

# ***LASERSKO ALTIMETRIJSKO SNIMANJE KORIDORA IZ HELIKOPTERA***

## ***UVOD***

**FLI-MAP (Fast Laser Imaging and Mapping Airborne Platform)** je najnovija, Američko - Holandska metoda za snimanje koridora (pod koridorom podrazumevamo dugačke i uske pojaseve zemljišta). Kao i sve nove tehnologije, **FLI-MAP** prvo je korišćen u Američkoj vojnoj tehnologiji. Od 1999-te godine **FLI-MAP** metoda se koristi kao spoj realnih inženjerskih potreba i napredne tehnologije.

Za većinu železničkih, komunalnih i transportnih kompanija, snimanje trase je dug, skup i komplikovan proces. Uz to težak teren, prirodne i veštačke prepreke mogu da uspore uobičajeno klasično terensko snimanje, dok aerofotogrametrijsko snimanje ne može da isporuči zahtevanu tačnost.

**FLI-MAP** je brzo lasersko altimetrijsko skeniranje terena iz helikoptera, sa video i foto snimanjem visoke rezolucije, za akviziciju i obradu podataka potrebnih za izradu topografskih planova. Sistem, koji može biti prikačen na nekoliko tipova helikoptera, prolazi područjem od interesa prikupljajući precizne podatke (**GPS**, visina platforme, laserske dužine i slike). Laserski skeneri registruju po 11000 tačaka u sekundi, na odstojanju **15-175 m**. Sa visinom leta iznad zemlje **50-150 m** i brzinom letelice od **60 km/h**, gustina podataka je **15-20 tačaka/m<sup>2</sup>**. Pošto su položaj, visina i pravac leta helikoptera tačno poznati u svakom trenutku emitovanja zraka, mogu se sračunati precizne trodimenzionalne koordinate svake tačke na zemlji.

## ***PRIMENE***

Brzina akvizicije podataka i tačnost **FLI-MAP** čine sistem upotrebljivim u sledećim geodetskim poslovima:

- Snimanje železničkih pruga,
- Snimanje puteva,
- Premeri koridora cevovoda;
- Topografski premeri;
- Snimanje telekomunikacija i
- Hidrološke primene (premeri nasipa).

## ***OPIS SISTEMA***

Sistem **FLI-MAP** integriše nekoliko glavnih tehničkih sistema u jedan alat za snimanje. Različiti podsistemi su opisani u nastavku.

### ***Sistem za pozicioniranje***

**FLI-MAP** uključuje dva pokretna **GPS** prijemnika (dvofrekventni **L1/L2**) i višestruke zemaljske referentne **GPS** prijemnike. **Omnistar** satelitski prijemnici se koriste za prikupljanje standardnih **RTCM-104** diferencijalnih korekcija, koje obezbeđuju ispod **1 m** tačnost helikoptera za pilotsku navigaciju u realnom vremenu.

Pošto svi **GPS** prijemnici, pokretni i zemaljski referentni, beleže dvofrekventna fazna i merenja pseudoduzina od svakog satelita, tokom naknadne obrade se može sračunati položaj sa visokom tačnošću (**5-10 cm**). Dva pokretna prijemnika na letelici (sa odvojenim antenama) obezbeđuju dodatnu proveru položaja letelice u režimu naknadne obrade **OTK-KGPS**.

### *Visinski sistem*

Inercijalna merna jedinica (**IMU**) čvrstog stanja se koristi za merenja trenutnog (**max 200** puta u sekundi) podužnog i poprečnog nagiba i pravca, kao i ubrzanja platforme, u tri dimenzije. Ova merenja koristi integrisani inercijalni navigacioni sistem (**INS**) da bi sračunao tačnu visinu helikoptera. Tačnost **IMU** je **0.05°** za nagibe i **0.08°** za pravac i u kombinaciji sa **GPS** prijemnicima, **INS** obezbeđuje dodatne provere položaja letelice tokom naknadne obrade.

### *Laserski sistem*

Laser za skeniranje je bezbedan za oči, ne koristi reflektujuću prizmu i meri dužine merenjem prve vraćene dužine od **15** do **175** metara. Svaki uzorak sadrži **200** merenih dužina, ima širinu od **60** stepeni i pokrivenost koja je jednaka visini letelice iznad zemlje. Svaki zapis uzorka sadrži vreme, visinu lasera, informaciju o grešci detekcije podataka i informaciju o intenzitetu koju omogućava aktivno pravljenje infracrvenih slika. Laser skenira **11000** tačaka u sekundi.

### *Video sistem*

**FLI-MAP** je opremljen sa dve digitalne **S-VHS** kolor video kamere visoke rezolucije, emisionog kvaliteta (**Sony DXC-950**) koja daje **750** horizontalnih **TV** linija sa **3 CCD** čipa. Slikovni podaci se beleže na **SVHS** trakama.



*FLI-MAP Princip funkcionisanja*

Kamera usmerena nadole je montirana na laser, a kamera usmerena napred, koja je fiksirana u kosom položaju, ima dodatnu mogućnost zumiranja (**16x** zum, automatska blenda). Precizno **UTC** vreme se upisuje na svaki kadar videa, obezbeđujući tačnu korelaciju zapisa sa laserskim podacima. Kompletna komunikacija pilota i snimatelja i glasovne beleške pilota se snimaju na audio traku u cilju arhiviranja i pomoći u interpretaciji slike.

### ***Sistem za prikaz i akviziciju***

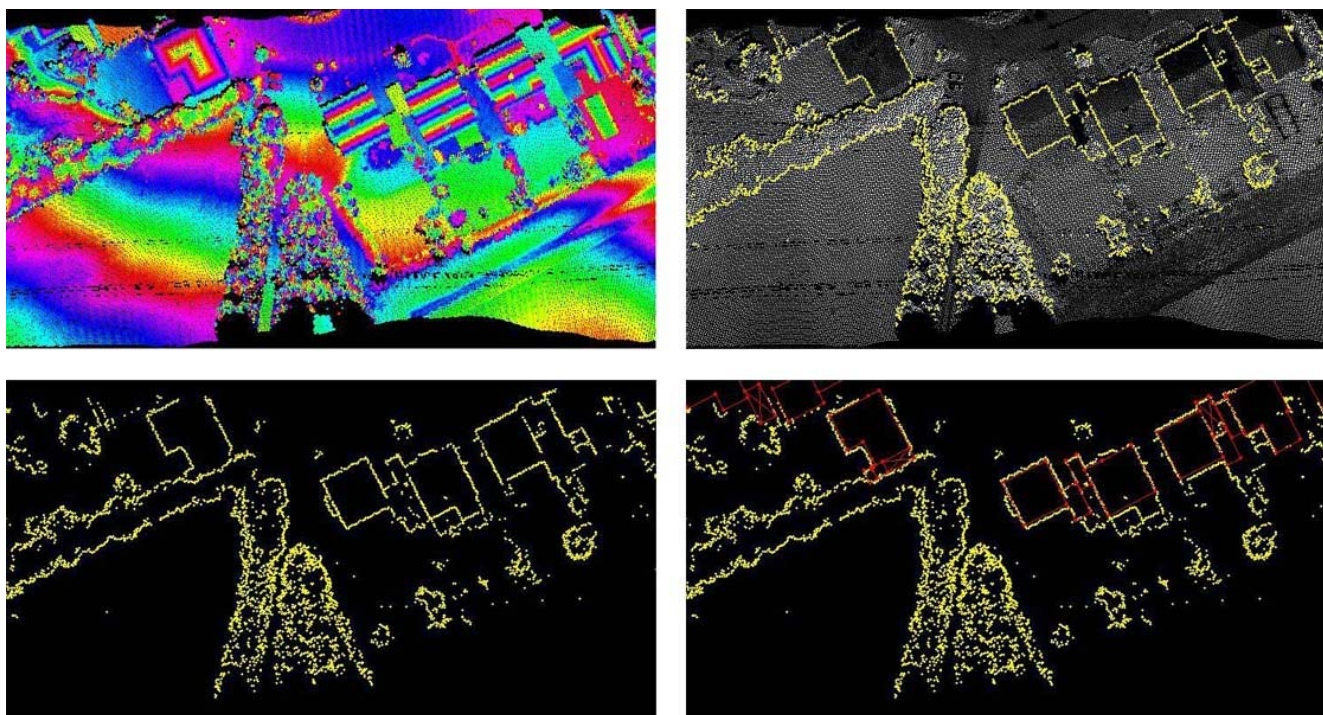
Sistem **FLI-MAP** usmerava i vodi pilota duž prethodno određene linije leta snimanja, korišćenjem **LED** svetlećih traka koje ukazuju na devijaciju kursa, horizontalnu i vertikalnu. Horizontalni kurs se određuje navigacijom i sistemom za pozicioniranje. Vertikalni kurs se obezbeđuje mogućnošću skenirajućeg lasera **AGL**. Pilot i snimatelj imaju posebno dizajniran upravljački ekran za kontrolu i praćenje stanja sistema tokom rada. Računar u sklopu avio sistema za obradu je višestruki **PC** baziran na **Intel** procesoru, koji obezbeđuje upravljanje podacima u letelici, kontrolu senzora i obradu navigacije. Merenja kao što su **GPS** pseudodužine i fazna merenja, zapisi laserskog skeniranja i **INS** rešenja, memorišu se na izmenljive memorijske kartice.

### ***Integracija u letelici***

Pošto je sistem **FLI-MAP** modularno projektovan, može se montirati na različite tipova helikoptera. U tu svrhu, sistem je podeljen u dva glavna dela, platformu sa senzorima i računarski sistem. Platforma sa senzorima se montira na standardne vezne tačke tereta izvan helikoptera. Platforma sadrži laser, **IMU** i video kamere i dva posebno projektovana dodatka na kojima su montirane **GPS** antene. Računarski sistem sadrži svu opremu neophodnu za prikupljanje i obradu podataka, kao što su **GPS** i **Omnistar** prijemnici, **INS**, video rekorderi i računar. Kutija je fiksirana unutar helikoptera i povezana za platformu.

### ***Obrada terenskih podataka***

Na kraju svakog radnog dana, putanja leta helikoptera se prethodno obrađuje, proverava i formatira u posebnu datoteku sa informacijama o visini platforme. Tokom prethodne obrade, rade se različite provere kontrole kvaliteta, da bi se osiguralo zadovoljenje zahteva projekta i da nema prekida u podacima. Poseban softver se koristi za računanje veoma tačnih vektora od svih baznih stanica do helikoptera, korišćenjem dvofrekventnih faznih i kodnih merenja. Ovi vektori će izravanjem po metodi najmanjih kvadrata obezbediti, **2** puta u sekundi, **3D** položaj antene helikoptera koji se "najbolje uklapa". Integrisanje **INS** podataka sa podacima o položaju **GPS**, rezultovaće u skoro kontinualnom položaju lasera. Kroz uobičajenu vremensku osnovu, laserske dužine će se povezati za položaj i visinu lasera, što rezultuje tačnim **XYZ** koordinatama laserskih merenja. Rezultujuća datoteka se može, zajedno sa datotekom putanje leta, datotekom leta, datotekom događaja i nekoliko datoteka lasera, isporučiti klijentu na ekstrakciju oblika pomoću softvera **FLIP7**.



*Prikaz dobijenih podataka posle snimanja i obrade po fazama*

### ***Naknadna obrada podataka softverom FLIP7***

Da bi se sračunale **YXZ** koordinate lasera, visine platforme i laserskih podataka kao i izvući korisne informacije iz ovih položaja, razvijenije **FLI-MAP** sistem za obradu podataka **FLIP7** (**Microsoft Windows 95** ili **NT 4.0**). Ovaj softverski paket spaja položaje helikoptera i informacije o visini sa podacima laserskog senzora i video snimcima. **FLIP7** obezbeđuje pune **CAD** mogućnosti. Zajedno sa programom **VcrController**, kontroliše videorekordere sa mogućnošću vremenskih kodova, što omogućuje korisniku koordinaciju video snimaka sa obrađenim laserskim podacima, da bi se dobila puna multimedijalna prezentacija snimljenih podataka. **FLIP7** omogućuje ortorektifikaciju video snimaka. Hardver **FLI-MAP** sistema za obradu podataka sastoji se od **Pentium II** računara, **2 S-VHS** video rekordera, **TV** monitora i kartica za prihvatanje video kadrova.

### ***TERENSKI RADOVI***

Na terenu se pre snimanja određuju tačke (bazne stanice). To su tačke sa koordinatama poznatim u **WGS'84**. Zahtevana tačnost tačaka je **5 mm** po **Y** i **X** i **1 cm** visinski. Tačke se postavljaju na **25-30 km**, s tim da na svakoj deonici moraju biti postavljene najmanje **4** tačke. **GPS** prijemnici moraju biti postavljeni na baznim tačkama **1 sat** pre snimanja.

### ***PRVO FLI-MAP SNIMANJE U JUGOSLAVIJI***

Firma "**Evrogeomatika**" u maju 2003-će godine sa Republičkom direkcijom za puteve potpisala je Ugovor o izradi topografskih planova za potrebe rekonstrukcije putne mreže. Ukupna dužina puteva je **330 km**. Ugovorom su obuhvaćene deonice:

- Preljina - Požega - Kokin brod, dužine **121 km**, širina koridora **150 m**,
- Bačka Palanka - Sombor, dužine **72 km**, širina koridora **60 m**,
- Subotica - Senta, dužine **33 km**, širina koridora **150 m**,
- Batajnica - Dobanovci, dužine **11 km**, širina koridora **150 m**,
- autoput oko Novog Sada, dužine **10 km**, širina koridora **150 m**,
- most kod Beške na autoputu Beograd - Subotica, dužine **5 km**, širina koridora **60 m**,
- Kragujevac - Batočina, dužine **24 km**, širina koridora **100 m**,

Sa JP "Elektroistok" potpisan je Ugovor o izradi topografskih planova dalekovoda Obrenovac - Beograd, dužine **60 km**, širina koridora **60 m**.

Topografski planovi rade se u **R 1:1000** (za glavne projekte) i **R 1:2500** (za idejne projekte).

### ***Dosad izvršeni radovi***

U Srbiji je u proteklih nekoliko godina od strane Republičkog geodetskog zavoda razvijena referentna mreža (**SREF**), visoke tačnosti i velike gustine (**10 x 10 km**). To je mreža na koju će se osloniti ovo snimanje. Pošto je za potrebe **FLI-MAP** snimanja potrebno rastojanje između baznih stanica **25-30 km**, **SREF** mreža zadovoljava i ovo i sva ostala **FLI-MAP** snimanja. Sve tačke su rekognoscirane.

**FLI-MAP** snimanjem dobijaju se koordinate tačaka u **WGS'84** sistemu. Zahtevi Investitora su da se planovi isporuče u državnom koordinatnom sistemu. Sada ne postoji pravilnik rešava ovo pitanje – transformacija koordinata tačaka linijskih objekata. Zbog toga su za potrebe položajne transformacije na jednom broju trigonometrijskih tačaka (**2 tačke na 10 km**) izvršena **GPS** merenja. Za potrebe visinske transformacije rekognoscirani su reperi duž puta (**1 reper na 3 km**) i na njima izvršena **GPS** merenja.

**FLI-MAP** snimanje se planira za prvu polovinu oktobra.

### ***ZAKLJUČAK***

**FLI-MAP** lasersko altimetrijski sistem kao precizna metoda za prikupljanje i obradu podataka je izuzetno isplativ sistem koji isporučuje tačne, iscrpne rezultate u danima umesto u mesecima. Zbog osobina laserske tehnike skeniranja sistem može biti korišćen u okolnostima gde je pristupačnost terena ograničena, zabranjena ili opasna. Prednostima koje iskazuje u rešavanju objektivnih problema u inženjerskoj geodeziji, kartografiji i **GIS-u**, **FLI-MAP** metoda snimanja koridora sve više se koristi u svetu i s pravom se smatra budućnošću u izradi topografskih planova koridora.

### ***PREDNOSTI FLI-MAP SISTEMA***

Pored aspekata bezbednosti, prednosti **FLI-MAP** sistema u odnosu na tradicionalne metode u većini slučajeva bile bi:

- brzo prikupljanje podataka (dnevno se ovom metodom može snimiti **100 km**, praktično može i više, ali zbog rasporeda satelita određeno je trajanje snimanja, zatim vreme doleta i povratka helikoptera do trase koja se snima, a snimanje je posebno naporno za pilota jer se leti malom brzinom od **60 km/h** i održava se konstantna visina leta helikoptera),
- jedine tačke koje se koriste su bazne stanice,

- može se snimati ako je oblačno (mala visina), ali se ne može snimati po kiši,
- odmah po završetku snimanja vrši se kontrola snimljenog materijala (provera putanje leta helikoptera i pokrivenost),
- apsolutna tačnost **Y, X** je **5 cm**, relativna visinska tačnost je **3 cm**,
- dobija se oko **15** tačaka na **1 m<sup>2</sup>**,
- terenski posao se svodi na minimum, pa samim tim i manje zavisi od vremenskih prilika,
- manje ljudstva i izuzetno brza akvizicija podataka u kontinuitetu,
- veoma kratko vreme do finalnog kartiranja,
- raznovrsne grupe podataka posle naknadne obrade,
- informacije o terenu su u svako doba dostupne, bilo u svrhu posmatranja, kontrole, dopune, razmene informacija,
- puna multimedijalna prezentacija koridora integracijom digitalnih video-snimaka sa **3D** laserskim podacima i
- niži troškovi, manji utrošak vremena, obilje informacija i hvatanje koraka sa svetom.

**Milorad Gligorić**  
**"Evrogeomatika"**