

GDK 587+582: (497.12\*03 Hrastičje)

Prispelo / Received: 18. 07. 2000

Sprejeto / Accepted: 28. 09. 2000

Izvorni znanstveni članek  
Original scientific paper

## FOTOTERESTRIČNA INVENTURA GOZDA

Gal KUŠAR\*, Milan HOČEVAR\*\*

### Izvleček:

Članek opisuje uporabo dvofazne fototerestrične vzorčne inventure na primeru študijskega objekta gozda Meja Hrastičje. Fotogrametrična snemanja dominantne sestojne višine, zastornosti, razvojne faze (starosti) in mešanosti smo opravili s pomočjo digitalnega analitičnega stereoploterja na prostorskemu modelu gozda na 385 vzorcih. Lesno zalogo smo ugotovili na 18 terenskih vzorcih. Terestrično ugotovljena višina lesne zaloge je bila v tesni korelacijski povezavi s fotogrametrično izmerjenimi pomožnimi znaki ( $r^2=0,97$ ). S kombinacijo meritev na aeroposnetkih in na terenu smo oceno lesne zaloge bistveno izboljšali, vzorčno napako pa zmanjšali na 6,6 %.

Ključne besede: fototerestrična inventura, dvofazna inventura, vzorčenje, digitalna fotogrametrija, lesna zaloga

## PHOTOTERRESTRIAL INVENTORY METHOD

### Abstract

*This paper deals with two-phased photo-terrestrial inventory method for estimation of timber volume on study object of Meja Hrastičje forest. Photogrammetric measurements of dominant tree height, crowns cover percentage, stand ages and share of conifers were done by using a digital analytical stereo plotter on a stereomodel of forest on 385 photo samples. Timber volume was estimated on 18 terrestrial samples. This timber volume was highly correlated with photogrammetric measurements of some additional variables ( $r^2=0,97$ ). The combination between photogrammetrical and terrestrial measurements improved the estimation of timber volume and sampling error was reduced on 6.6 %.*

*Key words: photo-terrestrial inventory, Two-phased inventory, sampling, digital photogrammetry, timber volume*

---

\* univ. dipl. ing. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SVN;

\*\* prof., dr. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SVN;

**VSEBINA**  
*CONTENTS*

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	
	INTRODUCTION .....	119
<b>2</b>	<b>PREDSTAVITEV OBJEKTA</b>	
	PRESENTATION OF STUDY OBJECT .....	120
<b>3</b>	<b>DVOFAZNA FOTOTERESTRIČNA INVENTURNA METODA</b>	
	TWO-PHASED PHOTOTERRESTRIAL INVENTORY METHOD .....	121
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	
	RESULTS .....	134
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPNE UGOTOVITVE</b>	
	DISCUSION AND CONCLUSIONS.....	144
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b> .....	146
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b> .....	146
<b>8</b>	<b>VIRI</b>	
	REFERENCES .....	147
<b>9</b>	<b>PRILOGA</b>	
	APPENDIX.....	148

## **1 UVOD**

### **INTRODUCTION**

Gozdarstvo že dolgo zbira velike količine različnih podatkov. Zbrane in obdelane podatke uporabljamo kot osnovo za odločanje, načrtovanje, spremljanje in kontrolo stanja ter razvoja gozda. Količinske in kakovostne podatke o gozdu pridobivamo s pomočjo polne ali delne premerbe. Ker je snemanje podatkov zamudno in drago, skušamo z razvojem novih inventurnih metod zmanjšati porabo časa in s tem znižati stroške pridobivanja podatkov, oziroma pri enakih stroških izboljšati natančnost pridobljenih podatkov. Povsem nove možnosti racionalizacije snemanja podatkov v gozdarstvu se v zadnjem času ponujajo z naglim razvojem cenovno vedno bolj dostopnih metod digitalne fotogrametrije in visokozmogljivih računalniških sistemov.

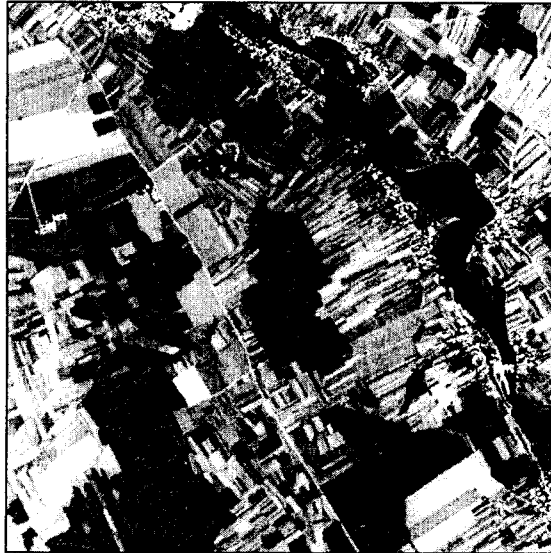
Način zbiranja podatkov v slovenskem gozdarstvu za potrebe gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja določa Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (1998). Kot osnovno metodo ugotavljanja lesne zaloge in prirastka uvaja metodo stalnih vzorčnih ploskev, za izboljšanje natančnosti ocen pa dovoljuje tudi uporabo drugih metod.

Namen našega dela je bil, da na študijskem modelu gozda Meja Hrastičje (približno 100 ha) preizkusimo metodo dvofazne fototerestrične inventure s pomočjo snemanja pomožnih dendrometrijskih znakov (fotogrametrične meritve) na digitalnem prostorskem modelu gozda in manjšega števila vzorcev na terenu.

Članek je povzet po diplomskem delu z naslovom: Fototerestrična inventura gozdnih sestojev (KUŠAR 2000).

## 2 PREDSTAVITEV OBJEKTA PRESENTATION OF STUDY OBJECT

Gozd Meja Hrastičje obsega 93,55 ha in leži na Sorškem polju (slika 1).



Slika 1: Lega objekta Meja Hrastičje. Satelitski posnetek *SPOT PAN*, združen s posnetkom *Landsat TM 542*

*Figure 1: Geographical position of study object Meja Hrastičje. SPOT PAN image in combination with Landsat TM 542 image*

Zaplata gozda je z vseh strani obdana s kmetijskimi površinami. Leži v ravnini, geološka podlaga je savski prod, kjer so nastala plitva do srednje globoka rjava, peščeno ilovnata tla. Potencialna naravna gozdna združba so hrastovja z gabri (*Quercus-Carpinetum*), iglavci (smreke in redke jelke) so bili umetno zasajeni, posamezni rdeči bori pa so se naravno nasemenili. V severovzhodnem in južnem delu gozda prevladujejo vrzelasti debeljaki smreke. Sestoje severozahodnega in centralnega dela sestavljajo v pretežni meri listavci. Prevladujoča drevesna vrsta v mladju je smreka. Struktura gozdnih sestojev je najbolj podobna strukturi gozda s skupinsko postopnim načinom gospodarjenja. Nastala je nenačrtno zaradi množice lastnikov in majhnih parcel.

V gozdu je od leta 1985 postavljenih 18 stalnih vzorčnih ploskev na mreži 200 krat 300 metrov.

### **3 DVOFAZNA FOTOTERESTRIČNA INVENTURNA METODA TWO-PHASED PHOTOTERRESTRIAL INVENTORY METHOD**

#### **3.1 DEFINICIJA METODE, ZAHTEVE, NATANČNOST IN UPORABNOST DEFINITION, CONDITIONS, PRECISION, AND APPLICABILITY**

Dvofazno vzorčenje nam omogoča izboljšati oceno vrednosti ciljne spremenljivke (lesna zaloga), ki jo ugotovimo v drugi fazi na podlagi poznavanja (izračuna) njene povezave (korelacije) z enim ali več poceni merljivimi pomožnimi dendrometrijskimi znaki (drevesno višino, številom dreves, mešanostjo, zastornostjo, razvojno fazo in starostjo), ki jih ugotovimo v prvi fazi.

Metoda je smotrna povsod tam, kjer je snemanje ciljnega podatka zamudno in drago, medtem ko je izmera podatkov, ki so s ciljnim podatkom v tesni korelacijski povezavi, enostavna in poceni. Namen dvofaznega vzorčenja je skržiti število meritev ciljnega podatka in s tem znižati stroške inventure, ne da bi bila s tem okrnjena točnost rezultatov snemanja.

Dvofazna fototerestrična inventura je metoda pridobivanja podatkov o gozdnih sestojih na podlagi snemanj in merenj na letalskih posnetkih ter na terenu. Vzorci na terenu in na letalskih posnetkih se morajo lokacijsko točno prekrivati. Iz podatkov v vzorcih, na katerih smo izvedli terenske in fotogrametrične meritve ter ocene, izračunamo korelacijske povezave in regresijske enačbe. Če je ta povezava dovolj tesna ( $r^2 > 0,7$ ), nam bistveno izboljša oceno lesne zaloge.

Merjenje poteka v dveh fazah. V prvi fazi na sistematično razporejenih fotovzorcih na aeroposnetkih izmerimo in ocenimo pomožne dendrometrijske znake, za katere predpostavljamo, da so v dobri korelaciji s ciljnim podatkom. Dobimo zelo točno oceno srednjih in skupnih vrednosti pomožnih podatkov. V drugi fazi pa izmed prvih vzorcev izberemo manjše število terestričnih vzorcev in s pomočjo terenskih snemanj izračunamo

ciljni podatek. Na vzorcih druge faze tako dobimo terestrično izmerjene in izračunane vrednosti ciljnega podatka in fotogrametrično izmerjene vrednosti pomožnih dendrometrijskih elementov. S pomočjo statističnih metod poiščemo korelacijsko povezavo med terestrično in fotogrametrično merjenimi podatki. Z regresijsko enačbo nato v povezavi s točno oceno srednje vrednosti pomožnega podatka izboljšamo (korigiramo) oceno srednje vrednosti terensko izmerjenega ciljnega podatka.

S tem, ko merimo na terenu le del vzorcev, ki jih snemamo z letalskih posnetkov, znižamo stroške inventure. Literatura navaja različna razmerja med številom vzorcev prve in druge faze, od 2 proti 1 do 10 proti 1, v odvisnosti od stroškov snemanja na terenu in na letalskih posnetkih, variance podatkov, stratifikacije, vrste pomožnih dendrometrijskih podatkov, stopnje korelacije in vrste regresije.

### 3.2 PREGLED LITERATURE PUBLICATIONS REVIEW

V literaturi zasledimo več primerov uporabe metode dvofazne fototerestrične gozdne inventure. Pri večini so za fotogrametrična merjenja uporabili analogne avtografe, v našem primeru pa smo uporabili digitalni stereoploter.

Mohadjer in Zobeiry (1985) navajata model korelacije med terensko izmerjeno lesno zalogo in fotogrametrično merjeno zastornostjo, premerom krošenj in srednjo višino treh najbližjih dreves z  $r^2 = 0,85$ . Razmerje med številom vzorcev je bilo 7 proti 1. Ocena terestrično izmerjene lesne zaloge je znašala 33,3 m<sup>3</sup>/ha; fotogrametrično izboljšana pa 36,1 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 1,19 m<sup>3</sup>/ha oziroma z dopustno napako 2,39 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm 6,6$  %) pri 5 % tveganju.

Katsch (1991) navaja primer korelacije med terensko izmerjeno lesno zalogo in fotogrametrično merjeno drevesno višino, številom krošenj - dreves, premerom krošenj in zastornostjo. Razmerje med številom vzorcev je bilo 4 proti 1. Površina je bila 7.500 ha. Primerjava ocene dvofazne in terenske ocene lesne zaloge ni pokazala večjih razlik v natančnosti. Terenske so bile za 1 % do 2 % bolj natančne kot dvofazne. Pokazala se je ekonomska upravičenost dvofazne metode, saj se je izkazalo, da je pri dopustni napaki  $\pm 5$

% ta metoda 5 krat cenejša od terenske. Uporabili so barvne infrardeče posnetke (CIR) merila 1:6.000.

De Gier in Stellingwerf (1992) navajata primer korelacije med terensko izmerjeno lesno zalogo in fotogrametrično merjeno zastornostjo z  $r^2 = 0,83$ . Razmerje med številom vzorcev je bilo 2 proti 1. Ocena lesne zaloge s pomočjo terenskih meritev je znašala 357,1 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 28,19 m<sup>3</sup>/ha oziroma z dopustno napako 59,77 m<sup>3</sup>/ha ( $\pm 16,7$  %) pri 5 % tveganju. Izboljšana ocena lesne zaloge s pomočjo fotogrametrične regresijske metode je znašala 312,9 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 34,12 m<sup>3</sup>/ha oziroma z dopustno napako 69,12 ( $\pm 22,2$  %) pri 5 % tveganju.

Hočevar (1995) navaja razmerje 1 proti 5 - 20 (včasih do 100), odvisno od tesnosti korelacijske povezave, višine stroškov snemanja podatkov na letalskih posnetkih in na terenu ter dopustne vzorčne napake. Navaja primer korelacije med terensko izmerjeno lesno zalogo in fotogrametrično merjeno zastornostjo in dobnim razredom pri smreki z  $r^2 = 0,77$ . Snemanje na aeroposnetkih je bilo 25 % cenejše kot na terenu in z dopustno napako  $\pm 5$  %. Razmerje med številom vzorcev pa je bilo 10 proti 1.

Kritično mejo stroškov izračunamo po enačbi:

$$\frac{c_2}{c_1} > \frac{r^2}{(1 - \sqrt{1 - r^2})^2}$$

kjer je:

$c_2$  - stroški vzorčenja ciljnega podatka (druga faza) / *costs for sampling of target data (second phase)*,

$c_1$  - stroški vzorčenja pomožnega podatka (prva faza) / *costs for sampling of additional data (first phase)*,

$r$  - korelacijski koeficient med ciljnim in pomožnim podatkom / *correlation coefficient between target and additional data*.

Optimalno število vzorcev prve faze določimo po enačbi:

$$n_1 = \frac{s_y^2 t^2}{E_{\bar{y}}^2} \left[ \sqrt{\frac{c_2}{c_1} r^2 (1 - r^2) + r^2} \right]$$

kjer je:

$s_y^2$  - varianca regresijskega modela / *variance of the regression model*,

$E_y$  - dopustna vzorčna napaka ciljnega podatka / *confidence limit of the target data*

Število vzorcev druge faze določimo po enačbi:

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{1-r^2}{r^2} \frac{c_1}{c_2}}$$

Beisch in Eilermann (1996) sta uporabila dvofazno inventuro na posnetkih CIR merila 1:35.000. Razmerje med številom vzorcev je bilo 6 proti 1, pri tem pa so bili stroški pridobivanja podatkov na terenu od 15 do 25-krat višji. Navajata primer korelacije med terensko izmerjeno lesno zalogo in fotogrametrično merjeno višino in zastornostjo  $r^2 = 0,71$ . Ocena lesne zaloge je znašala 267 m<sup>3</sup>/ha (oziroma 462.444 m<sup>3</sup> na celi površini) s standardno napako  $\pm 13,8$  m<sup>3</sup>/ha oziroma  $\pm 5$  %.

### 3.3 OPIS METODE

#### METHOD DESCRIPTION

Snemanja smo izvedli v štirih korakih:

- prva faza - fotogrametrična izmera dominantne višine, zastornosti, razvojne faze in mešanosti;
- druga faza - terestrična izmera in izračun lesne zaloge s kontrolno metodo;
- izračun regresije in korelacije;
- izboljšava ocene lesne zaloge.

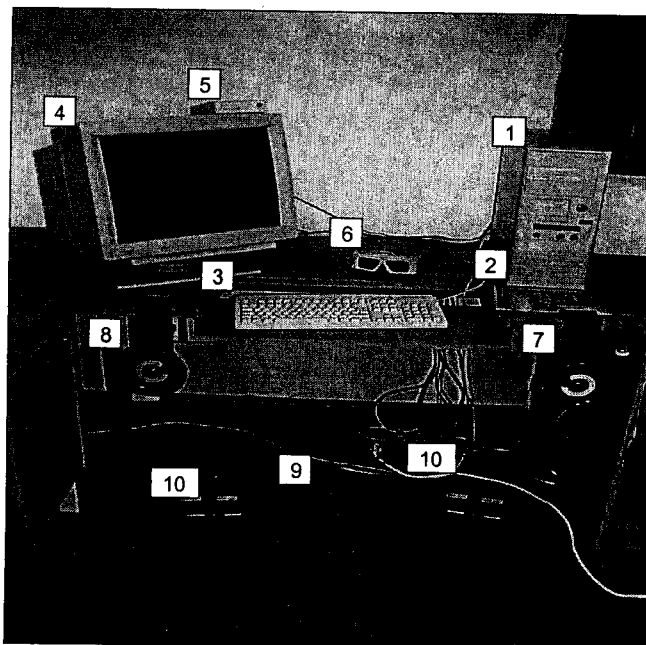
### 3.4 OPIS DIGITALNEGA STEREOPLOTERJA IN POTEKA DEL

#### DIGITAL STEREOPLOTTER AND RESEARCH WORK DESCRIPTION

Fotogrametrične meritve smo opravili s pomočjo *Digital Images Analytical Plotter (DiAP)* - stereoploterja kanadske družbe *ISM*, ki dela v okolju *MicroStation* (DiAP Users guide 1997).



Stereoploter (slika 2) sestavljajo: računalnik (1), miška (2), tipkovnica (3), zaslon (4), signalizator (5), očala (6), kolo za pomik v smeri Y (7), kolo za pomik v smeri X (8), disk za pomik v smeri Z (9), pedala za potrjevanje ukazov (10).



Slika 2: *DiAP* stereoploter

Figure 2: *DiAP* stereoplotter

Uporabili smo naslednjo opremo:

- sistem za stereo gledanje:
  - program *DiAP* verzija 2.99,
  - *MicroStation 95*,
  - *Windows NT 4.0*,
  - očala (*CrystalEyes LCD Active*) in signalizator;
- strojno opremo:
  - osebni računalnik *Pentium P5 CPU 256 KB 128 MB RAM*,
  - 21 palčni zaslon z ustrezno grafično kartico za podporo: 1024 x 768 x 2 polji in 256 barv, 120 Hz,
  - skener *Sharp JX-610*,

- barvna tiskalnica *HP DeskJet 970C* in *HP DesignJet 750C*;
- sistem za prostorsko premikanje:
  - kolesi za premikanje v smeri X in Y, disk za premikanje v smeri Z ter pedala za izvajanje ukazov.

#### **3.4.1 Priprava letalskih posnetkov**

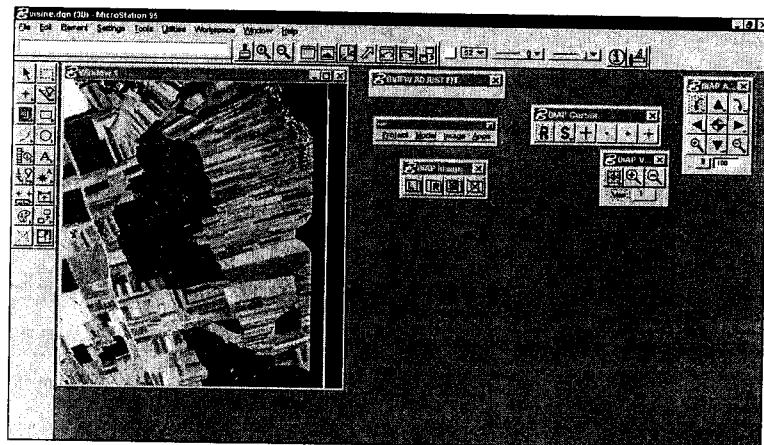
##### Aerial images preparation

Zaporedni par letalskih posnetkov števil 1029 in 1030 (ČB, čas snemanja 3.8.1997,  $f = 210,75$  mm, kamera Wild, nazivno merilo 1:17.500, format 23 x 23 cm) smo skenirali s prostorsko ločljivostjo 600 dpi. Posnetki so last Geodetske uprave Republike Slovenije - GURS). Velikost posamezne datoteke je 23 MB. Velikost pikslov v naravi znaša 0,74 m.

#### **3.4.2 Notranja in zunanja orientacija**

##### Interior and absolute orientation

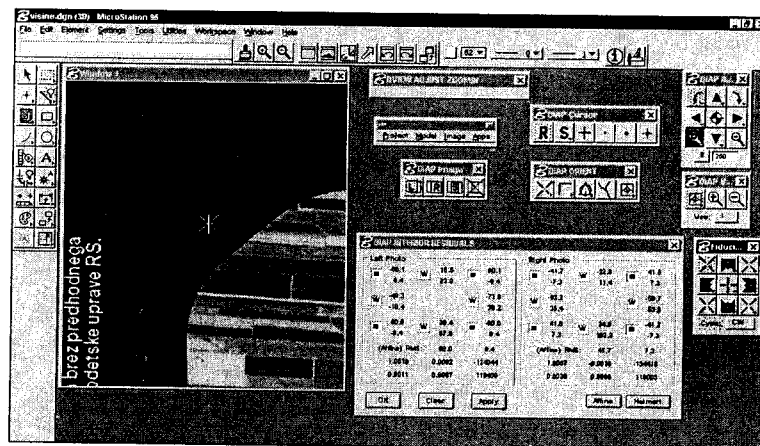
V programu *Microstation* smo odprli osnovno okolje (*design file*) in pognali programski paket *DiAP* (slika 3). Izdelali smo ustrezne zbirke: zbirko oslonilnih točk (*control file*), zbirko podatkov o snemalni kameri (*camera file*), zbirko podatkov o projektu (*project file*) in zbirko podatkov o modelu (*model file*).



Slika 3: DiAP - osnovni menu

Figure 3: DiAP - start menu

Skenirane letalske posnetke smo pretvorili iz formata *TIFF* v format *SIS* in ju odprli v osnovnem okolju. Na levem (1029) in desnem (1030) posnetku smo poiskali križne markice in jim določili slikovne koordinate. Posnetka smo tako notranje orientirali (slika 4).

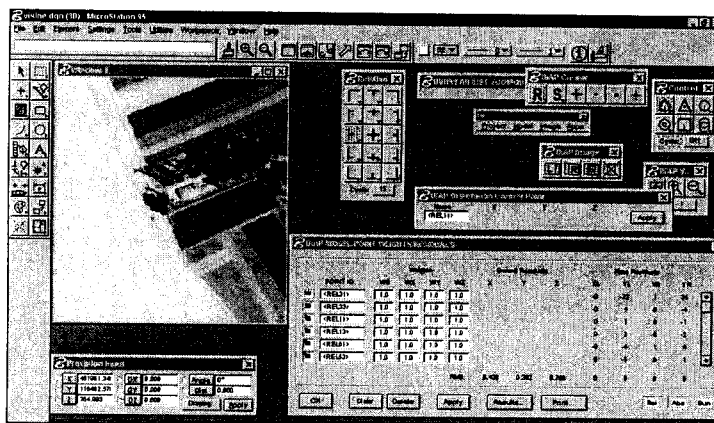


Slika 4: DiAP - notranja orientacija

Figure 4: DiAP - interior orientation

S postopkom relativne orientacije smo na 15 relativnih točkah, razporejenih po celem modelu, premikali (v smereh Y in X) en posnetek preko drugega tako dolgo, da smo

videli jasno prostorsko sliko in da je prostorska markica ležala na tleh (slika 5). Dobili smo relativno orientiran prostorski model gozda, ki je zapisan v slikovnem koordinatnem sistemu.

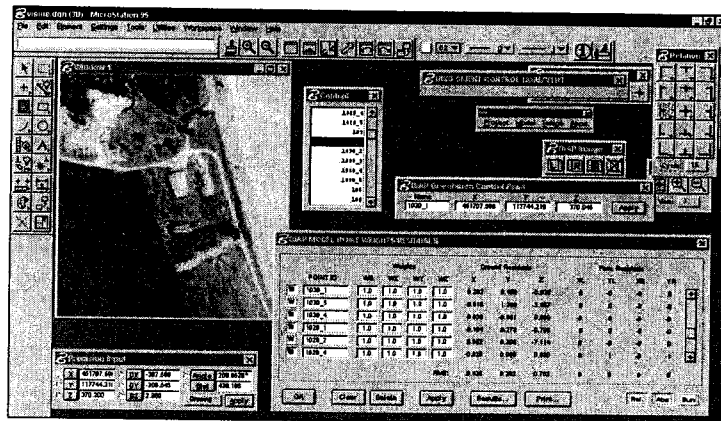


Slika 5: DiAP - relativna orientacija

Figure 5: DiAP - relative orientation

Za kartiranje in merjenje potrebujemo model, ki bo vpet v geodetski Gauss – Kruegerjev (G-K) pravokotni koordinatni sistem. Zato smo na obeh posnetkih izbrali po pet oslonilnih točk, ki ležijo na dobro vidnih in jasno ločljivih objektih na posnetkih. Tem točkam smo na digitalni karti določili koordinate (X, Y) ter višino (Z) (preglednica 1).

Oslonilne točke smo poiskali in označili na stereo modelu in ga tako geokodirali (slika 6). Preverili smo tudi napako modela z izračunom RMS napake (preglednica 2). Model je sedaj uporaben za kartiranje, razmejevanje sestojev, fotointerpretacijo ali za fotogrametrična merjenja.



Slika 6: DiAP - zunanja orientacija

Figure 6: DiAP - absolute orientation

Preglednica 1: Oslonilne točke za prostorski model črnobelih letalskih posnetkov iz leta 1997

Table 1: Control points for model B&amp;W 1997

Točka / Point	X (m)	Y (m)	Z (m)	Opombe / Remarks
T1	451707,590	117744,210	364,000	JZ vogal hiše
T2	452508,260	115614,600	364,000	JZ vogal kapelice
T3	452283,520	116422,670	364,000	SZ vogal hiše
T4	453717,080	117699,250	364,000	JJZ vogal barake
T5	453899,100	116780,590	364,000	JZ vogal kozolca

Kakšna je napaka posamezne točke glede na model, nam dobro pokaže izračun *RMS* (*root mean square*) napak (preglednica 2). *RMS* napaka je koren kvadratne sredine odstopanj in nam pove absolutno napako modela. Ne pokaže pa nam dejanskih pozicijskih napak glede na stanje na terenu (The Fundamentals of Digital Photogrammetry 1997).

$$RMS_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_x^2} \quad RMS_T = \sqrt{O_x^2 + O_y^2}$$

$RMS_x$  -  $RMS$  napaka modela v smeri X / *RMS model error in X direction*,

RMS<sub>T</sub> - RMS napaka točke / *RMS point error*,

O<sub>X</sub> - odstopanje točke v smeri X / *point deviation in X direction*,

O<sub>Y</sub> - odstopanje točke v smeri Y / *point deviation in Y direction*.

Preglednica 2: Napake pri absolutni orientaciji za prostorski model črnobelih letalskih posnetkov iz leta 1997

Table 2: Report of the orientation results for model ČB 1997

Točka / Point	Odstopanja / Deviation (m)		
	smer X direction X	smeri Y direction Y	smeri Z direction Z
T1	0,202	0,452	-0,035
T2	0,638	-0,651	0,869
T3	-0,104	0,273	-0,795
T4	-0,029	0,069	0,830
T5	-0,707	-0,144	-0,870
RMS (m)	0,438	0,382	0,753

Napake modela RMS so pod 1,0 m, kar omogoča natančno kartiranje.

### 3.5 FOTOGRAMETRIČNA IZMERA (PRVA FAZA)

#### PHOTOGRAMMETRICAL MEASUREMENTS (FIRST PHASE)

Ker smo hoteli izboljšati oceno lesne zaloge, ugotovljene na 18 ( $n_2$ ) stalnih vzorčnih ploskvah, smo število ( $n_1$ ) vzorcev prve faze izračunali s pomočjo formule (HOČEVAR 1995):

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{1-r^2}{r^2} \frac{c_1}{c_2}}$$

$$n_2/n_1 = 19,5 \text{ in } n_1 = 19,5 \cdot 18 = 351$$

Ob predpostavki, da je razmerje med stroški vzorčenja prve in druge faze ( $c_1/c_2$ ) 1 proti 20 in da je  $r^2 = 0,95$ , bi tako potrebovali 351 vzorcev prve faze. Vzorčenje smo izvedli s sistematično vzorčno mrežo 50 krat 50 metrov v G-K koordinatnem sistemu, kjer bi na 100 ha velikem gozdu dobili 400 vzorčnih ploskev prve faze. Dobili smo 385 fotogrametričnih vzorcev druge faze, velikosti 3 are, kar skupaj predstavlja 12 % površine gozda (slika 7).



Slika 7: Inventurna mreža – 1. faza, fotogrametrična izmera v učnem gozdu Meja Hrastičje

Figure 7: Inventory grid – 1. phase, photogrammetrical measurements, study area Meja-Hrastičje

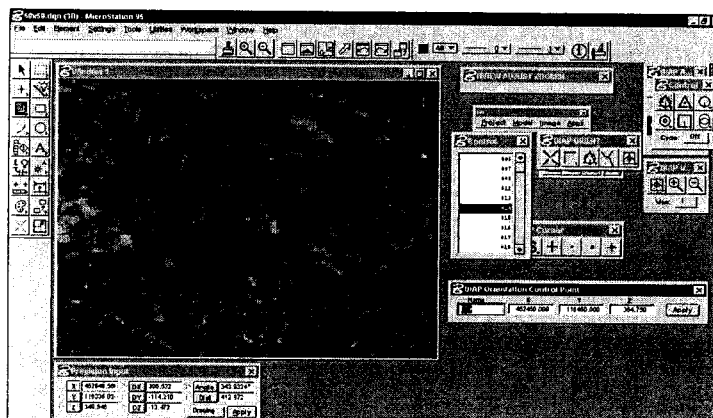
Fotogrametrično izmero smo opravili na stereoploterju *DiAP*. Merili smo dominantno višino dreves na vzorčni ploskvi ter ocenjevali zastornost, mešanost in starost dreves.

### 3.5.1 Izmera dominantne višine ( $H_{dF}$ )

Dominant tree height measurements

Na vsakem označenem fotovzorcu smo s pomočjo prostorske markice izmerili povprečno višino dreves strehe sestoja na vzorčni ploskvi in jo imenovali dominantna višina. Markico smo dvigovali in spuščali toliko časa, dokler nismo dosegli višine krošenj

dominantnih dreves na vzorčni ploskvi (slika 8). Od te višine ( $NV_F$ ) smo odšteli nadmorsko višino terena 364 m in dobili dominantno višino dreves na vzorčni ploskvi ( $H_{dF}$ ) v metrih. Največja izmerjena višina je bila 39,7 m, najmanjša 0,06 m in aritmetična sredina 19,3 m (preglednica 3).



Slika 8: DiAP - fotogrametrično merjenje višin

Figure 8: DiAP – photogrammetrical tree height measurements

### 3.5.2 Ocenjevanje zastornosti ( $Z_F$ )

Crowns cover percentage estimations ( $Z_F$ )

Z zastornostjo smo ocenjevali delež površine vzorčne ploskve, ki ga zastirajo krošnje dreves. Delež površine smo ocenjevali v stopnjah z 10 % intervali. Največja ocenjena zastornost je bila 95 %, najmanjša 5 % in aritmetična sredina 77,8 % (preglednica 3).

### 3.5.3 Ocenjevanje razvojne faze - starosti ( $S_F$ )

Stand ages estimations ( $S_F$ )

Razvojno fazo - starost smo ocenjevali v starostnih razredih po 20 let. Odločujoča kriterija sta bila višina dreves in razvitost krošnje, velikost ter sklep krošenj. Največja



ocenjena starost je bila 110 let, najmanjša 10 let in aritmetična sredina 77,8 let (preglednica 3).

### **3.5.4 Ocenjevanje mešanosti ( $M_F$ )**

Share of conifers estimations ( $M_F$ )

Mešanost smo ocenjevali v stopnjah po 20 %, v % iglavcev od skupnega števila vseh dreves na vzorčni ploskvi. Odločujoča kriterija sta bila jakost sivih tonov in oblika drevesnih krošenj. Največja ocenjena mešanost je bila 90 %, najmanjša 10 % in aritmetična sredina 60,1 % (preglednica 3).

### **3.6 TERESTRIČNA IZMERA (DRUGA FAZA)**

TERRESTRIAL MEASUREMENTS (SECOND PHASE)

Izmed 385 vzorcev prve faze smo na terenu izmerili tudi 18 vzorcev, (slika 7), velikih 3 in 6 arov, in jim po metodi vzorčne kontrolne metode (HOČEVAR 1991) ocenili lesno zalogo.

Kontrolna vzorčna metoda je inventurna metoda, pri kateri na stalnih vzorčnih ploskvah opravimo popis dreves in vzorčne ploskve. Ob prvi izmeri na snemali list zapišemo podatke o vzorčni ploskvi in vsakemu drevesu določimo drevesno vrsto, azimut in razdaljo od drevesa do središča vzorčne ploskve, prsni premer, socialni položaj in stopnjo poškodovanosti.

Ob drugem popisu drevesom ponovno izmerimo premer ter zapišemo socialni položaj in stopnjo poškodovanosti. Ugotovimo tudi, ali je bilo kakšno drevo posekano ali se je posušilo, oziroma vraslo, in to zabeležimo s posebno kodo. Iz podatkov lahko izračunamo vrednosti in spremembe lesne zaloge, prirastka, temeljnice in poškodovanosti.

Prvo merjenje smo v Hrastičju opravili maja leta 1985, drugo pa oktobra 1998, tako da smo zajeli 14 vegetacijskih dob.

Na 18 terenskih vzorcih smo popisali 520 dreves. Od tega je 299 dreves stalnih, 101 drevo je bilo posekano, 120 pa je vraslih. Od drevesnih vrst je največ smreke (334 dreves) in gradna (126 dreves). Iglavce zastopajo še devet borov in dve jelki. Plemenitih listavcev je 15, drugih trdih listavcev 20, 14 je mehkih listavcev. Lesna zaloga znaša 315,94 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 33,08 m<sup>3</sup> oziroma 10,5 % (priloga 1).

## **4 REZULTATI**

### **RESULTS**

#### **4.1 STATISTIKA VSEH VZORCEV**

##### **STATISTICS FOR ALL SAMPLES**

Vse spremenljivke, ki smo jih fotogrametrično in terestrično izmerili ter ocenili, smo statistično obdelali in izračunali povprečje, vsoto, najmanjšo in največjo vrednost, standardni odklon, standardno napako ter koeficient variacije. Posebej smo zapisali vrednosti spremenljivk za 18 terestričnih vzorcev in za 385 fotovzorcev (preglednica 3).

Povprečne vrednosti vseh spremenljivk, posnetih na fotovzorcih (385), so nižje kot povprečne vrednosti spremenljivk, posnetih samo na terenskih vzorcih (18). Zato smo predpostavili, da je ocena lesne zaloge, ki smo jo izračunali s pomočjo kontrolne metode na terenskih vzorcih, previsoka in jo je potrebno s pomočjo regresije znižati.

Preglednica 3: Statistični kazalniki izmerjenih foto in terestričnih spremenljivk v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

Table 3: Statistics of photo and terrestrial variables

Spremenljivka Variable	N	Izmera Measurement	Y	$\Sigma y$	Min	Max	$s_y$	KV %	SE	SE %
$H_{df}$ (m)	18	T	21,2	382	3,18	31,5	8,4	39,6	1,98	9,34
$H_{df}$ (m)	385	F	19,3	7440	0,06	39,7	8,5	44,0	0,44	2,24
$M_F$ (%)	18	T	67,8	1220	50	90	15,2	22,4	3,58	5,28
$M_F$ (%)	385	F	60,1	23150	10	90	20,6	34,3	1,05	1,75
$S_F$ (let)	18	T	77,8	1400	10	110	29,2	37,5	6,89	8,86
$S_F$ (let)	385	F	73,9	28450	10	110	29,7	40,2	1,51	2,04
$Z_F$ (%)	18	T	82,2	1480	25	95	18,4	22,4	4,34	5,28
$Z_F$ (%)	385	F	77,8	29965	5	95	20,8	26,7	1,06	1,36
$H_{df}^2$ (m <sup>2</sup> )	18	T	516,6	9298	10,1	992,9	298,5	57,8	70,35	13,6
$H_{df}^2$ (m <sup>2</sup> )	385	F	446,1	171755	0	1577,7	309,8	69,4	15,79	3,54
$H_{df} * S_F$ (m*let)	18	T	1849,3	33288	31,8	3466,1	981,9	53,1	231,44	12,52
$H_{df} * S_F$ (m*let)	385	F	1645,2	633389	0,6	4369,2	1021,7	62,1	51,07	3,1
$Z_F^3$ (% <sup>3</sup> )	18	T	623888,9	1,12E+07	15625	857375	267835,7	42,9	63129,48	10,1
$Z_F^3$ (% <sup>3</sup> )	385	F	560421,1	2,16E+08	125000	857375	293038,5	52,3	14934,62	2,66
$LZ_T$ (m <sup>3</sup> /ha)	18	T	315,94	5687	66,7	569,7	140,4	44,4	33,08	10,5

Legenda/Legend: F – fotogrametrično / photogrammetrical; T – terestrično / terrestrial

#### 4.2 VREDNOSTI VZORCEV DRUGE FAZE VALUES OF SECOND PHASE SAMPLES

Za vzorce druge faze smo tako pridobili podatke o lesni zalogi ( $LZ_T$ ), izračunani na podlagi terenskih meritev po metodi stalnih vzorčnih ploskev, in fotogrametrično izmerjene podatke o višini ( $H_{df}$ ) ter ocene zastornosti ( $Z_F$ ), starosti ( $S_F$ ) oziroma razvojne faze in mešanosti ( $M_F$ ) (preglednica 4).

Preglednica 4: Fotogrametrično in terestrično izmerjeni podatki na vzorcih druge faze v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

Table 4: Second phase samples - photogrammetrical and terrestrial measurements

ID <sub>T</sub>	Z <sub>F</sub> (%)	S <sub>F</sub> (let)	M <sub>F</sub> (%)	H <sub>dF</sub> (m)	LZ <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /ha)
1	95	90	70	25,60	376,2
2	75	90	70	23,40	257,2
3	85	90	70	27,62	429,9
4	95	110	90	31,51	569,7
5	95	90	70	24,36	380,2
6	55	110	90	25,10	312,8
7	95	70	50	19,50	250,8
8	75	90	50	23,54	310,9
9	95	50	90	13,99	195,3
10	65	70	50	28,90	498,5
11	85	70	70	20,26	316,5
12	95	90	70	26,93	431,5
13	85	90	90	13,58	106,4
14	25	10	70	4,33	66,7
15	85	110	70	28,43	416,7
16	85	90	50	28,62	437,2
17	95	10	50	3,18	117,9
18	95	70	50	13,20	212,5

### 4.3 IZRAČUN REGRESIJSKEGA MODELA REGRESSION MODEL CALCULATION

Z modelom linearne regresije smo ugotavljali odvisnost spremenljivke LZ<sub>T</sub> od neodvisnih spremenljivk: H<sub>dF</sub>, Z<sub>F</sub>, S<sub>F</sub>, M<sub>F</sub> in njihovih transformacij (kvadrati, tretja potenca, naravnimi logaritmi in produkti) na 18 terenskih vzorčnih ploskvah, kjer smo opravili terenske in fotogrametrične meritve in ocenjevanje.

Za ugotavljanje regresijske odvisnosti smo uporabili metodo *forward stepwise* v modulu *Multiple Regression* v programih *Statistika 6.0* in *Stat Graph*. Ta metoda v model linearne regresije po korakih, postopoma in odvisno od kriterijev vključuje in izključuje posamezne spremenljivke, ki jih vnaprej določimo, ter išče model, ki bi se najbolj prilegal točkam.

V prvem koraku se v model vključi spremenljivka H<sub>dF</sub><sup>2</sup> (r<sup>2</sup> = 92,56 %), v drugem koraku spremenljivka H<sub>dF</sub>S<sub>F</sub> (r<sup>2</sup> = 94,62 %) in v tretjem koraku spremenljivka Z<sub>F</sub><sup>3</sup> (r<sup>2</sup> = 96,89 %).

V končnem modelu so tako vključene spremenljivke:  $H_{dF}^2$ ,  $H_{dF}S_F$  (produkt med  $H_{dF}$  in  $S_F$ ) in  $Z_F^3$ .

$$LZ_T = 50,045 + 0,669373 \cdot H_{dF}^2 + 0,0000791168 \cdot Z_F^3 - 0,0698817 \cdot H_{dF}S_F$$

$$r^2 = 0,9689$$

#### 4.3.1 Grafikoni in statistična obdelava

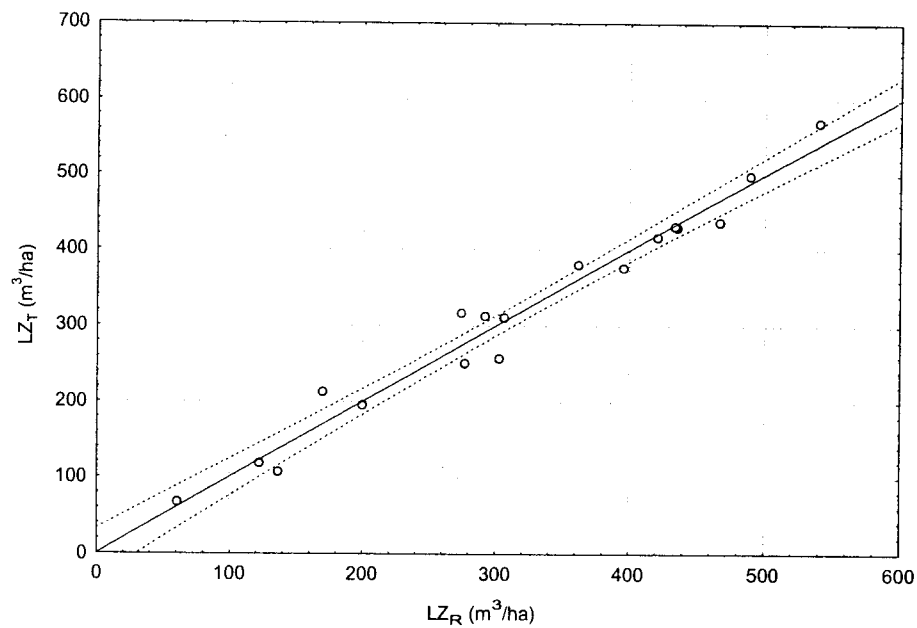
##### Graphs and processing of statistical data

Regresijsko izračunane vrednosti lesne zaloge se dobro prilegajo (majhna odstopanja) terenskim vrednostim lesne zaloge na vsem območju, od najmanjših do največjih vrednosti (grafikon 1).

Tudi odstopanja med modelnimi in dejanskimi vrednostmi (grafikon 2) so simetrično razporejena po vsem območju. Največja odstopanja ne presegajo  $\pm 45 \text{ m}^3/\text{ha}$ , nahajajo pa se pri vrednostih lesnih zalog med  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$  in  $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

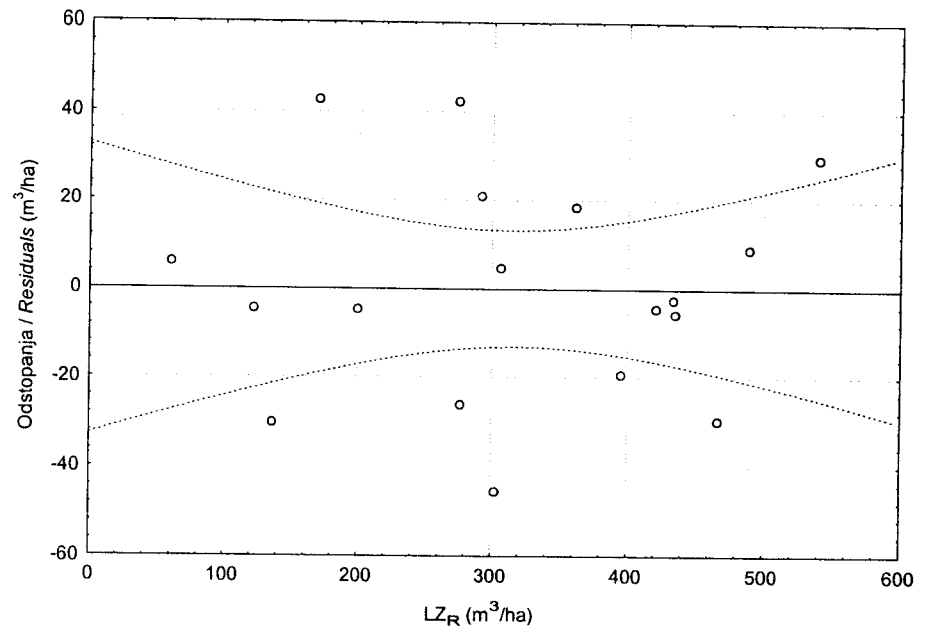
V modelu pojasni največ variabilnosti spremenljivka  $H_{dF}^2$ , saj je logično, da se lesna zaloga veča z naraščanjem drevesnih višin (grafikon 3). Zaradi dobre korelacije bi lahko uporabili tudi model, v katerem bi uporabili samo  $H_{dF}^2$ .

Spremenljivka  $Z_F^3$  tudi pozitivno vpliva na zvišanje lesne zaloge (grafikon 4). Spremenljivka  $H_{dF}S_F$  pa v tem modelu deluje korektivno, ker znižuje vrednost lesne zaloge, saj obstaja negativna korelacija (grafikon 5).



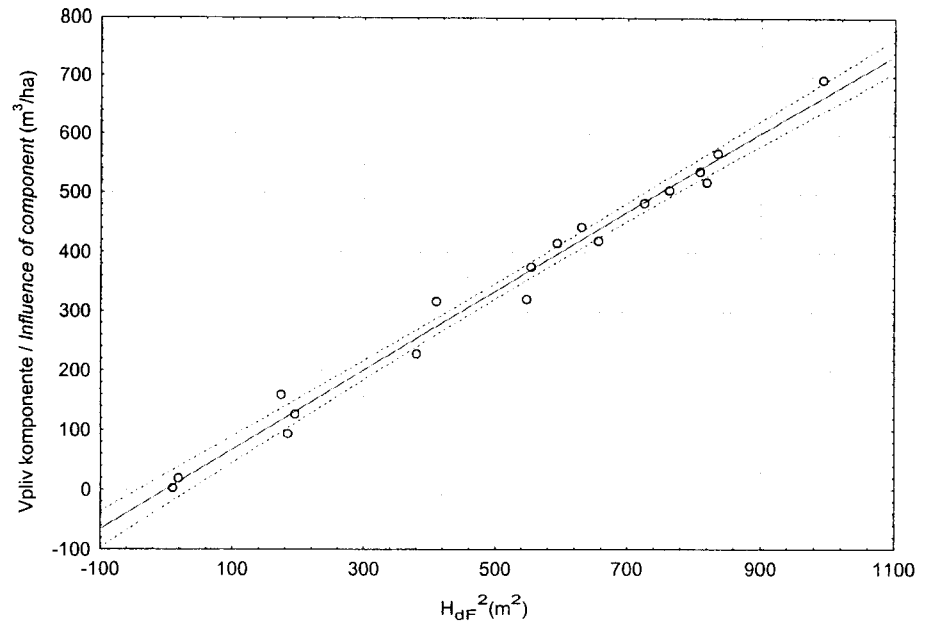
Grafikon 1: Lesna zaloga: Primerjava terenskih vrednosti in regresijskih vrednosti za ocenjeno lesno zalogo v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

Graph 1: Timber volume: Terrestrial and regression values comparison



Grafikon 2: Lesna zaloga: Odstopanja meritev od regresijskega modela za ocenjeno lesno zalogo v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

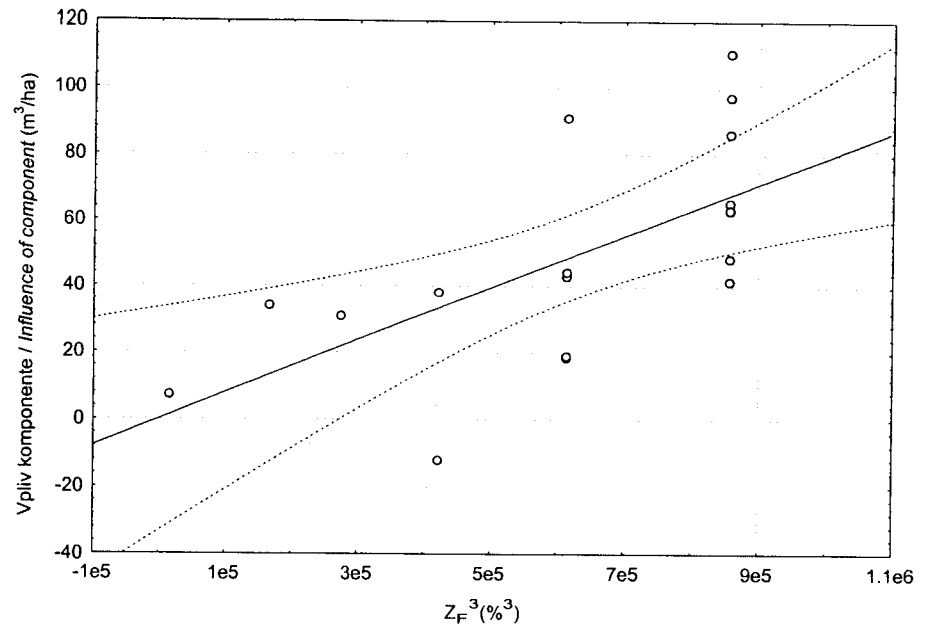
Graph 2: Timber volume: Residuals



Grafikon 3: Vpliv komponente  $H_{dF}^2$  na  $LZ_T$  za ocenjeno lesno zalogo v učnem gozdu  
Meja Hrastičje leta 1998

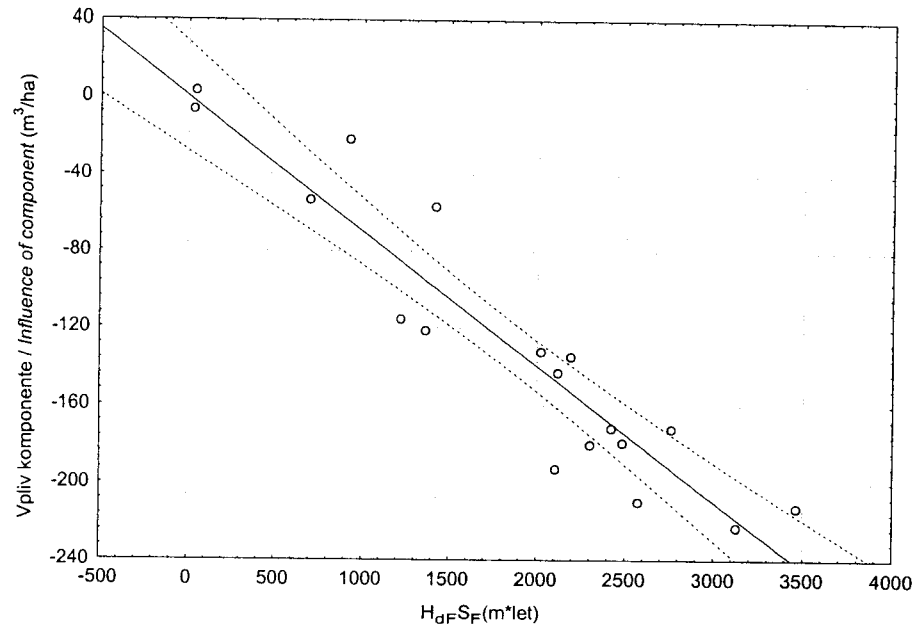
Graph 3: Influence of component  $H_{dF}^2$  on component  $LZ_T$





Grafikon 4: Vpliv komponente  $Z_F^3$  na  $LZ_T$  za ocenjeno lesno zalogo v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

Graph 4: Influence of component  $Z_F^3$  on component  $LZ_T$



Grafikon 5: Vpliv komponente  $H_{dF}S_F$  na  $LZ_T$  za ocenjeno lesno zalogo v učnem gozdu Meja Hrastičje leta 1998

Graph 5: Influence of component  $H_{dF}S_F$  on component  $LZ_T$

#### 4.4 IZRAČUN KORIGIRANE VREDNOSTI LESNE ZALOG TIMBER VOLUME CORRECTION CALCULATION

Lesno zalogo izračunamo pri dvofaznih vzorčenjih na naslednji način (HOČEVAR 1995):

$$\bar{y} = \bar{y}_2 + b_n (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad s_y = \frac{s_y}{\sqrt{n_2}} \sqrt{1 - R^2 \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)}$$

kjer je:

$b_n$  - regresijski koeficient / regression coefficient,

$n_1$  - število vzorcev prve faze / number of first phase samples,

$n_2$  - število vzorcev druge faze / number of second phase samples,

R - koeficient korelacije / *correlation coefficient*,

$s_y$  - standardni odklon / *standard deviation*,

$x_1$  - ocena srednje vrednosti pomožnega podatka na osnovi vseh vzorcev 1. faze / *estimation of the mean value of the additional data based on first phase samples*,

$x_2$  - ocena srednje vrednosti pomožnega podatka na osnovi podvzorcev 2. faze / *estimation of the mean value of the additional data based on second phase samples*,

$y$  - ocena srednje vrednosti ciljnega podatka populacije / *estimation of the mean value of the target data*,

$y_2$  - ocena srednje vrednosti ciljnega podatka na osnovi podvzorcev 2. faze / *estimation of the mean value of the target data based on second phase subsample*.

$$LZ_R = LZ_2 + b_1 (H_{df1}^2 - H_{df2}^2) + b_2 (Z_{F1}^3 - Z_{F2}^3) - b_3 (H_{df1} S_{F1} - H_{df2} S_{F2})$$

$$LZ_R = 277,99 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

$$S_y = 9,15 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Rezultate smo zapisali v preglednico (preglednica 5).

Preglednica 5: Ocena lesne zaloge za učni gozd Meja Hrastičje v letu 1999.

Table 5: Timber volume estimation

Način izmere / <i>Measurement type</i>	LZ	s	SE	SE %	E	E %
Terestrično / <i>Terrestrial</i>	315,94	140,4	33,08	10,5	66,16	20,9
Izboljšana ocena / <i>Improved value</i>	277,99	-	9,15	3,3	18,3	6,3

Legenda/Legend:

LZ - lesna zaloga ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) / *timber volume (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ )*,

s - standardni odklon ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) / *standard deviation (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ )*,

SE - standardna napaka ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) / *standard error (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ )*,

SE % - standardna napaka (%) / *standard error (in %)*,

E - dopustna vzorčna napaka pri 5 % tveganju ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) / *confidence limit at 5% (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ )*,

E % - dopustna vzorčna napaka pri 5 % tveganju (%) / *confidence limit at 5% (in %)*.

Terestrično izmerjeno lesno zalogo  $315,94 \text{ m}^3/\text{ha}$  smo s pomočjo regresije korigirali na  $277,99 \text{ m}^3/\text{ha}$ , standardno napako pa znižali z 10,5 % na 3,3 %. V našem primeru so terenske meritve odstopale od korigirane vrednosti lesne zaloge za  $37,95 \text{ m}^3/\text{ha}$ . K izboljšanju je največ pripomogla spremenljivka  $H_{df}^2$ , saj je znižala lesno zalogo za 47,19

$\text{m}^3/\text{ha}$ . Spremenljivka  $Z_F^3$  je znižala lesno zalogo za dodatnih  $5,02 \text{ m}^3/\text{ha}$ , spremenljivka  $H_{\text{dF}}S_F$  pa je korigirala lesno zalogo za  $14,26 \text{ m}^3/\text{ha}$  navzgor.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPNE UGOTOVITVE DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Z digitalnim analitičnim stereoploterjem smo merili dominantno višino in ocenjevali mešanost, zastornost in starost sestojev. Ker je teren raven, smo lahko predpostavili, da ležijo vsa dnišča dreves na isti nadmorski višini  $364 \text{ m}$  in tako smo rešili tudi problem nevidljivosti drevesnih dnišč. Merili smo samo višine krošenj in od te višine odšteli privzeto nadmorsko višino dnišč. Najvišja fotogrametrično izmerjena višina drevesa znaša  $39,72 \text{ m}$ , terensko izmerjena na terenskih vajah leta 1996 pa  $34,2 \text{ m}$ . Višino smo uporabili posredno za izračun lesne zaloge kot pomožen dendrometrijski element v regresiji za izboljšanje ocene. Zato nas je zanimala predvsem relativna vrednost, ne toliko absolutna.

Ocena mešanosti je nezanesljiva predvsem v mlajših razvojnih fazah. Izboljšali bi jo z uporabo *CIR* posnetkov.

Zastornost smo ocenjevali glede na drevesa, ki tvorijo streho sestoja. Natančnost bi izboljšali z uporabo rastra, ki pa bi precej poslabšal zaznavo prostorskega (3D efekt) modela. Velika zastornost ne pomeni nujno tudi velike lesne zaloge. Mlajše razvojne faze imajo namreč kljub veliki zastornosti majhno lesno zalogo. Obratno pa je pri starejših, vrzelastih sestojih in sestojih v obnovi, kjer je zastornost razmeroma nizka, lesna zaloga pa visoka. Ta problem bi rešili, če bi površino razdelili na inventurno in neinventurno. Inventurno bi predstavljal merski gozd (prsni premer nad  $10 \text{ cm}$ ), neinventurno pa mlajše razvojne faze (prsni premer pod  $10 \text{ cm}$ ). Inventuro bi opravili samo na inventurni površini.

Starost oziroma razvojno fazo smo ocenjevali glede na višino dreves in na širino in razvitost krošenj. Vzorci prve faze zavzemajo površino  $11,55 \text{ ha}$ , kar predstavlja dobrih  $12 \%$  celotne površine.

Po literaturi (HOČEVAR 1995) bi pri dopustni napaki  $E = \pm 5 \%$  in pri  $r^2 = 0,96$  ter predpostavki, da je snemanje na posnetkih 25 krat cenejše, potrebovali 360 fotogrametričnih vzorcev in 18 terestričnih vzorcev, pri stroškovno bolj ugodnem razmerju v korist fotogrametričnih vzorcev pa še manj le-teh.

Razmerje med vzorci prve in druge faze je 385 proti 18 oziroma 21 proti 1. V našem primeru smo zaradi homogenega gozda vzeli preveliko število fotogrametričnih vzorcev (1. faza) glede na število vzorcev na terenu.

Regresija je pokazala, da je vrednost terensko izmerjene lesne zaloge v zelo dobri ( $r^2 = 0,97$ ) korelaciji s fotogrametrijsko izmerjeno drevesno višino (kvadratom) in ocenjeno starostjo ter zastornostjo oziroma produktom med drevesno višino in starostjo ter zastornostjo (na tretjo potenco). Korelacija med lesno zalogo in mešanostjo ni bila statistično značilna, zato je nismo uporabili. S kontrolno metodo ocenjena lesna zaloga je  $315,94 \text{ m}^3/\text{ha}$  s standardno napako  $\pm 33,08 \text{ m}^3/\text{ha}$  (10,5 %). S pomočjo regresije popravljena ocena lesne zaloge pa je  $277,99 \text{ m}^3/\text{ha}$  s standardno napako  $\pm 9,15 \text{ m}^3/\text{ha}$  (3,3 %).

Pravilnik (1998) zahteva, da vzorčna napaka ocene lesne zaloge za gozdove, za katere se lesna zaloga ugotavlja z vzorčnimi metodami, pri tveganju 5 % na ravni gospodarske enote ne sme presegati 10 %, na ravni posameznega gospodarskega razreda pa praviloma ne 15 %. V našem primeru smo z uporabo dvofazne fototerestrične inventure vzorčno napako s  $66,16 \text{ m}^3/\text{ha}$  (21 %) popravili na  $18,3 \text{ m}^3/\text{ha}$  (7 %) pri 5 % tveganju.

Sklenemo lahko, da se je dvofazna fototerestrična inventura izkazala za uspešno. Fototerestrična metoda je izredno zanimiva, saj zmanjšuje porabo časa in stroškov pri pridobivanju podatkov, hkrati pa izboljšuje oceno vrednosti ciljnega podatka. Potrebno pa bi bilo ugotoviti, kolikšen je ta prihranek.

## 6 POVZETEK

Na 93,55 ha velikem gozdu smo preizkusili dvofazno fototerestrično metodo inventure gozdnih sestojev. S pomočjo digitalnega stereoploterja in ČB letalskih posnetkov iz leta 1997 smo postavili prostorski model gozda. V prvi fazi smo na tem modelu izbrali 385 vzorcev, velikih tri are in razporejenih na mreži 50 krat 50 metrov. Izmerili smo dominantno višino in ocenili mešanost, zastornost in starost. V drugi fazi pa smo na 18-ih terenskih vzorcih, velikih tri in šest arov, izvedli terensko snemanje in izračunali oceno lesne zaloge po načelih kontrolne metode. S kontrolno metodo ocenjena lesna zaloga je 315,94 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 33,08 m<sup>3</sup>/ha. Izračunali smo regresijsko povezavo med terensko ugotovljeno lesno zalogo in na fotovzorcih merjeno dominantno višino, starostjo sestojev in zastornostjo. Regresijska enačba je  $LZ_T = 50,045 + 0,669373 * H_{dF}^2 + 0,0000791168 * Z_F^3 - 0,0698817 * H_{dF}S_F$  pri  $r^2 = 0,9689$ . S pomočjo regresije popravljena ocena lesne zaloge je 277,99 m<sup>3</sup>/ha s standardno napako 9,15 m<sup>3</sup>/ha.

## 7 SUMMARY

*The two-phased photo-terrestrial inventory method of forest stands was tested in an area of 93,55 ha area. A stereo model of forest was set up on digital analytical stereo plotter using black and white aerial-photographs from the year 1997. Photo samples (385) were chosen on a grid of 50 x 50 meters in the first phase. The dominant tree height was measured and shares of conifers, crown covers percentage and stand ages were estimated in each sample. Terrestrial samples (18) were chosen from photo samples where timber volume was estimated by terrestrial control method in the second phase. The estimation of timber volume was 315,94 m<sup>3</sup>/ha with a standard error of 33,08 m<sup>3</sup>/ha according to the terrestrial sample. We calculated the regression between terrestrial-based estimation of timber volume and photo-based measured dominant tree height, ages and crown cover percentage. The regression equation was  $LZ_T = 50,045 + 0,669373 * H_{dF}^2 + 0,0000791168 * Z_F^3 - 0,0698817 * H_{dF}S_F$  by  $r^2 = 0,9689$ . The improved estimation of timber volume was 277,99 m<sup>3</sup>/ha with standard error of 9,15 m<sup>3</sup>/ha after using the regression.*

## 8 VIRI REFERENCES

- BEISCH, T. / EILERMANN F., 1996. CIR-Luftbilder aus Hochbefliegungen zur Vorrats - und Zuwachsschätzung.- Forstarchiv, 67, s. 3-7.
- DE GIER, A. / STELLINGWERF, D., 1992. Two-phase regression estimate in a Stratified sampling design for timber volume determination.- ITC Journal, 3, s. 291-294.
- HOČEVAR, M., 1991. Obdelava in analiza podatkov kontrolne vzorčne inventure.- Seminarsko gradivo. Ljubljana, s. 2-23.
- HOČEVAR, M., 1995. Dendrometrija - gozdna inventura.- Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 274 s.
- KATSCH, CH., 1991. Rationalisierung von Waldinventuren auf Betriebsebene.- Allg.Forst-u. J.-Ztg., 162, 9, s.161-165.
- KUŠAR, G., 2000. Fototerestrična inventura gozdnih sestojev.- Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 88 s.
- MARVIE-MOHADJER, M. R. / ZOBEIRY, M., 1985. Waldbaulicher Zustand und Volumenbestimmung der Eichenwalder Westirans.- Schweiz. Z. Forstwes.,136, 3, s. 225-234.
- DiAP Users guide.- 1997. Vancouver, ISM.
- Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. 1998.- Ur.l.RS 5, s. 256-282.
- The Fundamentals of Digital Photogrammetry.- 1997. Vancouver, ISM.

