

GDK: 58 + 59 : 383

Prispelo/Received: 9.8.2001  
Sprejeto/Accepted: 28.8.2001

Izvirni znanstveni članek  
Original scientific paper

## PRIDOBIVANJE PROSTORSKIH PODATKOV V GOZDARSTVU S POMOČJO GPS

Igor KOPŠE\*, Milan HOČEVAR\*\*

Izvleček:

Globalni pozicijski sistem je sodobno orodje za pridobivanje ažurnih in natančnih prostorskih podatkov v gozdarstvu. Natančnost GPS meritev niha v odvisnosti od metode dela in zunanjih dejavnikov, med 1 in 13 metri. Pri optimalni metodi (diferencialna korekcija, dobra konstelacija satelitov, čas snemanja nad 1 minuto) je tudi v gozdu mogoče izvajati meritve s pozicijsko napako pod 5 m. S tako natančnostjo lahko zadovoljimo večino gozdarskih potreb, saj digitalni ortofoto v merilu 1:5000 ali 10000 nudi podobno natančnost, topografske karte, ki jih v gozdarstvu uporabljamo pa so pogosto precej manj natančne in tudi neažurne. GPS se je izkazal kot uporaben pri vzdrževanju tematskih kart, posebej pri kartiranju gozdnih cest. Z uporabo GPS pri določanju oslonilnih točk v aerofotogrametriji lahko bistveno izboljšamo natančnost ortofoto kart. Rezultate merenj z GPS se relativno hitro in preprosto vgradi v obstoječi geografski informacijski sistem.

Ključne besede: GPS, gozdna cesta, kartiranje cest, digitalna ortofotogrametrija, geografski informacijski sistem, pridobivanje podatkov

## ACQUIRING OF SPATIAL DATA IN FORESTRY WITH GPS

*Abstract:*

*Global positioning system is contemporary tool for acquiring up-to-date and precise spatial data in forestry. Accuracy of GPS measurements alternate between 1-15 meters, depending on work method and outer conditions. With use of differential correction accuracy is increased to range of 1-5 meters. Most of needs can be covered in forestry with this range of accuracy. Digital orthofoto map in scale of 1:5000 and 1:10000 offer similar accuracy. Topographic maps used in forestry are often old and less accurate. GPS was proven as useful with renewal of thematic maps, specially with forest road mapping. Usage of GPS for acquiring ground control points in fotogrametry can significantly increase accuracy of ortofoto maps. The results of GPS measurement can be relatively easy and fast integrated in existing geographic information system.*

*Key words: GPS, forest road, road mapping, digital ortho-photogrammetry, geographic information systems, data acquiring*

---

\* 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.....                        | 7  |
| <b>2</b> | <b>NAMEN IN CILJI RAZISKAVE</b>          |    |
|          | PURPOSE AND GOALS OF INVESTIGATION ..... | 8  |
| <b>3</b> | <b>METODE DELA</b>                       |    |
|          | WORKING METHODS .....                    | 9  |
| <b>4</b> | <b>REZULTATI RAZISKAVE</b>               |    |
|          | RESEARCH RESULTS.....                    | 14 |
| <b>5</b> | <b>RAZPRAVA</b>                          |    |
|          | DISCUSSION .....                         | 23 |
| <b>6</b> | <b>POVZETEK</b> .....                    | 28 |
| <b>7</b> | <b>SUMMARY</b> .....                     | 29 |
| <b>8</b> | <b>VIRI</b>                              |    |
|          | REFERENCES.....                          | 31 |

## **1 UVOD**

### **INTRODUCTION**

Z razvojem sodobnih tehnologij, računalnikov, daljinskega pridobivanja podatkov, prostorskih informacijskih sistemov (GIS) se načini dela na posameznih področjih močno spreminjajo. Med njimi je tudi gozdarstvo, saj prilagajanje modernim tehnološkim sredstvom in uporaba vedno zmogljivejših računalniških sistemov navadno pomeni racionalizacijo dela in dvig kakovosti pridobljenih podatkov. Zbiranje podatkov in njihova vključitev v razvejan gozdarski informacijski sistem je trajna naloga sodobnega gozdarstva. Trajna naloga je predvsem zaradi značaja nekaterih podatkov, ki jih zbiramo, saj nekateri s časom zastarajo in s tem izgubijo na informativni vrednosti.

Med sodobne tehnologije v naglem razvoju spadajo tudi globalni pozicijski sistemi, ki jih največkrat označujemo kar s kratico GPS. Razvoj tehnologije gre v smer vse večje natančnosti, številnih možnosti aplikativne uporabe pridobljenih podatkov in prijaznosti uporabniku. Vse dostopnejše postajajo tudi cene, saj so na trgu razmeroma dobri aparati že za manj kot 100 \$, kar odpira vrata za široko uporabo tudi na različnih področjih v gozdarstvu. Najsodobnejše naprave GPS so danes že sposobne doseči milimetrsko natančnost pri določanju lege točk, vendar so te še zelo drage in v gozdnem okolju manj uporabne zaradi velike občutljivosti na motnje signala zaradi vegetacije. Na tržišču se pojavljajo dostopnejše naprave GPS, katerim natančnost meritev niha, v odvisnosti od metode dela in zunanjih dejavnikov, med 1 in 5 metri. S tako natančnostjo lahko zadovoljimo večino gozdarskih potreb, saj digitalni ortofoto kot referenčna tehnika pridobivanja prostorskih podatkov nudi podobno natančnost, topografske karte, ki jih uporabljamo v gozdarstvu pa so pogosto precej manj natančne in tudi neažurne.

V gozdarski operativi je GPS po svetu uveljavljen že nekaj let. V ZDA ga uporabljajo od leta 1995, v Evropi pa prednjačita predvsem Nemčija in Avstrija, kjer si s tehnologijo GPS v gozdarstvu pomagajo nekje od leta 1996 (JANDL 1994 / KETTEMANN 1995 / EHGARTNER 1996 / ENGELS 2001). V Sloveniji se v operativi GPS še ne uporablja. Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo ga do sedaj uporabljali predvsem za določevanje koordinat oslonilnih točk za razpačenje digitalnih aeroposnetkov (BEHIN 1998) in v manjšem obsegu za določevanje koordinat stalnih inventurnih ploskev. S 1. majem 2000

so upravitelji sistema GPS opustili vnašanje namerne motnje v signal, ki je bistveno zmanjševala natančnost GPS pozicioniranja. Kljub temu pa so meritve z GPS brez uporabe metode diferencialne korekcije manj natančne kot z njo, saj le ta odpravi del slučajnih napak zaradi hrupa in odbojev signala v okolici. Eden od namenov tega prispevka je ugotoviti, s kakšnimi natančnostmi lahko operiramo po odpravljenju te motnje. Pričujoča raziskava predstavlja manjši del obsežnejšega projekta, znotraj te raziskave pa se v članku omejujemo predvsem na uporabo GPS pri pobiranju oslonilnih točk za potrebe digitalne ortofotogrametrije in uporabo GPS za kartiranje gozdnih cest ter s tem ažuriranje katastra gozdnih cest. Članek je razširjen povzetek diplomskega dela z naslovom: Možnosti uporabe GPS za pridobivanje prostorskih podatkov v gozdarstvu (KOPŠE 2000).

## **2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE** **PURPOSE AND GOALS OF INVESTIGATION**

Namen raziskovalnega projekta je bil, z nekaj izbranimi poskusi na terenu preveriti možnosti uporabe GPS v gozdarstvu ter pretehtati racionalnost uporabe v primerjavi z digitalno fotogrametrijo.

Konkretni cilji dela so:

- Ugotoviti natančnost določanja lokacije izbranih točk zunaj gozda (na odprtem terenu) in v gozdu za namene digitalne ortofotogrametrije, natančnega pozicioniranja inventurnih stalnih vzorčnih ploskev ter na drugih področjih, kjer se pojavlja potreba po določitvi natančnih koordinat točk.
- Ugotoviti možnosti in natančnost kartiranje gozdnih cest in s tem zasnove ter ažuriranje katastra gozdnih cest.
- Primerjati zajemanje prostorskih podatkov z GPS in digitalno ortofotogrametrijo kot referenčno tehniko pridobivanja prostorskih podatkov.

### **3 METODE DELA** **WORKING METHODS**

#### **3.1 RAZISKOVALNA OPREMA TER UPORABLJENI MATERIAL** **RESEARCH EQUIPMENT AND MATERIAL USED**

Terenske meritve smo opravili z napravo GPS znamke Trimble, model Pro XL, katere lastnik je Gozdarski inštitut Slovenije. Naprava je sestavljena iz treh kosov: sprejemnik v nahrbtniku, zbiralec podatkov oz. "dataloger" in antena. Anteno lahko postavimo v trinožno stojalo na teleskopske palice in jo tako privzdignemo do 2,5 m visoko, lahko jo prenašamo med hojo na nahrbtniku, ali pa pritrdimo na streho avtomobila. Za kabinetno obdelavo podatkov smo uporabili osebni računalnik pentium II, 166MMX in programsko opremo Pathfinder Office (Trimble Navigation Surveying & Mapping Division), ki je sestavni del tehnologije GPS. Za delo v okolju GIS oz. kartiranje smo uporabljali programa ArcView 3.1 ter ArcInfo 7.2.1 (oboje Environmental System Research Institute, Inc.). Za kabinetno obdelavo podatkov so nujni tudi korekcijski podatki baze postaje GPS, ki v trenutku našega merjenja beleži odstopanja od pravih vrednosti. Korekcijske podatke smo pridobivali prek elektronske pošte s Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

Uporabljali smo sprejemnik GPS, ki je sprejemal kodo nosilnega valovanja, ali t.i. kodo C/A (Coarse acquisition). Sprejemnik ni imel priključka za on-line diferencialno korekcijo oz. korekcijo v realnem času. Naknadno korekcijo meritev smo naredili s tako imenovano metodo "postprocessing".

Terenske metode dela s to napravo se ločijo na:

- a.) Statične metode dela
- b.) Dinamične oz. kinematične (inkrementalne) metode dela

Za statično metodo dela z GPS je značilno, da se sprejemnik med merjenjem ne premika. Ta metoda se uporablja za snemanje točk, linij in poligonov, in sicer takrat, kadar želimo natančnejše rezultate. Če merimo točko, se postavimo na njo in počakamo, da sprejemnik sprejme določeno število odčitkov, iz katerih nato izračuna povprečje. Pri dinamični

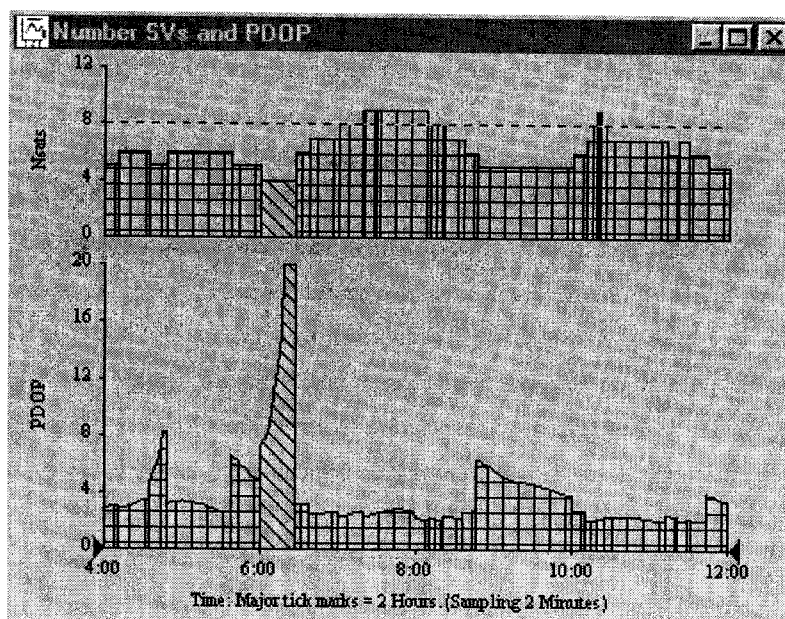
metodi sprejemnik med merjenjem ne miruje. Z anteno, pritrjeno na nahrbtniku ali avtomobilu, hodimo oz. se peljemo po liniji ali zaključenem poligonu. Sprejemnik GPS beleži pozicije in jih med seboj povezuje v linijo oz. površino. Ta metoda je posebej primerna za merjenje cest, poti in površin nepravilnih oblik, kot npr. pomladitveno jedro. Za vse točkovne objekte, ki jih merimo s statično metodo, je potrebno odčitati neko minimalno število pozicij. Preizkušanje GPS-a smo razdelili na merjenje dveh elementov v prostoru:

- a.) točke
- b.) linije

V okviru snemanja točk so nas zanimali predvsem objekti, ki jih na kartah označujemo s točko in jih kot take lahko lociramo s koordinatami  $x$ ,  $y$ , in  $h$ . Taki objekti so oslonilne točke za ortorektifikacijo aeroposnetkov, centri stalnih vzorčnih ploskev, razni objekti naravne in kulturne dediščinem, kot npr. izjemna drevesa, rastišče redkih in ogroženih rastlinskih in živalskih vrst, vhodi v podzemne jame, brezna, vodni izviri, gozdarske kočice, lovske preže, itd., skratka, vse kar leži v gozdu oz. je povezano z gozdarstvom in z zbiranjem informacij za obnavljanje oz. širjenje gozdarskega informacijskega sistema.

Pri snemanju linij smo se osredotočili predvsem na snemanje gozdarskih cest, kjer lahko trdimo da je sestojni sklep pretrgan, zanimalo pa nas je tudi snemanje tistih linijskih objektov, ki ležijo pod sklenjenim zastorom krošenj, kot na primer: traktorske vlake, gozdne učne poti, rekreacijske poti, gozdni rob itd.

Vsako terensko meritev smo predhodno skrbno načrtovali. Za planiranje smo uporabljali program Quickplan (Trimble Navigation Surveying & Mapping Division), ki predstavlja modul v sklopu programske opreme GPS. Program v najrazličnejših grafičnih oblikah postreže s prikazi gibanja ključnih snemalnih parametrov, kot so: število vidnih satelitov, njihova lega na nebu v danem trenutku oz. konstelacija in podobno. Za najugodnejši trenutek smo presodili takrat, ko je na nebu vidnih največ satelitov ( $N_{sats}$ ) ob najmanjši vrednosti PDOP (Position dilution of precision). Vrednost PDOP je brez enot in predstavlja konstelacijske razmere med sprejemnikom in sateliti. Manjša je vrednost PDOP, natančnejše so praviloma meritve. Teoretično najmanjša vrednost PDOP znaša 1, praktično pa se dosežejo najnižje vrednosti med 1.8 ter 2.0.



Slika 1: Planiranje časa terenskim meritev s pomočjo programa Quickplan. Program prikaže število vidnih satelitov v danem trenutku ter vrednost PDOP. Plan je narejen za območje Trzina, dne 10.6.2001.

Figure 1: Planning of survey time with Quickplan software. The software provides a number of visible satellites and PDOP value at a given moment. The Survey plan refers to Trzin area on the 10<sup>th</sup> of June 2001.

Meritve točkovnih objektov smo opravili v mesecu juniju l.2001, medtem ko smo linijske objekte v celoti posneli v decembru l.1999. Da bi ugotovili, s kakšno natančnostjo lahko delamo v gozdnem okolju, smo meritve opravili na dveh geodetskih trigonometričnih točkah IV reda, ki ležita na prostem (Trzin) in v gozdu (Rožnik). Pri merjenju teh točk smo uporabili statično metodo merjenja s povprečenjem odčitanih pozicij. Zanimala nas je natančnost meritev v odvisnosti od metode dela, konstelacije satelitov, dolžine časovnega intervala, v katerem merimo, in zastrtosti točke. Metodo dela smo razdelili na snemanje brez pomoči diferencialne korekcije oziroma z njo (KOREKCIJA=1, KOREKCIJA=2). Vpliv konstelacije smo skušali opredeliti tako, da smo isto točko izmerili v dveh različno ugodnih obdobjih, to je najbolj ugodnem in najmanj ugodnem obdobju za snemanje, glede na predhodno načrtovanje s programom Quickplan

(KONSTELACIJA=1, KONSTELACIJA=2). Za najbolj ugodne pogoje smo privzeli stanje, ko se je vrednost PDOP gibala pod 4, medtem ko se je pri najmanj ugodnih razmerah gibala med 4 in 12. Ker je pričakovati, da se bo z daljšanjem snemanja ene točke natančnost povečevala, smo vsako točko izmerili s 15 sekundnim intervalom, 1 ter 5 minutnim intervalom (ČAS=0.25, ČAS=1, ČAS=5). Vpliv motenj zaradi zastora krošenj smo skušali zajeti tako, da smo izmerili eno točko na prostem ter eno v gozdu (LEGA=1, LEGA=2). Meritve smo v vsakem od danih pogojev ponovili petkrat. Pri vseh meritvah smo imeli GPS nastavljen na 1 sekundni interval, kar pomeni, da v 1 minuti pozicijo odčita 60 krat. Pri vseh meritvah smo poskušali upoštevati enako masko GPS. Pod masko GPS je mišljena nastavitvev snemalnih parametrov. Pri vseh točkah smo merili s sledečo masko: SNR\* = 6, PDOP = 4 in 12, višina antene = 2.5 m, elevacijski naklon\*\* > 15°, minimalno število odčitkov = 10, position mode\*\*\* = 3D.

Pri snemanju gozdnih cest z GPS smo poskušali zajeti naslednje dejavnike. Glede na plan gibanja satelitov (število in konstelacija) smo gozdno cesto posneli vedno v najugodnejšem delu dneva (KONSTELACIJA=1). Za primerjavo, smo nekaj istih cest posneli tudi v manj ugodnih razmerah. Pri izbiri gozdnih cest smo težili k temu, da smo v izmero zajeli ceste na vseh straneh neba. To pomeni, da smo izmerili ceste na ravnem in razgibanem reliefu, v primeru razgibanega-hribovitega reliefa pa na vseh ekspozicijah. Če ni bilo mogoče zajeti vseh glavnih strani neba, smo v izmero poskusili vključiti vsaj ceste na severni in južni legi, saj je pričakovati, da je med tema legama razlika največja. Naslednji dejavnik, ki smo ga poskušali zajeti v izmero, je tip vegetacije. Tip vegetacije smo preprosto razdelili na iglavce in listavce. Domnevali smo, da bo med iglavci in listavci določena razlika, saj je zastrtost tal pozimi v listnatih gozdovih veliko manjša od

---

\* SNR (Strenght to Noice Ratio) je minimalna jakost signala, ki ga sprejemnik GPS pri meritvi upošteva.

\*\* z elevacijskim naklom sprejemnik GPS odreže vse nižje ležeče satelite na horizontu od nastavljenega kota

\*\*\* Postion mode = 3D pove, da GPS upošteva le meritve 4 satelitov ki dajo tridimenzionalno pozicijo (x,y,h). Možno je meriti tudi v 2D opciji, kjer z upoštevanjem le treh satelitov (v težkih razmerah) dobimo dvodimenzionalno pozicijo (x,y).



iglastih, ki pozimi ohranijo enako zastrtost kot poleti. Da bi zajeli v izmero vse dejavnike, smo izmerili v skupni dolžini približno 32 km gozdnih cest. Večina cest je na območju Postojne, in sicer na planoti med Uncem in Planino, ter na severni strani Javornikov okoli smučišča Kalič. Snemanje cest smo izvedli s pomočjo avtomobila z dinamično oz. kinematično metodo. Z na strehi pritrjeno anteno smo se peljali po sredini gozdne ceste in v primeru slabšega signala vožnjo nekoliko upočasnili, ali pa povsem ustavili. Ob spremembi katerega od dejavnikov, npr. da se je obrnila lega ceste, smo cesto segmentirali, kar pomeni, da smo danemu segmentu linije spremenili ključne atributivne znake. Med snemanjem linij smo zbirali sledeče attribute:

- a) tip ceste (lokalna cesta, gozdna cesta, traktorska vlaka, gozdna pot, drugo)
- b) širina (m)
- c) ekspozicija (J, S, VZ, ZH)
- d) vrsta gozda (golo, listnat gozd, iglast gozd)
- e) opombe

Maska snemanja je med meritvami imela sledeče nastavitve: SNR = 6, PDOP = 20, elevacijski naklon = 15°, višina antene = 2.5 m, position mode = 3D in časovni interval pobiranja pozicijskih odčitkov = 1s.

Po končanem terenskem snemanju smo podatke iz prenosnega računalnika (datalogger) prenesli v PC in jih obdelali. Prva faza kabinetne obdelave podatkov predstavlja obdelavo podatkov z metodo diferencialne korekcije. V naslednji fazi smo izmerjene objekte oskrbeli s kompletno bazo atributivnih znakov. Celotno bazo podatkov smo prenesli v Gauss-Kruegerjev pravokotni koordinatni sistem in pretvorili v format, ki je ustrezal za nadaljnjo obdelavo prostorskem informacijskem sistemu v ARC INFO. Vse nadaljnje grafično oblikovanje in manipulacija s podatki poteka v programih GIS. Uporabljali smo program ArcView, ki nam je omogočil primerjavo ter interpretacijo meritev GPS z digitalno ortofoto karto (DOF) v merilu 1:5000 ter skenogrami TTN M=1:5000. Na podlagi merjenj razdalj med prekrivajočim se, z GPS izmerjenim objektom, in taistim objektom, prepoznavnim na DOF, smo ugotavljali natančnost in primernost GPS za kartiranje linij ter poligonov. Posebej nas je zanimalo ujemanje linije GPS gozdne ceste z

linijo ceste, razpoznavne na digitalni ortofoto karti. V ta namen smo vsem izmerjenim cestam, ki so bile na DOF prepoznavne, poskušali določiti odstopanje in ga pojasniti. Kjer je bila cesta na DOF nedvoumno razpoznavna, smo na vsakih 50-60 m izmerili odstopanje linije GPS od sredine ceste na DOF ter zabeležili koordinato merjenja. Za primerjavo uporabnosti določanja poteka ceste med GPS in ortofotom, smo določili cesto, kjer je bilo to možno z ekransko interpretacijo v programu ArcView.

#### **4 REZULTATI RAZISKAVE RESEARCH RESULTS**

##### **4.1 REZULTATI MERITEV POZICIJSKE NATANČNOSTI NA TRIGONOMETRIČNIH TOČKAH RESULTS OF PRECISION POSITION ON TRIGONOMETRIC POINTS**

Rezultati študije kažejo, da je natančnost meritev dosegla raven, ki je tudi pri uporabi razmeroma enostavnih metod primerljiva z natančnostjo kart. Presenetljivo dobri so sedaj tudi rezultati meritev brez uporabe diferencialne korekcije, ki so še v bližnji preteklosti bili uporabni samo v popotništvu. Tako smo na prostem v vseh razmerah dosegli natančnosti pod 5 metri, v gozdu pa pod 13 metri (preglednica 1).

Rezultati meritev so predstavljeni v preglednicah 1 do 3 in na slikah 2 in 3. Podane so srednje vrednosti in statistični kazalci za pozicijsko napako kot dvodimenzionalen vektor v metrih za ravninsko odstopanje.

Preglednica 1: Statistični kazalci pozicijske natančnosti GPS meritev v odvisnosti od lege točke (lega 1=odprto, lega 2=zastrito).

Table 1: Statistical parameters for position accuracy of GPS depending on position of point (position 1=open, position 2=curtained)

|                                  | Lega=1<br>Position=1 | Lega=2<br>Position=2 | Vse<br>All |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------|
| Štev.meritev / Count             | 58                   | 61                   | 119        |
| Povprečje / Average (m)          | 1,898                | 4,425                | 3,193      |
| Stand. odk. / Stand. Dev.        | 0,762                | 2,584                | 2,299      |
| Stand. nap. / Standard err.      | 0,100                | 0,331                | 0,211      |
| Minimum / Minimum (m)            | 0,63                 | 0,84                 | 0,63       |
| Maksimum / Maximum (m)           | 4,14                 | 12,95                | 12,95      |
| Koef. variacije / Coeff. of var. | 40,14%               | 58,40%               | 71,99%     |

Statistični kazalci rezultatov snemanja za posamezne variante, ki smo ga zastavili kot 4-faktorski poskus s 5 ponovitvami so predstavljeni v preglednici 2. Pomen faktorjev (lega, konstelacija satelitov) ter korekcijske metode za natančnost določanja lokacije točk s predstavljeno tehnologijo GPS je visoko značilen. (F-vrednosti>30.0, verjetnost pomote  $p<0.0001$ ). Največji vpliv na natančnost meritev ima faktor LEGA (F=95.83), ki mu sledita faktorja KOREKCIJA (F=48.32) in KONSTELACIJA satelitov (F=15.50). Manj razpoznaven je pomen časa snemanja (ČAS), ki na ravni glavnih učinkov ni značilen, vrednost  $p=0.117$  pa le kaže na določen vpliv, ki se pokaže kot značilna interakcija (AB), to je v kombinaciji LEGA x ČAS. ( $p=0.02$ ). Od interakcij so značilne še kombinacije AC (LEGA x KOREKCIJA) in AD (LEGA X KONSTALACIJA) ter CD (KOREKCIJA x KONSTALACIJA)

Preglednica 2: Analiza variance za pozicijsko napako v danih pogojih in njihove interakcije  
 Table 2: Analysis of Variance for position error in a given conditions and their interaction

| Pogoji<br>Source                      | Vsote kvadratov<br>Sum of Squares | Df<br>Df   | Srednji kvadrati<br>Mean Square | F-razmerje<br>F-Ratio | P-vred.<br>P-Value |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>GLAVNI UČINKI / MAIN EFFECTS</b>   |                                   |            |                                 |                       |                    |
| <b>A:LEGA / POSITION</b>              | <b>189.024</b>                    | <b>1</b>   | <b>189.024</b>                  | <b>95.83</b>          | <b>0.0000</b>      |
| B:ČAS / TIME                          | 8.63408                           | 2          | 4.31704                         | 2.19                  | 0.1176             |
| <b>C:KOREKCIJA / CORRECTION</b>       | <b>95.132</b>                     | <b>1</b>   | <b>95.132</b>                   | <b>48.23</b>          | <b>0.0000</b>      |
| <b>D:KONSTELACIJA / CONSTELATION</b>  | <b>30.5731</b>                    | <b>1</b>   | <b>30.5731</b>                  | <b>15.50</b>          | <b>0.0002</b>      |
| <b>INTERAKCIJE / INTERACTIONS</b>     |                                   |            |                                 |                       |                    |
| AB                                    | 15.5263                           | 2          | 7.76316                         | 3.94                  | 0.0227             |
| AC                                    | 27.9861                           | 1          | 27.9861                         | 14.19                 | 0.0003             |
| AD                                    | 20.062                            | 1          | 20.062                          | 10.17                 | 0.0019             |
| BC                                    | 1.81405                           | 2          | 0.907026                        | 0.46                  | 0.6327             |
| BD                                    | 8.93943                           | 2          | 4.46972                         | 2.27                  | 0.1092             |
| CD                                    | 10.8409                           | 1          | 10.8409                         | 5.50                  | 0.0211             |
| ABC                                   | 3.07468                           | 2          | 1.53734                         | 0.78                  | 0.4615             |
| ABD                                   | 9.50824                           | 2          | 4.75412                         | 2.41                  | 0.0952             |
| ACD                                   | 3.71628                           | 1          | 3.71628                         | 1.88                  | 0.1730             |
| BCD                                   | 0.679112                          | 2          | 0.339556                        | 0.17                  | 0.8421             |
| <b>OSTANEK / RESIDUAL</b>             | <b>191.327</b>                    | <b>97</b>  | <b>1.97244</b>                  |                       |                    |
| <b>TOTAL (KORIGIRANO / CORRECTED)</b> | <b>623.583</b>                    | <b>118</b> |                                 |                       |                    |

Skupno smo testirali 24 različnih metod in postopkov. Dosežena pozicijska natančnost za posamezne kombinacije je predstavljena v preglednici 3. Poleg ocene srednje pozicijske napake vsebuje preglednica tudi bistvene statistične kazalce za oceno zanesljivosti rezultatov meritev. Preglednica vsebuje vse ocene srednjih vrednosti za glavne učinke, medtem ko od interakcij navajamo le značilne kombinacije.

Za oceno primerne tehnologije snemanja je izrednega pomena analiza faktorja LEGA, ki je edini, na katerega neposredno ne moremo vplivati, v gozdarstvu pa je še posebno pomemben, ker se njegova vrednost spreminja od polnega zastora do odprtega prostora.

Preglednica 3: Ravninska pozicijska odstopanja meritev GPS v danih pogojih z 95% intervali zaupanja

Table 3: Least Square Means for position error with 95.0 Percent Confidence Intervals

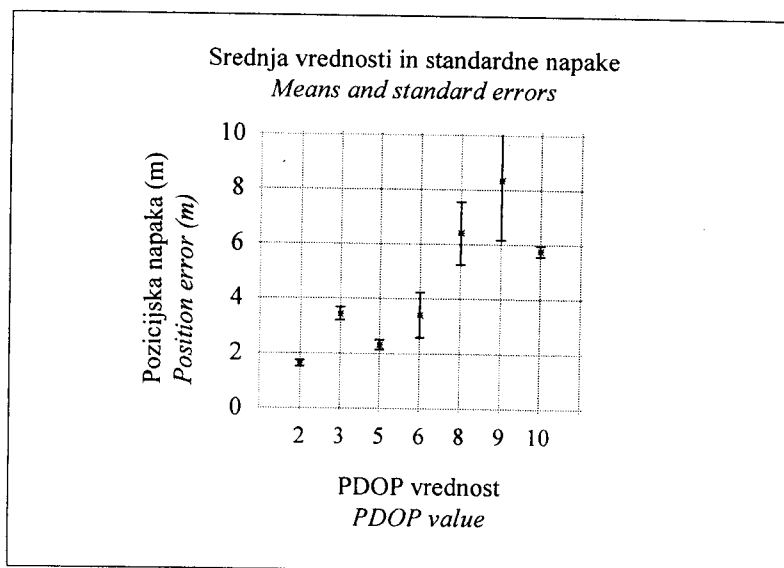
| Pogoji   | Število meritev | Srednja vrednost | Stand. napaka     | Meje zaupanja      |                    |         |
|--|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|
| <i>Level</i>   | <i>Count</i>    | <i>Mean</i>      | <i>Std. Error</i> | <i>Lower Limit</i> | <i>Upper Limit</i> |         |
| Vse meritve<br><i>Grand mean</i>                             | 119             | 3.18238          |                   |                    |                    |         |
| <b>LEGA / POSITION</b>                                       |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1-odprto / <i>open</i>                                       | 58              | 1.91436          | 0.186280          | 1.54465            | 2.28408            |         |
| 2-zastrto / <i>curtained</i>                                 | 61              | 4.45039          | 0.180031          | 4.09308            | 4.8077             |         |
| <b>ČAS / TIME</b>  |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 0.25 min   | 38              | 3.56887          | 0.228895          | 3.11458            | 4.02317            |         |
| 1 min  | 38              | 2.99663          | 0.228895          | 2.54233            | 3.45092            |         |
| 5 min  | 43              | 2.98163          | 0.214976          | 2.55496            | 3.4083             |         |
| <b>KOREKCIJA / CORRECTION</b>                                |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1-z kor. / <i>with corr</i>                                  | 60              | 2.2839           | 0.182456          | 1.92177            | 2.64602            |         |
| 2-brez k. / <i>without c.</i>                                | 59              | 4.08085          | 0.183686          | 3.71629            | 4.44542            |         |
| <b>KONSTELACIJA / CONSTELATION</b>                           |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1-dobra / <i>good</i>  | 58              | 2.67242          | 0.185051          | 2.30514            | 3.03969            |         |
| 2-slaba / <i>bad</i>   | 61              | 3.69234          | 0.181294          | 3.33252            | 4.05215            |         |
| <b>LEGA S ČASOM / POSITION by TIME</b>                       |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1  | 0.25            | 18               | 1.79475           | 0.333092           | 1.13365            | 2.45585 |
| 1  | 1               | 18               | 1.89875           | 0.333092           | 1.23765            | 2.55985 |
| 1  | 5               | 22               | 2.04958           | 0.300672           | 1.45283            | 2.64634 |
| 2  | 0.25            | 20               | 5.34300           | 0.314042           | 4.71971            | 5.96629 |
| 2  | 1               | 20               | 4.09450           | 0.314042           | 3.47121            | 4.71779 |
| 2  | 5               | 21               | 3.91367           | 0.307335           | 3.30370            | 4.52365 |
| <b>LEGA S KOREKCIJO / POSITION by CORRECTION</b>             |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1  | 1               | 29               | 1.50302           | 0.263085           | 0.980864           | 2.02517 |
| 1  | 2               | 29               | 2.32571           | 0.263085           | 1.80355            | 2.84786 |
| 2  | 1               | 31               | 3.06478           | 0.252776           | 2.56309            | 3.56647 |
| 2  | 2               | 30               | 5.836             | 0.256414           | 5.32709            | 6.34491 |
| <b>LEGA S KONSTELACIJO / POSITION by TIME</b>                |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1  | 1               | 28               | 1.81750           | 0.266884           | 1.28781            | 2.34719 |
| 1  | 2               | 30               | 2.01122           | 0.259951           | 1.49529            | 2.52715 |
| 2  | 1               | 30               | 3.52733           | 0.256414           | 3.01842            | 4.03625 |
| 2  | 2               | 31               | 5.37345           | 0.252776           | 4.87176            | 5.87514 |
| <b>KOREKCIJA S KONSTELACIJO / CORRECTION by CONSTELATION</b> |                 |                  |                   |                    |                    |         |
| 1  | 1               | 29               | 2.07739           | 0.261597           | 1.55819            | 2.59659 |
| 1  | 2               | 31               | 2.49041           | 0.254519           | 1.98526            | 2.99556 |
| 2  | 1               | 29               | 3.26745           | 0.261597           | 2.74825            | 3.78664 |
| 2  | 2               | 30               | 4.89426           | 0.257957           | 4.38229            | 5.40623 |

Na odprtem terenu (LEGA=1) smo dosegli v povprečju 1.91 m natančnost, pri čemer je ta nihala v odvisnosti od preostalih faktorjev (metoda korekcije, čas snemanja, konstelacija satelitov) med 1.50 m do 2.33 m. Pri najugodnejši metodi snemanja (LEGA=2, ČAS=1 minuta, KONSTELACIJA=1, KOREKCIJA=1) smo zabeležili kot povprečje 5 meritev celo submetrsko pozicijsko napako (0.92 m). Na ugodnih legah je torej natančnost meritev ne glede na preostale pogoje vedno zelo visoka in za rabo v gozdarstvu popolnoma zadostna, saj presega natančnost običajnih gozdarskih kart. Pomembna ugotovitev poskusa je dejstvo, da je natančnost meritev na prostem dobra tudi brez uporabe metode diferencialne korekcije.

Meritve v gozdu pod sestojnim zastorom (LEGA=2) so manj natančne, toda običajno še vedno sprejemljive za tematsko kartiranje. Pozicijska natančnost znaša v povprečju 4.45 m, vendar so natančnejše meritve kot 5 m mogoče le pri skrbnem načrtovanju (izbira časa snemanja z ugodno konstelacijo satelitov), pri snemalnem času prek 1 minute (glej sliko 3g) in uporabi metode diferencialne korekcije. Pri najugodnejši metodi snemanja v gozdu pri pogojih sestojnega zastora našega poskusa (LEGA=2, ČAS=1 minuta, KONSTELACIJA=1, KOREKCIJA=1) smo zabeležili kot povprečje 5 meritev tudi v tem primeru zelo majhno pozicijsko napako 2.52 m (glej preglednico 4).

Pomen drugih faktorjev je pomemben predvsem pri snemanju v gozdu (LEGA=2) in tedaj, ko so ostali pogoji neugodni. Analiza glavnih učinkov kaže, da so bistvene izboljšave mogoče predvsem z metodo diferencialne korekcije (KOREKCIJA=1), vendar učinki zdaleč niso tako odločilni, kot v času namernih motenj pred 1. majem 2000. V naši analizi smo v povprečju napako lahko skoraj razpolovili, pri snemanju v gozdu npr. s 5.8 na 3.1 m.

Natančnost meritev je možno izboljšati z izbiro primerne časa meritev oz. z ugodno (dobro) konstelacijo satelitov. Izboljšava je v povprečju znašala nekaj več kot 25%. Podrobnejša analiza faktorja PDOP (slika 2) je pokazala, da razred ugodnih pogojev lahko definiramo malo širše, vse do vrednosti PDOP=5 (proizvajalec opreme postavlja mejo pri PDOP=4).



Slika 2: Pozicijska napaka v odvisnosti od vrednosti PDOP  
Picture 2: Position error depending on PDOP value

Pozicija izbrane točke se pri GPS vedno določa kot povprečje določenega števila meritev, ki potekajo v sekundnem taktu. V naši študiji smo pri najkrajši varianti (ČAS=0.25 min) določali lokacijo kot povprečje 15 odčitkov, pri najdaljši varianti pa kot povprečje 300 odčitkov. Iz preglednice 3 je razvidno, da le v primeru drugih neugodnih pogojev (predvsem pri meritvah v gozdu) ne zadostuje 15 sekundno snemanje. Za snemanja v gozdu priporočamo zato vsaj 1 minutna snemanja.

Preglednica 4: Analiza variance za pozicijsko napako snemanja na prostem (lega 1) in v gozdu (lega 2) pri optimalnih pogojih

Table 4: Analysis of Variance for position error in optimum conditions for open (position 1) and curtained position (position 2)

Odvisna spremenljivka / *Dependent variable*: pozicijska napaka/position error

Faktor / *Factor*: lega / position

Pogoji / *Conditions*:

Konstelacija / *Constellation* = 1, Korekcija / *Correction* = 1, Čas / *Time* = 1

Analiza variance / *Analysis of Variance*

| Vir<br><i>Source</i>                  | Vsote kvadratov<br><i>Sum of Squares</i> | Df<br><i>Df</i> | Srednji kvad.<br><i>Mean Square</i> | F-razmerje<br><i>F-Ratio</i> | P-vrednost<br><i>P-Value</i> |
|---------------------------------------|--|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Med skupinami / <i>Between groups</i> | 6.33616                                  | 1               | 6.33616                             | 21.87                        | 0.0016                       |
| Znotraj skupine / <i>Within gr.</i>   | 2.31804                                  | 8               | 0.289755                            |                              |                              |
| Skupaj / <i>Total (Kor./Corr.)</i>    | 8.6542                                   | 9               |                                     |                              |                              |

Srednje vrednosti za pozicijsko napako z 95% intervali zaupanja

Table of Means for position error by position with 95.0% confidence intervals

| Lega<br><i>Position</i> | Štev. meritev<br><i>Count</i> | Sred. vred.<br><i>Mean</i> | Stan. napaka<br><i>Std. Error</i> | Meje zaupanja<br><i>Lower limit Upper limit</i> |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| 1                       | 5                             | 0.924                      | 0.101814                          | 0.641319 1.20668                                |
| 2                       | 5                             | 2.516                      | 0.324863                          | 1.61403 3.41797                                 |

#### 4.2 REZULTATI IZMERE GPS TER KARTIRANJA GOZDNIH CEST RESULTS OF GPS MEASUREMENTS AND FOREST ROAD MAPPING

Rezultat izmere gozdnih cest s pomočjo diferencialne metode je podan v dveh oblikah. Prva oblika je geokodiran potek cest v obliki digitalnega sloja v GIS. Ceste so podane v vektorski obliki in opremljene z atributivnimi podatki. Drugi rezultat je karta gozdnih cest v merilu 1:5000. Na sliki 3 predstavlja podlago digitalni ortofoto načrt (DOF) izdelan na Gozdarskem inštitutu Slovenije v merilu 1:5000, ter prekrit s TTN v merilu 1:5000. Temno sivo črto predstavlja cesta, izmerjena z GPS.





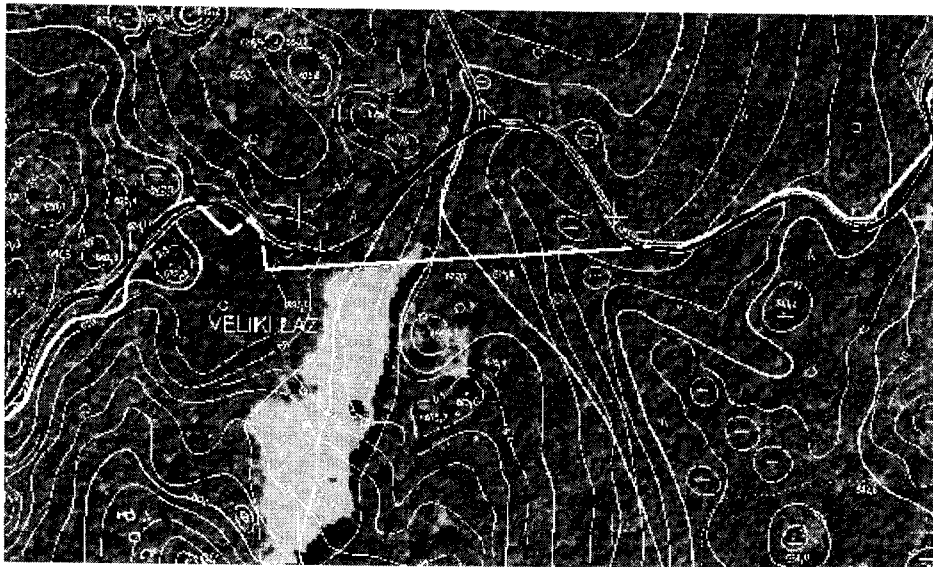
Slika 3: Izsek iz karte gozdnih cest, izmerjenih ter kartiranih s pomočjo GPS. Izsek se nanaša na okolico Unške koliševke v bližini Unca.

*Picture 3: Excerpt of a forest road map. Forest roads were measured and mapped with GPS. Map refers to surrounding of Unška koliševka near Unec, Slovenia.*

Na približno 95% dolžine vseh cest smo bili z rezultati zadovoljni. S preverjanjem pozicijskih odstopanj med linijami GPS in središči cest, razpoznavnimi na ortofoto karti, smo ugotovili, da te med seboj ne odstopajo več kot 8 metrov, v povprečju pa ne več kot 3,1 metra. S 5% meritev nismo bili zadovoljni. Odstopanja GPS linij od sredine ceste, razpoznavne na ortofoto načrtu, so presežala 15 metrov.

Rezultati meritev iste gozdne ceste v dobrih ter slabih konstelacijskih pogojih kažejo na ogromno razliko (slika 4). V slabših konstelacijskih pogojih so bili rezultati zaradi izpadov signala nezadovoljivi. Obe liniji sta med seboj v najslabšem primeru oddaljeni za kar 134 metrov. Črna odebeljena linija na sliki 3 predstavlja meritev GPS gozdne ceste, upoštevajoč najboljše konstelacijske pogoje ta dan, bela odebeljena črta pa predstavlja

linijo ceste, izmerjene v najslabših konstelacijskih pogojih ta dan. Tanke bele linije predstavljajo prek DOF prekrit skenogram TTN 1:5000.



Slika 4: Razlika med meritvijo gozdne ceste s tehnologijo GPS v dobrih ter slabih konstelacijskih pogojih.

Picture 4: *Difference between GPS forest road measurements at good and bad constellations.*

Dokaj opazne so razlike v pozicijski natančnosti pri merjenju v iglastih ter listnatih sestojih. Pri vožnji skozi gostejše iglaste sestoje postane linija izrazito bolj lomljena (cik-cak oblike) kot pri listavcih. Prav tako je število odčitkov zaradi pogoste izgube signala manjše. Vpliv ekspozicije terena na kvaliteto izmere ceste se je pokazal kot manj izrazit, vendar še zmeraj opazen. Ker smo snemali ceste v najugodnejšem delu dneva, nismo izgubili signala, opazno pa je bilo precejšnje zmanjšanje števila vidnih satelitov in pogostejše prekinitve zaradi izgube signala in menjave satelitov. V izmero nam ni uspelo zajeti iglastih gozdov na zelo strmih severnih terenih (v glavnem le bukev).

Pri cestah z zaprtim sklepom krošenj se je pokazal problem kontrole poteka linije, saj iz digitalnega ortofoto načrta v takih primerih ni zmeraj možno opaziti linije ceste.

## **5 RAZPRAVA DISCUSSION**

### **5.1 SPLOŠNO GENERAL REMARKS**

Rezultati študije kažejo, da je natančnost meritev dosegla raven, ki odpira v gozdarstvu široke možnosti uporabe tehnologije GPS. Presenetljivo dobri so sedaj tudi rezultati meritev brez uporabe diferencialne korekcije. Tako smo na prostem v vseh razmerah dosegli natančnosti pod 5 metri, v gozdu pa pod 13 metri.

Na natančnost meritev najmočneje vpliva neposredna vidljivost satelitov (LEGA), na katero neposredno ne moremo vplivati. Na prostem je pozicijska napaka nihala med vrednostmi 0.63 in 4.14 m (58 meritev), kar je na ravni dobrih gozdarskih kart v merilu 1:5000. Pri neugodnih pogojih meritev pod sestojnim zastorom nam za doseganje zadovoljivih meritev ostaja le izbira primerne tehnike snemanja. Priporočamo snemanje pri optimalni konstelaciji satelitov (PDOP<6), čas snemanja vsaj 1 minuto in po možnosti z metodo diferencialne korekcije. V tem primeru je tudi v gozdu možno doseči natančnost, boljšo kot 5 metrov. Če nimamo možnosti uporabe diferencialne korekcije, moramo računati s pozicijskimi napakami do 7 metrov.

Nekateri, predvsem nemški avtorji (ENGELS 2001) ugotavljajo, da je pod različnimi zastori v gozdu možno s pomočjo opreme RDGPS, meriti z natančnostmi pod 3 metre. Izjeme so le zelo gosti sestoji iglavcev, kjer je izpad signala zelo pogost.

Ugodna konstelacija satelitov, ki jo merimo s PDOP faktorjem, je pomembna predvsem pri sicer neugodnih pogojih merjenja. Naša merjenja kažejo, da so dobri pogoji snemanja definirani nekoliko širše, kot to navaja proizvajalec. Menimo, da sega ugodno območje PDOP faktorja do vključno vrednosti 5. V gozdu je v vsakem primeru zato potrebno skrbno načrtovanje meritev, saj je ugodne trenutke (PDOP pod 5) včasih težko zajeti.

Izmera gozdnih cest, se je izkazala kot uspešna. Z upoštevanjem najugodnejših razmer glede na plan satelitske konstelacije smo dobili uporaben rezultat v praktično vseh razmerah. V literaturi posamezni avtorji navajajo podatek o 85-90% uspešnosti izmere ter kartiranja gozdnih cest (KREUTTER 1995) z GPS. Zelo visok odstotek zadovoljivih

rezultatov v našem poskusu gre pripisati snemanju cest meseca decembra, torej zunaj vegetacijskega obdobja. Zanimiva je primerjava izmere ceste v dveh različno ugodnih trenutkih. Pri ugodnih konstelacijskih pogojih smo povsod sprejemali signal. Le v gostih iglastih sestojih se je občasno za nekaj sekund dogajalo, da signal ni bil zadovoljiv. Z upočasnjeno vožnjo smo počakali, da je sprejemnik sprejel signal in nadaljevali snemanje. V listnatih gozdovih nismo opazili motenj, razen na severni strani Javornikov v bližini smučišča Kalič. Pobočje Javornikov je na tem mestu zelo strmo in ponekod dosega največji naklon  $35^\circ$ . Na približno 10% dolžine celotne trase ceste pod Javorniki (skupna dolžina izmerjene ceste je 8400 m) nismo dobili zadovoljivih podatkov, ali pa so bili na meji sprejemljivosti. Slika 5 prikazuje tipičen primer, ko je rezultat izmere ceste slabe kakovosti. Zaradi občasne izgube signala in ovinkaste ceste pride do precejšnjega odstopanja linije GPS od linije ceste, razpoznavne iz ortofoto karte. Ker je razdalja med dvema odčitkoma 72 m in cesta ravno v ovinku, se meritev GPS oddalji od dejanske osi ceste za petnajst metrov.



Slika 5: Primer dvomljive kakovosti izmere gozdne ceste s pomočjo GPS  
Picture 5: Example of the uncertain quality of GPS forest road measurements

Ob majhnih dopolnilih gozdarskega informacijskega sistema, je uporaba GPS za kartiranje cest smotrna. V težkih razmerah ter ob velikih dopolnilih pa bi bila smotnejša uporaba digitalnih ortofotokart oziroma metode digitalne stereofotogrametrije, kjer so možnosti interpretacije ceste tudi pri sklenjenih krošnjah nad cestnim telesom neprimerljivo večje (KUŠAR/HOČEVAR 2000).

Na uspešnost in natančnost terenskih merenj z GPS v veliki meri vpliva vnaprejšnje načrtovanje snemanja. Večina tehnologij GPS z ustrezno programsko opremo nudi to pomembno možnost. Gre za računalniški program, ki za določeno pozicijo na Zemlji izračuna ob določenem času trenutno število vidnih satelitov, njihovo konstelacijo, PDOP, njihovo gibanje in to prikaže v obliki grafikonov. Slovenija je topografsko gledano zelo razgibana, kar v določenih primerih lahko predstavlja resno oviro za snemanje z GPS. Bolj kot je pobočje nagnjeno, daljšo pot morajo narediti radijski valovi skozi plast vegetacije. Učinek pri satelitih, ki so visoko v zenitu, ni izrazit. Pomembnejši pa postane pri tistih, ki so nizko na horizontu. Zaradi daljše poti skozi plast vegetacije obstaja večja verjetnost, da se valovi ustavijo, izgubijo na jakosti ali pa naredijo daljšo pot zaradi odbojev. Če pri tem upoštevamo še dejstvo, da moramo v gozdu kriterije glede PDOP omiliti in delati z višjimi vrednostmi PDOP, se napaka lahko bistveno poveča (vrednost PDOP množi skupni seštevek vseh napak GPS zaradi prehoda valov skozi ozračje, hrupa in odbojev).

## **5.2 PROBLEM NATANČNOSTI PRI PRIMERJAVI GPS MERITEV Z REFERENČNIMI VIRI**

### **ACCURACY PROBLEM BY COMPARISON OF GPS MEASUREMENTS WITH REFERENCE SOURCES**

Pri primerjanju rezultatov smo naleteli na težavo, kako primerjati rezultate meritev. Referenco pri testiranju natančnosti na trigonometričnih točkah predstavljajo geodetsko izmerjeni podatki v Gauss-Kruegerjevih koordinatah. Ko govorimo o natančnosti trigonometričnih točk n-tega reda (vse merjene točke so bile III ali IV reda in stabilizirane z betonskimi kamni), je potrebno izpostaviti dejstvo, da o absolutni natančnosti teh stabiliziranih geodetskih točk ne moremo govoriti. V Sloveniji je 35

trigonometričnih točk prvega reda, ki so razporejene večinoma po vrhovih hribov v trikotni mreži. Z novejšimi metodami analiz pogreškov teh trigonometričnih točk (analize so še v razvoju, temeljijo pa na globalnih meritvah z GPS sistemom), so ugotovili, da se merilo državnega koordinatnega sistema vzdolž države spreminja in da so tudi te točke obremenjene z določenimi pogreški. Vse nadaljnje točke nižjega reda pa so izmerjene in določene po principu iz večjega v manjše, zato se pogreški trigonometrov višjega reda prenašajo in seštevajo na trigonometre nižjega reda. Ker dejanskih števil o tem, na koliko milimetrov oz. centimetrov natančno so trigonometri postavljeni ni, vse katastrske meritve pa se na te točke navezujejo, vzamemo te točke kot uradno natančne (MEDVED 1999). Ker primerjava z absolutno točnimi referencami ni mogoča, v raziskavi uporabljamo izraz natančnost namesto točnost.

Problem je posebno izrazit pri proučevanju možnosti kartiranja gozdnih cest. Obstaja možnost primerjave z nanašanjem dobljenih rezultatov na skenograme temeljnih topografskih načrtov v merilu 1:5000 ali pa na digitalno ortofoto karto v merilu 1:5000, ki je dejansko narejena s pomočjo prej omenjenih kart in GPS. Na voljo smo imeli oboje, vendar smo se odločili uporabiti za glavni referenčni vir ortofoto načrt, ki ga je izdelal gozdarski inštitut Slovenije, čeprav smo rezultate za ilustracijo ponekod primerjali tudi s TTN 1:5000. Problem kartnega materiala je med drugim predvsem ta, da je ponekod zelo nenatančen, datum izdelave pa kaže na letnico 1967, zaradi česar veliko objektov na kart bodisi manjka, ker so jih zgradili kasneje, bodisi jih ni več, ker so se podrli, opustili itd. Digitalne ortofoto karte za območja, kjer smo proučevali možnosti kartiranja gozdnih cest, so narejene na podlagi posnetkov cikličnih aerosnemanj iz leta 1997. O pozicijski natančnosti DOF lahko podajamo le bolj ali manj natančno oceno, po mnenju Hočevarja s sodelavci (HOČEVAR et al. 1994) pa pozicijska napaka DOF ne presega 5-6 metrov, kar ustreza geodetskim standardom.

### 5.3 MOŽNOSTI UPORABE GPS V GOZDARSTVU POSSIBILITIES OF GPS USE IN FORESTRY

Ena izmed pomembnejših možnosti uporabe GPS v gozdarstvu je področje digitalne fotogrametrije. Dosedanja praksa izdelave digitalnega ortofota je v manjši meri že vključila uporabo GPS pri izmeri koordinat oslonilnih točk. Večina izdelanih digitalnih ortofotov je še zmeraj izdelanih na podlagi topografskih kart v velikem merilu. Za oslonilne točke jemljemo tiste točke, ki so razpoznavne tako na posnetkih, kot v naravi ali na karti. Večinoma so dobro vidne in redkokdaj zastrte. Na takih mestih z GPS brez težav dosežemo pozicijsko natančnost okoli 1,5 metra in manj. Če bi za določitev vseh oslonilnih točk uporabili sistem GPS, bi pozicijsko natančnost digitalnih ortofoto načrtov bistveno povečali.

Vzpostavljanje katastra gozdnih cest oz. ažuriranja le tega je trenutno aktualno vprašanje. S tem, ko se je GPS izkazal kot uporabno orodje pri izmeri in kartiranju cest, bi ga lahko uspešno vključili kot alternativo sredstvo k drugim metodam pridobivanja prostorskih podatkov, predvsem digitalni ortofotogrametriji. Kdaj bomo uporabili eno ali drugo sredstvo, je odvisno od presoje, kaj je v danih razmerah bolj učinkovito. Z možnostjo sočasnega pobiranja atributivnih znakov ter kasnejše pretvorbe podatkov v GIS postane GPS uporaben pri ažuriranju in dopolnjevanju slovenskega katastra gozdnih cest.

Z RDGPS opremo (oprema ki omogoča diferencialno korekcijo v trenutnem realnem času), je možno natančno in neposredno na terenu pozicionirati naš položaj (SAPOS 2001). Instrument zmore tudi, da vtipkamo želeno koordinato in nas le ta grafično navigira do zelene točke. Ta metoda je idealna za iskanje stalnih vzorčnih ploskev ali izgubljenih mejnikov, poškodovanih trigonometrov ipd., saj nas do teh točk privede tudi z izogibanjem terenskim ter drugim oviram. Kettemann in Wagelaar (1998) sta se ukvarjala z iskanjem centrov stalnih vzorčnih ploskev in ugotovila, da se je najbolje obnesla kombinacija z busolo in merskim trakom. Ko so se približali točki, so v bližnji okolici poiskali primerno mesto, kjer so sprejemali signal. S 50 odčitki so določili koordinato in nato od te s pomočjo busole in merskega traka središče vzorčne ploskve. Avtorja navajata, da so točke v povprečju določili na 2,1 metra natančno. Posebno nujna in tehnološko takoj možna je uporaba GPS pri prvi zakoličbi stalnih vzorčnih ploskev.

Zelo uporaben je GPS tudi pri drugih drobnih operativnih delih. Z njim lahko merimo notranji gozdni rob, npr. površino mlajše razvojne faze. Površino med delom preprosto obhodimo in dobimo dobre podatke o površini in legi. S pomočjo izmerjene površine lahko določamo normative za redna negovalna in druga dela v operativi.

Možnosti za uporabo je še veliko. Uporaba sega od registracije lokacije pri različnih opisih (redki biotopi, nahajališča redkih rastlin, gnezdišča ogroženih vrst ptic) do kartiranja raznih mej s hojo po njih, izvirov pitne vode, ipd. Opirajo se možnosti kombiniranja GPS s prenosnimi računalniki, kjer registriramo lokacijo z visoko natančnostjo, atributivne podatke pa neposredno vnašamo ročno. Že na terenu je naš popis podprt z obstoječimi kartnimi podlagami in podatki.

Ponudba opreme GPS je velika, s stališča cen pa vse bolj dostopna. Osnovni sprejemniki GPS so dosegljivi že za ceno okrog 100 \$, sprejemniki, ki omogočajo še sočasno pobiranje atributivnih podatkov ter njihov prenos na PC, pa za cca. 300\$.

Dileme, katero tehnologijo pridobivanja prostorskih podatkov uporabiti v določenemu primeru, pravzaprav ni. Pomembni kriteriji so vsebinska natančnost, tehnična izvedljivost snemanja in stroški. Če imamo na razpolago nove ortokarte, bomo skušali večino prostorskih podatkov dobiti kar iz teh, če pa so ortokarte zastarele, je uporaba GPS verjetno najbolj ekonomična metoda. GPS vidimo zato kot metodo, ki nam omogoča ažurno, natančno in razmeroma ceneno pridobivanje prostorskih podatkov.

## **6 POVZETEK**

Globalni pozicijski sistem (GPS), spada med novejša orodja v gozdarstvu, vendar se v Sloveniji še ni uveljavil. Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo ga dosedaj uporabljali za določevanje koordinat oslonilnih točk za razpačenje digitalnih aeroposnetkov in delno za določevanje koordinat stalnih inventurnih ploskev, medtem ko se v operativi še ne uporablja. Od 1. maja 2000 sistem ni več dodatno moten, tako da je mogoče doseči natančnost pod 15 metrov tudi brez diferencialne korekcije. Pri raziskavi smo uporabljali instrument DGPS oz. GPS, ki omogoča naknadno korekcijo podatkov in s tem poveča



natančnost pozicijske izmere do 1 metra. Pri izmeri pozicijske natančnosti točke smo ugotovili, da se ob temeljnem pogoju diferencialne korekcije na prostem lahko v ugodnih razmerah spustimo do submetrske natančnosti, v gozdu pa med 1-5 metri. S takšno natančnostjo lahko pokrijemo večino potreb v gozdarstvu. Z metrsko natančnostjo lahko GPS uporabimo za določevanje oslonilnih točk v digitalni fotogrametriji in s tem izboljšamo pozicijske natančnosti digitalnih ortofoto kart. Izmerili in kartirali smo 32 km gozdnih cest. Z rezultati kartiranja smo bili zadovoljni na 95% skupne dolžine cest. Relativno majhen odstotek smo pripisali snemanju zunaj vegetacijskega obdobja. Analiza odstopanj linij cest, izmerjenih z GPS, od linij cest, prepoznavnih na digitalni ortofoto karti (DOF), je pokazala, da se odstopanja gibljejo pod 8 metri, v povprečju pa okoli 3 m. GPS izmera gozdnih cest se je pokazala kot smotrna na cestah kjer je sklep krošenj sklenjen. Kjer je sklep pretrgan in imamo DOF, je racionalnejša izmera s pomočjo DOF-a. Če za območje obstajajo izdelani DOF, je pri pridobivanju prostorskih podatkov racionalnejša uporaba letih. Če karte za območje ne obstajajo in gre za majhne dopolnitve gozdarskega prostorskega informacijskega sistema, je racionalnejši pristop z GPS. GPS se je izkazal kot uporaben povsod tam, kjer imamo opravka z lociranjem in kartiranjem objektov, ki na DOF niso prepoznavni ali da so zastarani. Največkrat gre za to, da so objekti pod zastorom krošenj ali pa so novejšega datuma in tako na DOF še niso zajeti.

## 7 SUMMARY

*The Global Positioning System (GPS) is one of the more recent tools in forestry, but it hasn't realized its full potential in Slovenia yet. Some evidence of its use exists in the Slovene Forestry Institute, where they have used GPS for acquiring positions for ground control points in digital photogrammetry and acquiring positions for permanent inventory sample plots. However, it hasn't been used in operative forestry. Since 1 May 2000 additional obstructions were eliminated and the system provides a positioning accuracy less than 15 meters without differential correction.*

*GPS instrumentation, which enables post-processing of acquired data and thus increases accuracy to 1 meter, (the so-called DGPS), was used to perform this thesis. By testing position accuracy in an open area submeter accuracy was achieved during testing position accuracy in an open area and with good conditions. An accuracy of 1 to 5 m was achieved inside the forest. Most activities in forestry can be covered with this range of accuracy. GPS can be used for determining ground control points in digital photogrammetry and thus improves position accuracy of digital ortho-photographic maps (DOF). 32 km of forest roads were measured and mapped. The results were not corresponding on 5% of the total road length. We attribute this relatively low percentage to the winter conditions during the measurement. Analyses of deviation of GPS measured road line from road line recognizable on DOF have shown, that most deviations lie under 8 meters and the average deviation is about 3 meters. GPS used for forest road mapping was proven more useful under circumstances of dense canopy. DOF is more applicable for road mapping if the tree canopy is loose and the road is clearly seen. It's more economical to use DOF for acquiring spatial data, but only if it is available. If the DOF doesn't exist for the area and completion of the forestry geographical information system is inadequate, GPS becomes a significant and logical option. GPS has proven to be useful in all cases of locating and mapping spatial features, when these features are not visible on DOF. In most cases these features are under the tree canopy or they are newer than DOF. We consider GPS very useful with locating and measuring different types of features in operative forestry such as flats of younger stand phases.*

## 8 VIRI REFERENCES

- BEHIN, L. 1998. Izdelava DOF za GGE Kobarid v merilu 1:5000.- Pripravniška naloga. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije.
- BRENNER, G. / DÖLLER, H. 1997. Alpine Waldgrenzvermessung mit dem GPS.- AFZ/Der Wald, 9/97.,s.485-486.
- DECKERT, C. / BOLSTAD, P. 1996. Forest Canopy, Terrain, and Distance Effects on GPS Point Accuracy.- PE&RS, March 1996.s.317-321.
- DOELLER, H. 2000. DGPSNETZ.- Predavanje na mednarodni delavnici Bridging the gap, Ljubljana 2-5 februar 2000.
- EHGARTNER, G. 1996. Forstkartenfortführung-einfach und effizient mit GPS.- Österreichische Forstzeitung, 4/96.,s.53-54.
- ENGELS, F. 2001. Anforderungen an ein GPS-Gerät beim Einsatz im forstlichen Versuchswesen.- AFZ/Der Wald, 10/2001, s. 513-516.
- HOČEVAR, M. / KOVAČ, M. / HLADNIK, D. 1994. Digitalne ortofoto karte za kartiranje gozdnih sestojev.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 44, s. 149-171.
- JANDL, B. 1994. Forstvermessung mit GPS.- Holz Kurier Nr.47/24,s. 18-19.
- KETEMANN, R. / WAGELAAR, R. 1998. GPS-Einsatz bei der Stichprobeninventur.- AFZ/Der Wald, 14/98, s. 737-743.
- KETTEMANN, R. 1995. GPS und seine Anwendungsmöglichkeiten im Forstwesen.- AFZ der Wald, 22/1995, s. 1201-1203.
- KIRCHOFF, J.F. / RHEIN, M. 1994. Global Positioning System in der Forstwirtschaft im praktischen Einsatz.- AFZ 15/1994, s. 848-850.
- KOPŠE, I. 2000. Možnosti uporabe GPS za pridobivanje prostorskih podatkov.- Univerzitetna diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire.
- KREUTTER, J. 1995. Aufmessung von Waldwegen mit GPS.- AFZ/Der Wald, 22/1995, s. 1204-1206.
- KUŠAR, G. / HOČEVAR, M. 2000. Fototerestična inventura gozda.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 62, s. 117-148.
- MEDVED, M. geodetska uprava RS, 10.11.1999, ustni vir
- MÜLLER, U. / BINSBERGEN, J. 1997. Flachedeckende Submetergenauigkeit mit GPS.- Vermessung, 11/97, 6 s.
- OEFFVERBERG, T. 1995. Zur Genauigkeit des GPS für die Forstvermessung.- AFZ/der Wald, 22/1995, s. 1207-1208.
- SAPOS - Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, 2001.- Dosegljivo na URL: <http://www.sapos.de/>