]		
	focal	resolution	[m] ground	[N]	unterschied	Fix	Kontroll	
	length		resolution	GCP	[m] elev.	modell	control	
					difference	punkte/point		
1:10 000	305,33	400	0,62	11	380	1,13	5,9	•
1:17 500	210,75	600	0,76	12	100	4,70	6,6	•
1:38 000	152,96	600	1,62	22	600	2,53	5,0	••

\* Import: nationales DTM100/national DEM100

\*\* eigenes DTM/computed DEM

Wie aus der Tabelle 3 ersichtlich ist, sind die erreichten Resultate mit Lagefehlern von ca. 5 bis 6 m relativ gut, insbesondere wenn man berücksichtigt daß wir für die Bestimmung der Fixpunktkoordinaten die Karten im Maßstab 1:5000 und 1:10 000 benutzt haben. Bessere Resultate bekam Steiner, 1992 (0.46 bis 1.1m), doch vermutlich mit wesentlich genauer bestimmten Fixpunkten. Die ersten Auswertungen zeigen keinen klaren Einfluß vom Flugmaßstab und

Pixelgröße oder der Art des verwendeten DTM auf Größe des Lagefehlers. Die erreichte Genauigkeit scheint uns für die Herstellung von thematischen Forstkarten ausreichend. Die Unstimmigkeiten zwischen Orthophoto und dem Verlauf von Abteilungs- und Waldgrenzen auf Bild 2 und 4 sind in erster Linie auf veraltete und ungenaue Linienführung auf der Forstkarte zurückzuführen. Verbesserungen versprechen wir uns durch Gebrauch von GPS Techniken die eine weitgehend freie Wahl von Fix- und Kontrollpunkte ermöglichen.

#### 4. Diskussion und Folgerungen

Es sind noch sehr wenige Beispiele über die Verwendung von digitalen Orthophotokarten in der Forstwirtschaft bekannt und noch weniger publiziert. In Slowenien arbeiten auf diesem Gebiet einige Geodeteninstitutionen die Orthophotos in digitalem Fileformat in nächster Zeit anbieten werden. Sieht man davon ab, daß es sich um große Datenmengen handelt die schwer transportiert werden können, nutzt dies aber auf solchen Fachgebieten wenig, wo zusätzliche Datenerhebungen am Stereomodell nötig sind.

Die digitalen Orthophotokarten werden fast von Tag zu Tag bedeutendere Bestandteile der Rauminformationssysteme, vor allem in all diesen Bereichen in welchen die Raumbewirtschaftung im Vordergrund steht. Im Vergleich zur klassischen analogen Orthokarte bieten digitale Karten einige entscheidende Vorteile. Neben der Möglichkeit der unmittelbarer Verknüpfung mit GIS, bietet sie fast unbegrenzte Möglichkeiten der Erstellung von geometrisch korrekten Arbeitskarten in unterschiedlichen Maßstäben. Da diese Karten relativ leicht auch auf Standard-Rechnerausrüstungen erstellt werden können, kommen auch dezentrale Stellen, die unmittelbar mit Land- und Naturressourcen bewirtschaften in Genuß von diesen neuen Techniken.

Bisher wurde es nur von Flugbildern gesprochen die digitalisiert werden müssen, nun es bestehen aber auch bereits digitale Bilder die ohne Umwandlungen eingelesen und mit digitalen photogrammetrischen Systemen bearbeitet werden können. Zurzeit sind dies SPOT Satellitbilder die auch stereoskopisch aufgenommen werden. Neben dem großem Vorteil der Übersichtlichkeit bieten diese Aufnahmen auch bedeutende Nachteile wegen der zu geringen Auflösung von nur 10 Meter. Es sind aber auch auf dem Gebiet der Satellitenerkundung bereits bedeutende Verbesserungen in Sicht. Bis zur Jahrtausendwende sind Satelliten geplant, die stereoskopischen Bilder mit einer Pixelgröße von 3 bis 5 Meter aufnehmen können. Bereits heute sind aber schon russische Weltraumbilder mit Bodenauflösung unter 1 Meter zu haben (Gupta, 1994), womit wir in Bereich von Flugbildern in kleinen Maßstäben kommen. Gleichzeitig schreitet die Entwicklung von digitalen Flugbildkameras voran die Bilder mit allen wesentlichen Orientierungsdaten bereits am Band liefern werden.

Die Forstwirtschaft kann von diesen Entwicklungen nur profitieren. In Slowenien ist für das Erste die Herstellung von flächendeckenden Orthophotobestandeskarten mit dazugehörigen Attributen-Datenbanken (GIS- Umgebung) geplant die in der Forsteinrichtung- Waldbau- , Waldnutzung und in der Raumplanung eingesetzt werden.

## 6. Literaturübersicht

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): 729-745

Hoèevar, M., 1992: Waldzustandserfassung in naturnahen Wäldern Sloweniens. Öst. Forstztg.1:9-12

Molenaar ,M. and Stuiver. J.,1987:A PC digital monoplottting system for map updating. ITC Journal, 4: 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.Geod. Info Magazin, July: 39-41

Welch, R. 1992b: Desktop Mapping system DMS/SPM, 3.1 Version. Manual.



GDK: 58(497.12)

## DIGITALNE ORTOFOTO KARTE ZA KARTIRANJE GOZDNIH SESTOJEV

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

### *Izvleček*

Naprėdek pri razvoju digitalne fotogrametrije ponuja nove moŹnosti tudi pri izdelavi gozdarskih tematskih kart. Prispevek opisuje razvoj fotointerpretacije in fotogrametrije v slovenskem gozdarstvu, tehnologijo izdelave ortofoto kart z osebniimi 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. inŹ. gozd., redni profesor, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 83, SLO

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

\*\*\* mag., dipl. inŹ. gozd., Gozdarski inŹtitut 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

Sorazavno 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 pričobivajo 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 1937 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 ( $\pm 0.5$  m in manj). Ti sistemi bodo v prihodnje vse bolj nadomeščali zastarele avtografе 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 žičnic, 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<sub>SLO</sub> 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 primarne strojne in programske opreme za skeniranje 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<sub>slo</sub> 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 izračunane DMR. V tehnološkem postopku sta bili uporabljeni naslednja strojna in programska oprema:

- PC 486 DX 66, 640 MB, ET 4000, 60 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 BJ 800,
- črnobeli (v nadaljevanju Č/B) in infrardeči (v nadaljevanju CIR) aeroposnetki različnih meril (1:1750, 1:38000 in 1:10000) z različnih območij Slovenije (Koroška, Ljubljana, Kočevska).

## 4 IZDELAVA ORTOFOTO SESTAVNE 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 izjaka vplivajo številni dejavniki, smo jih v nadaljevanju prisiljeni opisati nekoliko bolj podrobno, v splošnem pa vejeja, 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 lp/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 skaniranja; če bi npr. želeli ohraniti ločljivost 40 lp/mm, bi (s predpostavko, da rabimo za vsak linijski par dva piksla) morali skanirati z ločljivostjo 12,5  $\mu\text{m}$  (2032 dpi), en pankromatski posnetek standardnega formata 23x23 cm pa bi po skaniranju 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.**

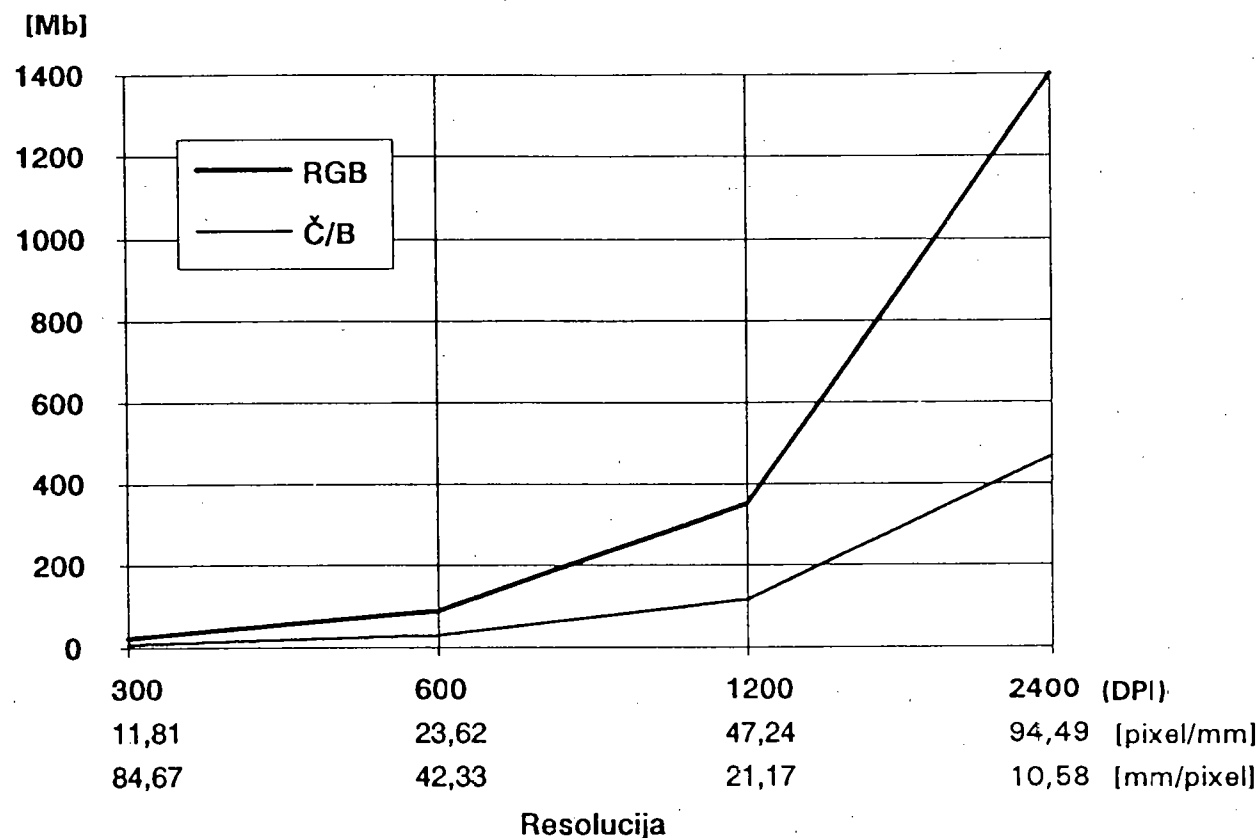
Merilo slike  Photo Scale	Resolucija aeroposnetka na tleh  <i>Ground Resolution</i>		Resolucija skenerja  <i>Scanning Resolution</i>	Resolucija skenirane slike  <i>Image Resolution</i>		Velikost pixla na tleh  <i>Ground Resolution Pixel Resolution</i>	Količina podatkov  <i>Data Volume</i>	
	brez FMC <i>without FMC</i>	s FMC <i>with FMC</i>		Pixel/mm	µm/Pixel		Č/B	RGB
	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



*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)



Slika 2:  
Figure 2:  
Ortofoto karta Mute  
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.

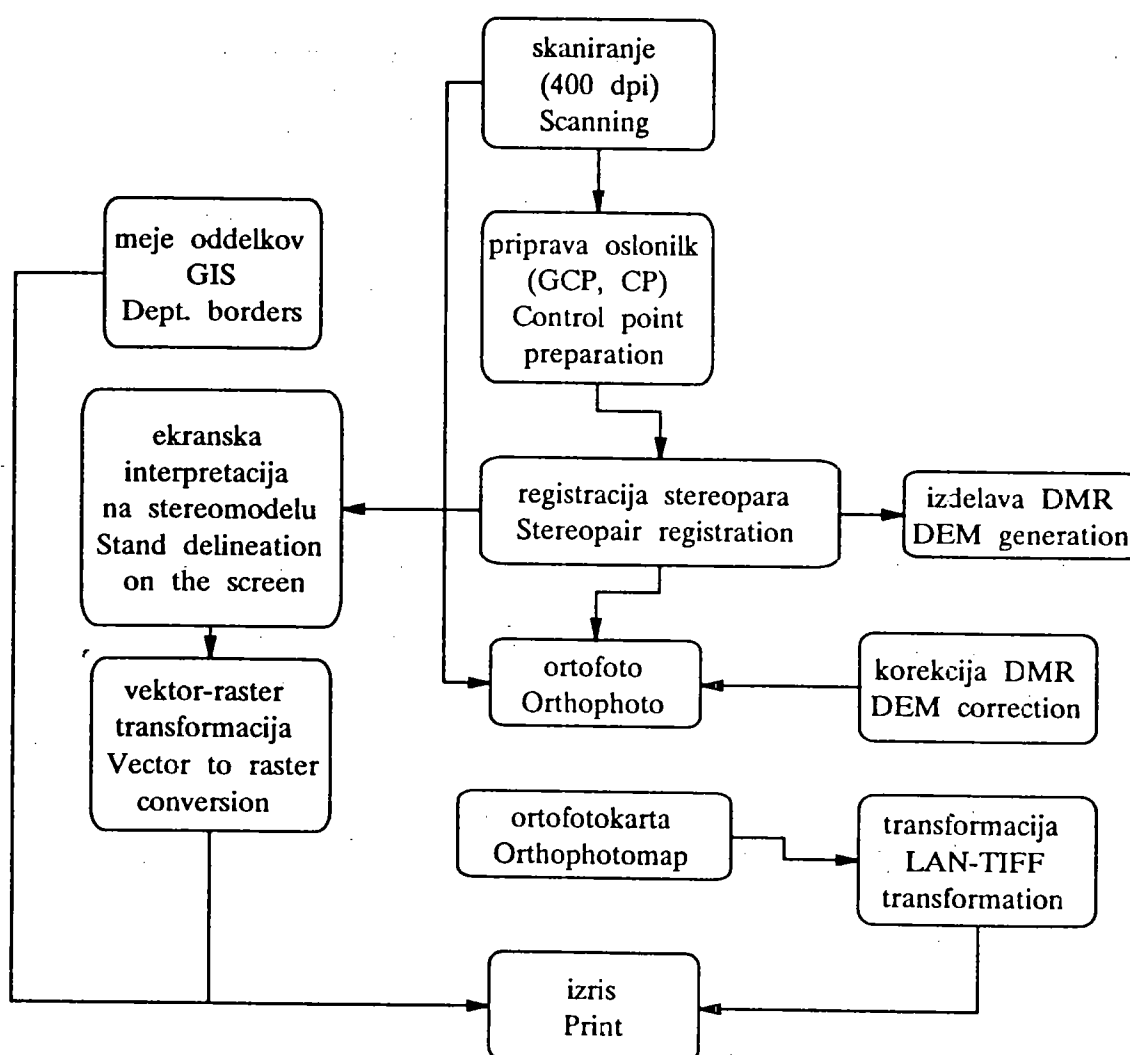
Sestojne meje najprej narišemo na prozorno folijo, s katero smo poprej prekrili aeroposnetek, še prej pa na njej s tušem označimo oslonilne točke in križne markice. Tehnologijo DF pri tem postopku uporabimo za transformiranje interpretirane vsebine v kartni koordinatni sistem in za izračun digitalnega 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 pikslov 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	$\Omega$ = -0.209°
5	out	-----	24	out	-----	$\Phi$ = -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.

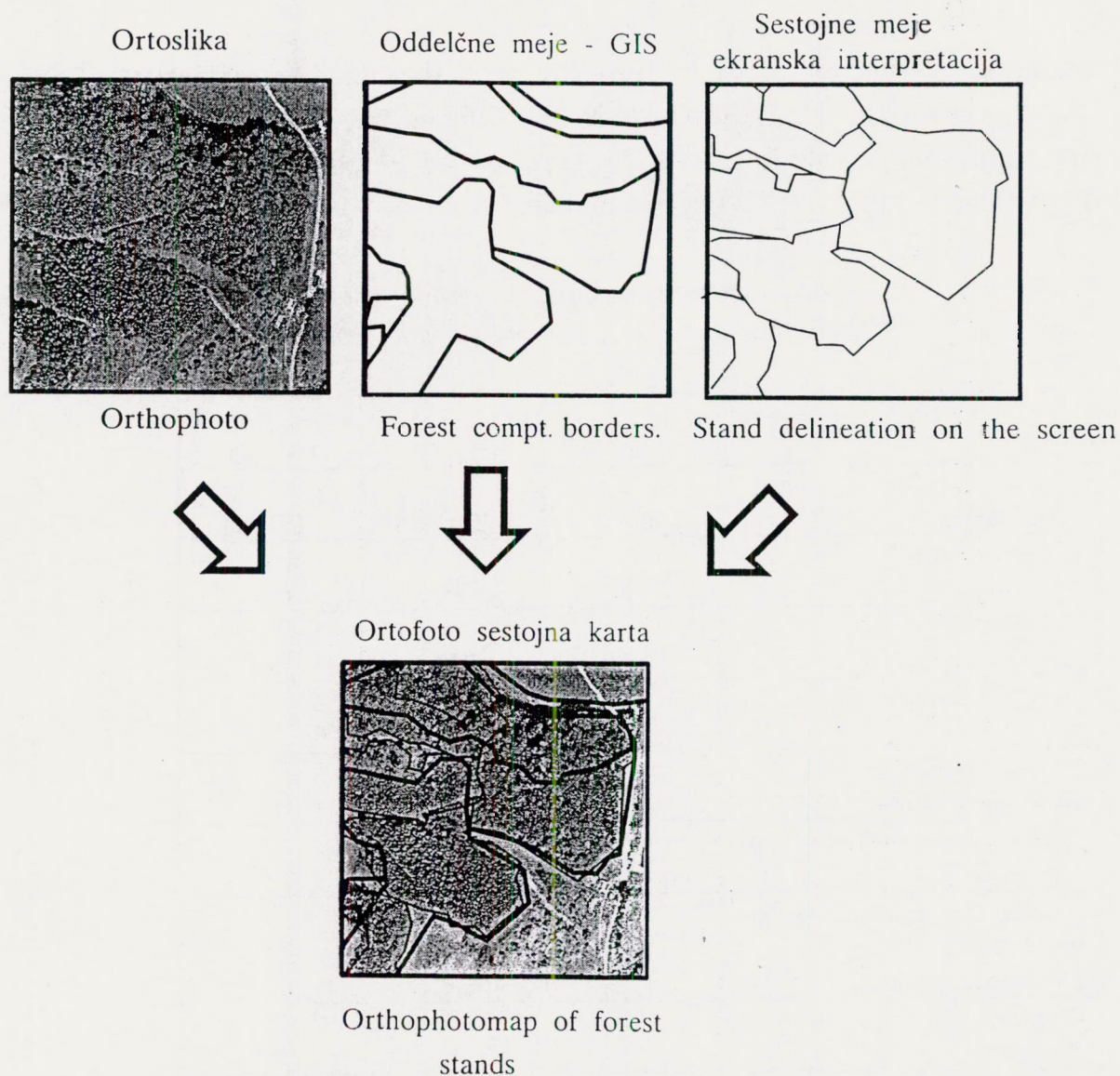
Na OF so mogoče vse vrste 2-dimenzionalnih meritev (razdalje, površine) in seveda samo kartiranje (ekranska vektorizacija) v izbranem koordinatnem sistemu.

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<sub>xy</sub>) v metrih.

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

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

\* 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.

C 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 pikslov 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:*

*Izsek iz ortomozaika Rožnik*

*Figure 5:*

*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/RMSE<sub>xy</sub>(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 boljše 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 razčlenbe gozdarskega informacijskega sistema. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 40, s. 123-160.
- KRALJ, T., 1986. Digitalna monorestitucija - restitucija aerosnetkov 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.