

OPIS I PRINCIP RADA MJERNIH SUSTAVA TOPCON FALCON 8 TRINITY I IATS-A TRIMBLE S7 VISION

SAŽETAK: Razvojem mjernih stanica primarni je cilj postala automatizacija procesa mjerenja. U tom su smjeru pripomogli razvoj mjerenja udaljenosti bez uporabe reflektora, razvoj robotiziranih mjernih stanica i automatsko prepoznavanje i praćenje reflektora. Sljedeći korak predstavlja sinergija fotogrametrijskih i tahimetrijskih mjerenja integracijom slikovnih senzora u mjerne stanice te integracija digitalnih slikovnih informacija u vidu IATS-a (engl. Image assisted total station). Drugi primjer tehnoloških dostignuća su i bespilotne letjelice koje nisu novost na području inovacija jer postoje već duže vrijeme, međutim njihova je primjena u geodetske svrhe relativno nova. Navedenim razvojem tehnologije bespilotnih letjelica napredovale su i mogućnosti snimanja iz zraka. U ovom ćemo radu predstaviti korištene mjerne sustave i instrumentarij te njihovu praktičnu primjenu za potrebe pregleda, inspekcije, monitoringa i izmjere željezničkog mosta preko rijeke Save u Zagrebu, tzv. „Hendrixovog“ mosta, u sklopu studentske radionice časopisa Geodetskog fakulteta u Zagrebu „Ekscentar“.

KLJUČNE RIJEČI: IATS, bespilotna letjelica, Falcon 8 Trinity, S7 VISION, željeznički most „Sava“.

Description and work principles of Topcon Falcon 8 Trinity and Trimble S7 IATS

ABSTRACT: With the development of total station the primary goal has become the automatization of the measurement proces. Reflectorless distance measurement, robotic total stations nad automatic recognition and tracking paved the way in that direction. The next step is the synergy of photogrammetric and tachimetric measurements by means of integration imaging sensors in robotic total stations and, likewise, the integration of digital imaging information in a form of an IATS (Image assisted total station). Unmanned aerial vehicles are another example of technological achievement which is not a novelty, but nevertheless, their application and implementation in surveying purposes is relatively new. Aerial mapping and surveying improved with the technological development of unmanned aerial vehicles. In this article we will introduce the previously mentioned measuring systems, instruments and their practical implementation in monitoring, inspection and surveying of a railway bridge over the river Sava in Zagreb, so called, “Hendrix” Bridge within a scope of a student workshop arranged by a student magazine „Ekscentar“ at the Faculty of Geodesy at the University of Zagreb.

KEYWORDS: IATS, unmanned aerial vehicle, Falcon 8 Trinity, S7 VISION, railway bridge “Sava”.

1. UVOD

Svjedoci smo konstantnog napretka tehnologije i informatike tijekom proteklih desetljeća. Navedeno nije zaobišlo niti geodeziju kao znanost. Jedan primjer tehnoloških dostignuća su i bespilotne letjelice koje nisu novost na području inovacija jer postoje već duže vrijeme, međutim sama njihova primjena u geodetske mjerne svrhe relativno je nova. Navedenim razvojem tehnologije bespilotnih letjelica napredovale su i mogućnosti snimanja iz zraka. U današnje se vrijeme, padom cijene i povećanjem dostupnosti takvih letjelica, povećava i njihova primjena u privatne svrhe, što ih čini jednom od tehnologija s vrlo visokim potencijalom za budućnost. Međutim, povećanjem broja bespilotnih letjelica potrebno je poštovati i određene pravne regulative kako bi se lakše regulirala njihova upotreba, ali i smanjila moguća opasnost za ljude i imovinu, koja nastaje kao posljedica nepravilnog ili nepropisnog rukovanja njima.

Sljedeći primjer tehnoloških dostignuća je i razvoj IATS-a (engl. Image Assisted Total Station). IATS sustav predstavlja integraciju robotiziranih geodetskih mjernih stanica (RTS) i slikovnih senzora (Tupek, 2016).

Time se objedinjuje geodetska preciznost mjernih stanica s mogućnošću prikupljanja snimaka predmetnog područja, pri čemu je jedan ili više slikovnih senzora (CCD ili CMOS senzori) integrirano u mjerne stanici. Uz pravilnu kalibraciju, IATS omogućuje prikupljanje precizno georeferenciranih i orijentiranih snimaka. Zajedno s metodama procesiranja snimaka i tehnikama prepoznavanja markica i uzorka omogućuju potpuno novi pristup dosadašnjim geodetskim primjenama, kao što je kod izrade 3D modela objekata (Wagner i dr, 2014), određivanja pomaka građevinskih konstrukcija (Wagner i dr, 2013) i određivanja visinskih razlika (Wagner i dr, 2016).

Osnovni je cilj provedene radionice upoznavanje studenata s novim, prethodno prikazanim tehnologijama, odnosno konkretno s primjenom bespilotnih letjelica i IATS-a za potrebe pregleda, inspekcije i monitoringa mostova, brana, visokih zgrada i tornjeva te nepristupačnih objekata, a u konačnici i usporedba dobivenih rezultata obiju metoda. Za potrebe je radionice tvrtka Geocentar d.o.o. ustupila korištenje bespilotne letjelice Topcon Falcon 8 Trinity, a tvrtka Geomatika Smolčak d.o.o. IATS Trimble S7 Vision.

2. OPIS I SPECIFIKACIJE INSTRUMENTATA

Kao što je već u prethodnom poglavlju navedeno, u sklopu ovog dijela radionice korišteni su bespilotna letjelica Topcon Falcon 8 Trinity, koju je za potrebe radionice ustupila tvrtka Geocentar d.o.o, generalni zastupnik tvrtki Topcon i Sokia za Republiku Hrvatsku, te IATS Trimble S7 Vision, koji je ustupila tvrtka Geomatika Smolčak d.o.o, generalni zastupnik tvrtke Trimble. U ovom se poglavlju ukratko predstavljaju navedeni mjerni instrumenti.

2.1. BESPILOTNA LETJELICA FALCON 8 TRINITY

Falcon 8 Trinity je bespilotna letjelica tvrtke Topcon (Slika 2.1.). Riječ je o oktokopteru, podvrsti koptera s osam rotora. Ovakav dizajn pruža inherentnu razinu stabilnosti, dok integrirana elektronika radi kako bi zadržala kopter vodoravnim u prostoru i pretvorila unos naredbi operatera ili autopilota u smjer u kojem treba letjeti. Falcon 8 Trinity bespilotna letjelica idealno je rješenje za inspekciju i praćenje te manje projekte kartiranja ili terenske izmjere s ograničenim prostorom za uzlijetanje ili slijetanje, primjerice kod manjih gradilišta ili u naseljenim mjestima (Topcon, 2015).

Po konstrukciji je ova letjelica V-oblika, oblika koji čine osovine rotora letjelice. Okvir je letjelice u potpunosti izrađen od karbonskih vlakana te je sama letjelica izrazito lagana, s maksimalnom težinom polijetanja od 2.3 kilograma (Topcon, 2015). Glavni je dio letjelice njezino tijelo unutar kojega su ugrađeni svi ključni senzori i postolje za digitalni fotoaparati. Glavno korisničko sučelje letjelice, prikazano na slici 2.2, bazna je jedinica za daljinsko upravljanje (engl. Mobile Ground Station). Bazna jedinica i Falcon 8 bespilotna letjelica međusobno su kontinuirano višestruko povezane dvama neovisnim radio modulima frekvencije 2.4 GHz. Njihova je glavna svrha upravljanje letjelicom i digitalnim fotoaparatom te prijenos svih podataka leta. Uz navedeno, ugrađeni analogni videoprijamnik frekvencije 5.8 GHz omogućava prijenos snimke fotoaparata na HD videomonitor bazne jedinice u realnom vremenu. Sve navedeno omogućava korisniku samostalno upravljanje bespilotnom letjelicom u nepristupačnom i opasnom terenu.



Slika 2.1. Bespilotna letjelica Topcon Falcon 8 Trinity

Ovisno o konkretnoj primjeni u praksi postoje dva Falcon 8 modela koja se razlikuju po ugrađenom digitalnom fotoaparatu:

- GeoEXPERT – uključuje RGB digitalnu kameru visoke rezolucije – Sony Alpha 7R (slika 2.3a); primjena prvenstveno kod geodetskog mjerenja, kartiranja i modeliranja
- InspectionPRO – uključuje RGB digitalnu kameru i IR senzor – Panasonic Lumix DMC-TZ71 + FLIR TAU 640 (slika 2.3b) ili videokameru – Sony HDR-PJ810E (slika 2.3c); primjena prvenstveno kod monitoringa i industrijske kontrole.



Slika 2.2. Bazna jedinica za daljinsko upravljanje (Topcon 2015)



Slika 2.3. (odozgo prema dolje: a, b, c) Digitalne kamere u različitim modelima bespilotne letjelice Falcon 8 Trinity

Falcon 8 bespilotna letjelica opremljena je kontrolnom jedinicom (tzv. autopilotom) AscTec® Trinity koji funkcionira na principu umjetne inteligencije. Autopilot kontinuirano prikuplja i analizira podatke inercijalne mjerne jedinice (engl. IMU – Inertial Measurement Unit) uključujući podatke integriranog GPS-a te uzimajući u obzir sve ostale aspekte leta.

Kao i svaka komercijalna bespilotna letjelica, tako i Falcon 8 Trinity dolazi s programskim paketom za izradu plana leta, konkretno Navigator Survey softverom. Intuitivno korisničko sučelje softvera za izradu plana leta omogućuje, u samo nekoliko klikova, precizno definiranje ruta i svih relevantnih parametara leta i parametara fotoaparata za prikupljanje fotografija objekta koji se snima. Nadalje, Falcon 8 omogućuje korisniku i manualno letenje, pri čemu korisnik sam upravlja letjelicom i snima fotografije. U terenskom su dijelu radionice provedena oba načina letenja s obzirom na to da u određenim situacijama ovakve vrste snimanja objekta nije moguće precizno definiranje plana leta. Detaljnije je pojašnjeno u poglavlju 3.2.

Sve tehničke specifikacije bespilotne letjelice Topcon Falcon 8 Trinity ukratko su prikazane u tablici 2.1.

SUSTAV BESPILOTNE LETJELICE	
Tip	Oktokopter V oblika
Dimenzije	770 x 820 x 125 mm
Motori	8 električnih motora
Dijametar rotora	20 cm (svaki 6 grama)
Maksimalna težina	2.3 kg
Vrijeme letenja	12 – 22 minute
Maksimalni doseg letenja	1 km
Podnošljiva brzina vjetrova	Do 15 m/s
NAVIGACIJSKI SENZORI	
AscTec Trinity (IMU, barometar i kompas)	
AscTec GPS visokih performansi (GNSS)	
MAKSIMALNA BEZINA U LETU	
Ručni mod	16 m/s
Visinski mod	5 m/s
GPS mod	4.5 m/s
MAKSIMALNO UZLETANJE	
Ručni mod	6 – 10 m/s
Visinski mod	3 m/s
GPS mod	3 m/s
BEŽIČNA KOMUNIKACIJA/DALJINSKO UPRAVLJANJE	
2 x neovisna linka za upravljanje letjelicom i prijenos podataka (2 x 2.4 GHz FHSS)	
1 analogni video prijamnik (5.8 GHz; 25 mW)	
NAPAJANJE	
LiPo baterija (mAh): PP 6250/3 ćelije 6250 (~ 426g)	
DODATNA OPREMA	
Digitalna kamera Sony Alpha 7R (GeoEXPERT)	
Digitalna kamera Panasonic Lumix TZ71+ infracrvena kamera FLIR TAU 640 (InspectionPRO)	
Sony camcorder HDR-PJ810E (InspectionPRO)	

Tablica 2.1. Tehničke specifikacije bespilotne letjelice Topcon Falcon 8 Trinity (Topcon 2015)

2.2. IATS TRIMBLE S7 VISION

U sklopu radionice korišten je i IATS S7 VISIONh (slika 2.4.), geodetska mjerna stanica tvrtke Trimble. Navedeni instrument kombinira skeniranje, snimanje i izmjeru s ciljem kreiranja 3D modela, visoko precizne dokumentacije vizualiziranjem područja izmjere te formiranja oblaka točaka (engl. Point clouds). Uz integriranu tehnologiju 3D skeniranja, određivanja udaljenosti bez reflektora (engl.

Direct Reflex, DR), servo upravljanja, visoke stabilnosti sustava mjerenja i ponavljanja mjerenja u svim uvjetima, npr. vjetar, razne turbulencije i neželjena gibanja – potonuće stativa, visokog 24-satnog sustava zaštite Locate2Protect i snažne terenske (Trimble Access) i uredske softvere (Trimble Business Center) omogućuje snalaženje u svim situacijama i povećava produktivnost terenskog rada.



Slika 2.4. Trimble S7 VISION totalna stanica

MJERENJE KUTOVA	
Metoda	Apsolutno očitavanje
Točnost (DIN 18723)	1"
Minimalno očitavanje	0.1"
Korekcija nagiba	Dvoosni kompenzator
Područje kompenzacije	± 5.4°
Točnost kompenzatora	0.5"
MJERENJA DULJINA	
<i>Mod s prizmom</i>	
Točnost (ISO) – klasično / praćenje	1 mm + 2 ppm / 4 mm + 2 ppm
Doseg – klasično / LongRange mod	0.2 m do 2.500 m / 5.500 m
Vrijeme mjerenja (klasično / praćenje)	1.2 s / 0.4 s
<i>Mod bez prizme – DR plus</i>	
Točnost (ISO) – klasično / praćenje	2 mm + 2 ppm / 4 mm + 2 ppm
Vrijeme mjerenja (klasično / praćenje)	1 – 5 s / 0.4 s
Doseg	1 m do 1.300 m
Izvor svjetlosti za DR bez prizme	Pulsirajuća laserska dioda 905 nm; laser klase 1.
HORIZONTIRANJE	
Dozna libela u podnožnoj ploči	8' / 2 mm
Električni dvoosni kompenzator	1000 m / 1000 m
Rezolucija kompenzatora	0.3"
SERVO SUSTAV	
<i>MagDrive servo tehnologija</i>	
Brzina rotacije	115° / sek
Brzina promjene položaja durbina	2.6 sek
Brzina okreta od 180°	2.6 sek
Kočnice i fini pomak	Servo tehnologija, beskonačni vijci
CENTRIRANJE	
Sustav centriranja	Trimble 3-pin
Optički visak	Ugrađeni optički visak
Povećanje / žarišna daljina	2.3x / 0.5 m - beskonačnosti
DURBIN	
Povećanje	30x
Vidno polje	2.6 m @ 100 m
Žarišna daljina	1.5 m
Osvjetljenje nitnog križa	Podesimo (10 stupnjeva)
Autofokus	Standardan
AUTOLOCK I ROBOTIZACIJA	
Pasivne prizme	500 m – 700 m
Trimble MultiTrack Target	800 m
Trimble ActiveTrack Target	500 m
<i>Preciznost viziranja na prizme na 200 m (Autolock)</i>	
Pasivne prizme	< 2 mm
Trimble MultiTrack Target	< 2 mm
Trimble ActiveTrack Target	< 2 mm
Najkraća udaljenost traženja	0.2 m
Vrijeme traženja	2 – 10 sek

Tablica 2.2. Tehničke specifikacije mjerne stanice Trimble S7 VISION (Trimble 2015)

U prikazanoj tablici navode se potpune tehničke specifikacije navedene geodetske mjerne stanice Trimble S7 VISION. Najbitniji je aspekt mjerne stanice za provedenu radionice integrirana Trimble VISION tehnologija, specifičan IATS sustav u vidu pregledne kamere ispod objektiva, koji omogućuje direktno nadgledanje i upravljanje procesom izmjere tijekom prijensa snimke u realnom vremenu na kontrolor kojim se upravlja mjernom stanicom, te dokumentiranje procesa izmjere snimanjem slika i mogućnošću bilježenja skica i bilježaka direktno na takvim slikama. Trimble VISION kamera automatski optimira vidno polje, dubinu polja, rezoluciju, ekspoziciju te održava kvalitetu videosnimaka u uvjetima loše osvjetljenosti. Omogućuje i odabir rezolucije i kompresije snimke kako bi se minimalizirala veličina prikupljenih podataka u JPEG slikovnom formatu. U tablici 2.3 navode se tehničke specifikacije Trimble VISION kamere.

Senzor	CMOS
Fokalna udaljenost	23 mm (ekvivalent 127 mm fokalne udaljenosti kod 35 mm formata slike)
Fiksiran fokus	12 m
Dubina polja	Od 3m do ∞
Rezolucija	3.1 Megapiksel (2048 x 1536)
Vidno polje	16.5° x 12.3°
Uvećanje	4 koraka (1x, 2x, 4x, 8x) Digitalni
Rata osvježenja	5 fps u USB Mode

Tablica 2.3. Tehničke specifikacije Trimble VISION kamere (Joyce et al. 2012)

Trimble S7 VISION mjernom stanicom može se u potpunosti upravljati pomoću eksternog uređaja. Neki od njih su Trimble TSC3 (slika 2.5a), Trimble CU kontroler (slika 2.5b) te Trimble Tablet Rugged PC (slika 2.5c).



Slika 2.5. Uređaji za upravljanje mjernom stanicom Trimble S7:
a) Trimble TSC3, b) Trimble CU kontroler, c) Trimble Tablet Rugged PC

3. TERENSKI RAD

Središnji dio radionice svakako je terenski dio primjene bespilotne letjelice Topcon Falcon 8 Trinity i IATS S7 VISIONA za potrebe snimanja željezničkog mosta preko rijeke Save u Zagrebu. Studenti pri tome imaju mogućnost upoznavanja s navedenom tehnologijom te svim segmentima terenskoga rada i obrade podataka. U ovom se poglavlju u potpunosti elaborira terenski rad s navedenim instrumentima.

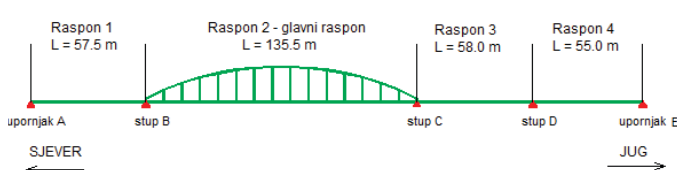
3.1. ŽELJEZNIČKI MOST „SAVA“

Kao što je već navedeno, terenski je dio radionice proveden kod zelenog željezničkog mosta preko rijeke Save u Zagrebu, popularnog naziva „Hendrixov“ most (slika 3.1).



Slika 3.1: Željeznički most preko rijeke Save u Zagrebu

Željeznički je most dvokolosiječni most čelične konstrukcije preko četiri raspona, ukupne duljine 306 m i širine 9.6 m. Statički je sustav mosta kontinuirana, slobodno oslonjena greda koja je u glavnom rasponu ojačana lukom (tzv. Langerova greda). Glavni je raspon dug 135.5 m, dok su preostali rasponi dugi 57.5 m, 58.0 m i 55.00 m (slika 3.2).



Slika 3.2. Rasponi željezničkog mosta (Marendić i dr. 2016)

3.2. RAD S BESPILOTNOM LETJELICOM FALCOM 8 TRINITY

Prije provedbe samog snimanja željezničkog mosta s bespilotnom letjelicom na terenu potrebno je provesti određene pripremne radnje. Navedeni pripremni radovi mogu se podijeliti na sljedeće faze:

- rekognosciranje terena
- postavljanje orijentacijskih točaka i određivanje njihovih koordinata
- završni pregled i priprema sustava bespilotne letjelice.

Rekognosciranje terena osnovni je korak u sklopu pripremnih radova prije samog snimanja. Temeljni je cilj upoznavanje s objektom snimanja te njegovom okolinom. Razmatraju se sve moguće fizičke prepreke tijekom samog snimanja (npr. drveće, dijelovi konstrukcije mosta, naponski vodovi i dr), smjerovi letenja, lokacije postavljanja orijentacijskih točaka, preglednost i dr, a sve s izričitim naglaskom na sigurnost svih sudionika radionice i ostalih osoba koje je nalaze u okolini.

S osnovnim ciljem izrade mjernog „geodetskog“ modela željezničkog mosta te njegovog apsolutnog pozicioniranja, na mostu je nužno postavljanje orijentacijskih točaka. Budući da, zbog jasnih sigurnosnih razloga, Hrvatske željeznice nisu odobrile ulazak sudionika radionice na most, nije bilo moguće postavljanje orijentacijskih točaka po samom mostu tako da maksimalno odgovaraju svim potrebama snimanja bespilotnom letjelicom. Iz toga su razloga korištene mjerne markice otprije postavljene na mostu (slika 3.3).



Slika 3.3. Otprije postavljene mjerne markice na zapadnoj strani željezničkog mosta

Naime, tijekom probnog ispitivanja mosta nakon njegove obnove, u lipnju 2015. godine, na mostu je postavljena 21 mjerna markica samo na njegovoj zapadnoj strani, po cijeloj dužini mosta. Iako raspored navedenih mjernih markica ne odgovara u potpunosti potrebama ovakve vrste izmjere, nije postojala druga opcija. Na istočnoj je strani mosta, zbog navedenog ograničenja ulaska na most, postavljeno nekoliko mjernih markica na upornjacima i stupovima mosta na mjestima na koja se moglo doći rukom. Primjer novopostavljenih mjernih markica prikazan je na slikama 3.4a i b.

Ravninske koordinate orijentacijskih točaka određene su u službenom projekcijskom koordinatnom sustavu RH – HTRS96/TM, odnosno visinske koordinate u službenom visinskom referentnom sustavu RH – HVRS71. Određivanje njihovih koordinata provedeno je tahimetrijskom metodom sa slobodnog stajališta čije su koordinate određene sukladno



Slika 3.4. Novopostavljene mjerne markice na istočnoj strani mosta – stup B; a) položaj mjerne markice, b) uvećani prikaz

free station metodi rada. Koordinate slobodnog stajališta određene su mjerenjem na prethodno realiziranu geodetsku osnovu na terenu.

Nakon svih navedenih koraka, a prije samog početka izmjere bespilotnom letjelicom, provodi se završni pregled i priprema sustava bespilotne letjelice. Kontrolira se stanje i napunjenost baterija letjelice, bazne jedinice i uređaja za videoprikaz, ispravnost rada svih sustava, smjer i jakost vjetera te sigurnost svih osoba u okolini.

Uzimajući u obzir veličinu željezničkog mosta, jasno je kako se kompletna izmjera cijelog mosta ne može obaviti u jednom letu. Ograničavajući faktor je, naravno, baterija letjelice. Jedan let traje otprilike 15 do 20 minuta. U sklopu je radionice kod snimanja željezničkog mosta Falcon 8 bespilotnom letjelicom ukupno provedeno šest letova.

Prvi se let razlikovao od ostalih letova bespilotnom letjelicom. Razlika je u tome što je taj let izveden sukladno definiranom planu letenja, pri čemu se željeznički most prelijeće, što rezultira „tlocrtnim“ fotografijama mosta. Planiranje leta letjelice automatizirani je proces i odvija se na samom terenu, u realnom vremenu, pri čemu je letjelica već poletjela pomoću prethodno elaboriranog softvera za izradu plana leta. Naime, softver skida satelitske ili open street karte područja snimanja po izboru korisnika. Preporučljivo je da se taj dio obavi prije samog terena, u uredu, zbog pristupa internetu. U navedenom se softveru zadaje početna točka, smjer i širina, odnosno na taj se način definira pravokutno područje koje Falcon 8 bespilotna letjelica mora obuhvatiti na snimkama. Također, zadaju se uzdužni i poprečni preklap između fotografija (u konkretnom slučaju 70 % za oba preklopa) te visina i brzina leta. Visina leta direktno definira i rezoluciju snimaka terena (engl. Ground Sampling Distance – GSD), pri čemu let na visini do 100 m rezultira rezolucijom 2.35 cm (URL 6). Nakon definiranja svih navedenih parametara softver sam računa i prikazuje plan leta. Na kraju se pokreće automatsko letenje Falcon 8 Trinity.

Zbog svih karakteristika ovakve vrste izmjere objekata, mnogih prepreka i sigurnosti, sve ostale letove provele su manualnim upravljanjem bespilotnom letjelicom osposobljene osobe tvrtke Geocentar d.o.o. koja je i ustupila bespilotnu letjelicu za potrebe ove radionice. Prilikom manualnog upravljanja ne definira se softverski plan letenja, već ovlašteni operator radiovezom upravlja letjelicom tako da ju lagano vozi uz željeznički most i pritom snima fotografije vodeći računa o pokrivenosti i preklapu između snimaka (slika 3.5).



Slika 3.5. Operater tijekom manualnog upravljanja bespilotnom letjelicom

Važno je napomenuti da tijekom snimanja fotografija softver automatski pohranjuje podatke senzora letjelice i pridružuje ih odgovarajućim fotografijama u obliku metapodataka. Pohranjuju se položajni podatci integriranog GPS uređaja (φ , λ i h) te podatci inercijalnog sustava (kutovi pitch, roll i yaw). Na ovaj se način, u kasnijim postupcima obrade podataka u Agisoft PhotoScanu, provodi jednostavnije i brže povezivanje svih prikupljenih snimaka.

3.3. RAD S IATS-OM S7 VISION

Za potrebe izmjere željezničkog mosta preko rijeke Save u Zagrebu, tzv. „Hendrixovog“ mosta, IATS-om korištena je postojeća geodetska osnova mosta. Izmjera je obuhvaćala snimanje dviju panoramskih snimaka. Temeljni princip ove metode jednak je postupku stereofotogrametrije.



Slika 3.6. Bespilotna letjelica Falcon 8 Trinity tijekom snimanja željezničkog mosta



Slika 3.7. Studenti u procesu definiranja parametara snimanja te IATS u fazi automatskog snimanja

Objekt interesa se promatra s dva različita stajališta, a kombinacijom mjerenih podataka (snimaka) dobiva se stereopar, tj. trodimenzionalni mjeri model (Tupek, 2016). Pritom je moguće snimanje upotrebom dvaju ili jednog IATS-a, premještanjem s jednog stajališta na drugo, što je u ovom konkretnom slučaju i učinjeno.

Prilikom odabira pogodnih stajališta vođeno je računa o geometrijskoj konfiguraciji postava, duljini bazne linije i udaljenosti od objekta kako bi se obavilo kvalitetno presijecanje te odredio precizni položaji detalja interesa. Dobru geometriju čini presjek zraka s dva stajališta pod kutom što bližim 90° (prihvatljivo od 30° do 120°), ne prevelikom udaljenošću od objekta uspoređujući s duljinom bazne linije. Općenito, što je instrument bliži objektu, precizniji su dobiveni položaji detalja. Stajališta bi trebala biti dobro pozicionirana s dostupnom dobrom orijentacijom. Konkretno, za stajališta su odabrane točke P1 i P4 postavljene geodetske osnove.

Nakon postavljanja mjerne stanice Trimble S7 VISION i obavljanja svih nužnih radnji (horizontiranje te izmjera visine instrumenta) uključena je opcija za daljinsko upravljanje stanice i direktni videoprikaz iz pregledne kamere na kontroleru. Izvršena je orijentacija na sve vidljive točke geodetske osnove automatskim prepoznavanjem reflektora te daljinskim upravljanjem na zaslonu kontrolera. Ovo je učinjeno s ciljem rješavanja vanjske orijentacije budućih snimaka panorame. Za daljinsko upravljanje navedene geodetske mjerne stanice korišten je Trimble Tablet Rugged PC Yuma 2 tablet računalu.

Slijedilo je definiranje područja interesa iscrtavanjem poligona na ekranu tableta kojim je označeno cijelo područje željezničkog mosta te je pokrenuto snimanje panorame. Nakon uključivanja opcije izrade panorame IATS s ugrađenim servomotorima automatski upravlja instrumentom i automatski bilježi snimke preglednom kamerom. Isti je postupak ponovljen i na drugom stajalištu.

Panorama je, u stvari, mozaik ili niz snimaka čiji broj ovisi o veličini područja interesa te preklopa snimaka. Konkretno, kod izmjere za potrebe radionice korišten je preklap između snimaka u iznosu od 30 %. Pri snimanju se pohranjuju podatci vanjske orijentacije senzora, tj. očitavanja kutova mjerne stanice i kalibracijski parametri, odnosno očitavanja kompenzatora instrumenta, te se pridružuju snimkama u obliku metapodataka. Spajanje panorama izvodi se pomoću specifičnih algoritama koji na snimkama prepoznaju iste, karakteristične detalje objekata i područja interesa te na temelju prostornog presjeka rekonstruiraju površinu objekta ili područja. Preduvjet je stabilnost i jasna definiranost objekta (markica) pod različitim uvjetima osvjetljenja. Na slici 3.8 prikazuje se niz zabilježenih snimaka mosta.

Postojeće markice na zapadnoj strani mosta, čije su koordinate prethodno određene klasičnim mjerenjima, poslužit će u obradi podataka povezivanjem slika te definiranjem mjerila krajnjeg modela.



Slika 3.8. Niz snimljenih slika u svrhu izrade panorame

AUTORI | AUTHORS

Antonio Tupek, mag. ing. geod. et geoinf, e-mail: atupek@gmail.com

Andrej Jertec, univ. bacc. ing. geod. et geoinf, diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: ajertec@geof.hr