

**Momir MITROVIĆ, dipl.inž.geod.<sup>1</sup>**  
**Prof. dr Dragan MIHAJLOVIĆ, dipl.inž.geod.<sup>1</sup>**  
**Doc. dr Željko CVIJETINOVIĆ, dipl.inž.geod.<sup>1</sup>**  
**Nenad BRODIĆ, mast.inž.geod.<sup>1</sup>**

**PRIMENA BLISKOPREDMETNE  
FOTOGRAMetriJE ZA POTREBE  
IZRADE GEODETSKO-TEHNIČKE  
DOKUMENTACIJE OBJEKATA  
VISOKOGRADNJE**

0352-2733,47 (20014), p. 131-162

UDK: 528.7 : 624.9  
STRUČNI ČLANAK

**Rezime**

U ovom radu se razmatraju načini primene digitalne fotogrametrije za potrebe formiranja geodetsko-tehničke dokumentacije za objekte visokogradnje. Na osnovu svetskih i sopstvenih iskustava u radu daje se prikaz procedure za izradu geodetsko-tehničke dokumentacije u potpuno digitalnom obliku. Postupak izrade tehničke dokumentacije je podeljen u dve logične faze. Prva se sastoji iz fotogrametrijskog snimanja, neophodnih terenskih merenja i izrade arhivske dokumentacije. Drugu fazu čini izrada detaljne geometrijske dokumentacije kao što su:

---

<sup>1</sup> Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Rad primljen oktobra 2014.

precizni digitalni ortofoto, 2D, 2.5D ili 3D model objekta i slično, sve u digitalnom obliku. S obzirom da predstavlja najsloženiji i najskuplji deo izrade tehničke dokumentacije, ova faza se ne radi obavezno, nego po potrebi.

**Ključne reči:** Bliskopredmetna fotogrametrija, Visokogradnja, Arhitektura, Arhiviranje, Rekonstrukcija.

## **APPLICATION OF CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY FOR THE PRODUCTION OF THE SURVEYING TECHNICAL DOCUMENTATION FOR BUILDING CONSTRUCTIONS**

### **Abstract**

Methods for application of digital photogrammetry for building surveying technical documentation for building constructions are considered in the paper. Based on our own and world-wide experiences, procedure for the production of surveying technical documentation in completely digital form is presented in the paper. The procedure of making technical documentation is divided in two logical phases. The first one is comprised of photographic recording, required field measurements and of making archive documentation. The second phase is comprised of making detailed geometric documentation, such as: precise digital orthophoto, 2D, 2.5D or 3D obje-

ct model and the like, all in digital form. Considering that this phase is the most complex and the most expensive part of making technical documentation, it is not compulsory, but optional, i.e. if needed.

**Key words:** Close-range photogrammetry, Buildings, Architecture, Archiving, Reconstruction.

## 1. UVOD

Primena fotogrametrije za potrebe izrade geodetsko-tehničke dokumentacije objekata visokogradnje ima dugu tradiciju. Prva primena zabeležena je davne 1860. godine kada je Albrecht Meydenbauer [1], nakon nesreće koja mu se prethodno dogodila, tokom snimanja katedrale u gradu Wetzlar u Nemačkoj, došao na ideju da direktna merenja zameni indirektnim merenjima sa fotografijom. Njegova ideja da se sa fotografija može dobiti mnogo više informacija i postići mnogo veća tačnost o objektu snimanja u odnosu na klasičnu metodu snimanja i danas je i više nego veoma aktuelna.

Sve dok upotreba računara u svakodnevnim inženjerskim poslovima nije postala standardna praksa, u te svrhe korišćena je analogna terestrička fotogrametrija koju je karakterisala spora i skupa izrada tehničke dokumentacije. U periodu analogne fotogrametrije izrada tehničke dokumentacije zasnivala se isključivo na korišćenju specijalnih terestričkih kamera za snimanje na staklenim

pločama ili filmu. Grafička stereorestitucija tako dobijenih snimaka izvodila se na analognim stereorestitucionim instrumentima (specijalnim ili univerzalnim). Tehnološki napredak u izradi tehničke dokumentacije koji je donela analitička fotogrametrija u odnosu na analognu ogledao se u većoj fleksibilnosti analitičkih instrumenta za orijentaciju i stereorestituciju terestričkih snimaka, kao i u mogućnosti korišćenja amaterskih-nemernih i polumernih kamera. Suštinske promene u primeni fotogrametrije u izradi tehničke dokumentacije objekata dogodile su se tek ekspanzijom digitalne fotogrametrije.

Svrha izrade geodetsko-tehničke dokumentacije jeste da se na odgovarajući način dokumentuje postojeće stanje geometrije objekta. Cilj ovoga može da bude inspekcija objekta, izrada podloga za rekonstrukciju i sanaciju, usaglašavanje novih objekata sa postojećom ambijentalnom celinom ili izrada tehničke dokumentacije za potrebe arhive. U mnogim zemljama postoji zakonska obaveza dokumentovanja objekata od velike arhitektonske važnosti.

## **2. IZRADA GEODETSKO-TEHNIČKE DOKUMENTACIJE U DIGITALNOM OBLIKU**

Pojava digitalne fotogrametrije otvorila je potpuno nove mogućnosti u izradi geodetsko-tehničke dokumentacije objekata visokogradnje. Promene su veoma značajne i odnose se, ne samo na postojeće faze rada kao što su:

- snimanje,
- izrada grafičke dokumentacije,
- arhiviranje

već i na mogućnost izrade potpuno novih digitalnih produkata kao što su:

- digitalni ortofoto i
- 3D model objekta.

## ***2.1 Faze izrade tehničke dokumentacije***

Postupak izrade geodetsko-tehničke dokumentacije je podeljen u dve logične faze. Prva se sastoji iz fotogrametrijskog snimanja, neophodnih terenskih merenja i izrade arhivske dokumentacije. Arhivska dokumentacija je potpuno digitalna i čine je tri celine:

- digitalni fotogrametrijski snimci,
- digitalni ortofoto kao preliminarna dokumentaciona podloga i
- elaborat realizacije u digitalnom obliku koji, pored opštih informacija o objektu, sadrži i sve tehničke podatke neophodne za nastavak fotogrametrijskih radova u drugoj fazi.

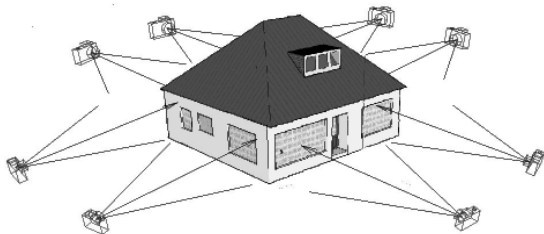
Drugu fazu čini izrada detaljne geometrijske dokumentacije kao što su: osnove, izgledi fasada, preseci, 2D, 2.5D i 3D model objekta, precizni ortofoto, sve u digitalnom vektorskom, rasterskom ili kombinovanom obliku. S obzirom da predstavlja najsloženiji i najskuplji deo izrade tehničke dokumentacije, ova faza se ne radi obavezno, nego po potrebi.

Ovakva podela postupka izrade geodetsko-tehničke dokumentacije na dve faze omogućava da se prva faza uradi za relativno kratko vreme i sa relativno malo finansijskih sredstava. Cilj ove faze je prikupljanje preventivnih informacija o objektu, jer se postojeće stanje objekata “zamrzava” u trenutku stvaranja geodetsko-tehničke dokumentacije. Istovremeno, stvaraju se preduslovi da se druga faza – izrada detaljnih grafičkih dokumenata, radi bilo kada kasnije bez ikakve opasnosti po gubitak informacija. U nastavku rada biće opisani najznačajniji elementi predložene procedure sa primerima iz prakse.

## ***2.2 Plan snimanja***

Uspešna realizacija izrade geodetsko-tehničke dokumentacije zahteva odgovarajuće pripreme. Pripreme se odnose na inspekciju objekata i utvrđivanje obuhvata snimanja. Tom prilikom se vodi skica dispozicije objekata koja treba da posluži za pravljenje plana snimanja i vrši provera svih kritičnih elemenata budućeg plana snimanja (vidljivost, maksimalno zahvatanje budućih snimaka po visini i širini i sl.). Polazni parametri za izradu plana snimanja su i zahtevana tačnost izlaznih digitalnih produkata i raspoloživa oprema za snimanje (kamera, objektiv, platforma za snimanje).

Važna činjenica pri pravljenju plana snimanja je da svaka tačka objekta mora biti vidljiva bar na dva snimka. Ovde treba napomenuti da je moguće delove objekta sni-



**Slika 1.** - *Ilustracija plana snimanja*

miti u različitim razmerama i tako po potrebi dobiti detalje objekta bolje tačnosti i veće detaljnosti. Kao rezultat izrade plana snimanja dobijaju se približne dispozicije (položaj i orijentacija) svih planiranih snimaka (*slika 1*), tako da se ispune svi zahtevi tačnosti korišćenjem raspoložive opreme za snimanje.

## **2.3 Snimanje**

### *2.3.1 Izbor kamere za snimanje*

Jedno od najvažnijih pitanja od kojih zavisi kvalitet finalne dokumentacije jeste izbor kamere za snimanje. Digitalne SLR<sup>2</sup> kamere generalno daju bolje rezultate od kompaktnih digitalnih kamera. Prednost se pre sve-

---

<sup>2</sup> SLR - *Single-Lens Reflex* - kamera kod koje se pomoću sistema prizama i ogledala obezbeđuje da se pre fotografisanja, posmatranjem kroz objektiv kamere, proverí stvaran obuhvat fotografije.

ga svodi na opremljenost kvalitetnijim objektivima, veću ISO osetljivost senzora, bolju radiometrijsku rezoluciju senzora, mogućnost kraće ekspozicije, fizički veće senzore, veću mogućnost kontrole parametara snimanja itd.

Na tržištu postoji veliki broj kvalitetnih kamera, a trenutno neke od najboljih za ovu primenu su: Nikon D810, Canon EOS 1D, Canon 6D, Nikon D4, Sony Alpha 99 itd. Primeri dati kasnije urađeni su uglavnom kamerama Canon EOS 350D i Canon EOS 5D Mark II.

### *2.3.2 Kalibracija kamere*

S obzirom da geometrijski kvalitet snimaka ima presudnu važnost na tačnost dobijenih produkata, pre početka obrade snimljenog materijala moraju biti poznati geometrijski parametri sistema za snimanje (kamere i objektiva) [4]. Pored toga, potrebno je obezbediti da se geometrija sistema za snimanje ne menja, tj. ne smeju se koristiti zum objektiv, autofokus i drugi softverski i hardverski dodaci u kameri koji menjaju geometriju sistema.

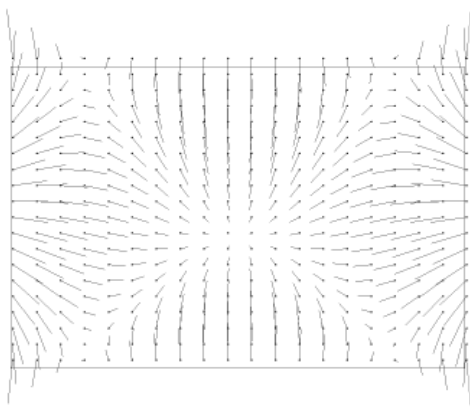
U vreme analogne i analitičke fotogrametrije, a i u početku digitalne ere, proizvodile su se tzv. merne i polumerne kamere koje su posebno konstruisane i kalibrisane od strane proizvođača i na taj način se obezbeđivao geometrijski kvalitet dobijenih snimaka [8]. Danas se proces kalibracije jednostavno izvodi, kvalitet izrade profesionalnih digitalnih SLR kamera je na visokom nivou, a poboljšanja u proizvodnji su česta tako da su glavni pro-



izvođači mernih i polumerkih kamera (*Leica, Rollei,...*) odustali od dalje njihove proizvodnje.

Proces kalibracije kamere podrazumeva određivanje parametara unutrašnje orijentacije kamere (žične daljine objektiva i koordinata glavne tačke snimka), kao i parametara geometrijskih deformacija nastalih kao posledica nesavršenosti konstrukcije sistema sočiva (radijalne i decentrične distorzije (*slika 2*) [5]).

Proces kalibracije se izvodi na osnovu snimanja kalibracionog polja, u laboratorijskim uslovima ili na terenu,



**Slika 2.** - *Prikaz deformacija snimka usled distorzija sočiva utvrđenih tokom kalibracije kamere Canon EOS 5D Mark II*

koje je pokriveno velikim brojem tačaka sa poznatim pozicijama [6]. Na osnovu većeg broja snimaka dolazi se do ocene parametara unutrašnje orijentacije sistema za snimanje i distorzija sa ocenom tačnosti ocenjenih parametara. Iz ovih ocena dolazi se do konačne tačnosti merenja na snimku, što nam je osnov za dalju ocenu nesigurnosti izlaznih produkata (koordinata tačaka na objektu dobijenih na osnovu snimanja kalibrisanim sistemom).

### 2.3.3 Proces snimanja

Nakon kratke pripreme koja se odnosi na postavljanje fotosignalisanih tačaka, snimanje teče po unapred napravljenom planu snimanja.



**Slika 3.** - *Platforme za snimanje: snimanje iz autodizalice (levo), sistem za snimanje iz balona (desno)*

Snimanje se izvodi iz ruke ili sa stativa sa zemlje ili iz korpe na pokretnoj teleskopskoj autodizalici za niže objekte, ili iz balona [9] ili bespilotnih letelica [10] za objekte veće visine i nepristupačne objekte.

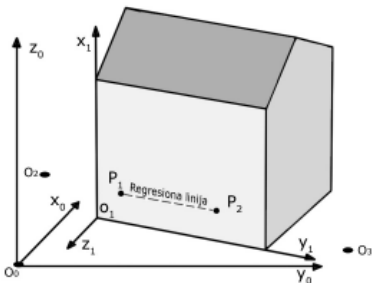
Prilikom snimanja isključuju se automatske procedure u kameri koje mogu da naruše geometrijske odnose, a snima se u maksimalnoj rezoluciji u RAW (sirovom) formatu, kako bi se kasnije u obradi došlo do što kvalitetnijih snimaka.

Nakon svakog dana snimanja ili nakon svake završene celine, vrši se pregled snimljenog materijala i proverava se radiometrijski kvalitet snimaka.

## **2.4 Koordinatni sistem objekta**

### *2.4.1 Definisavanje koordinatnog sistema*

Koordinate orijentacionih tačaka određuju se u lokalnom koordinatnom sistemu koji se bira proizvoljno u odnosu na objekat ( $X_1, Y_1, Z_1$  na slici 4). Geodetske tačke preko kojih se na terenu realizuje lokalni koordinatni sistem i sa kojih se vrši određivanje orijentacionih tačaka na fasadi (tačke  $O_0, O_2$  i  $O_3$  na slici 4) nije neophodno materijalizovati, jer se određivanjem orijentacionih tačaka na fasadi to čini indirektno. Ciljni koordinatni sistem ( $Y_1, X_1, Z_1$  na slici 4) definiše se na osnovu nekoliko odabranih tačaka na fasadi ( $P_1, P_2, P_3, \dots$ ), tako da ravan  $Y_1, X_1$  što približnije predstavlja ravan fasade, dve izabrane tačke na fasadi ( $P_1$  i  $P_2$ ) definišu osu  $Y_1$ , a osa  $Z_1$  je upravna na tu ravan.



**Slika 4.** - Transformacija lokalnog koordinatnog sistema ( $Y_0, X_0, Z_0$ ) u koordinatni sistem objekta ( $Y_1, X_1, Z_1$ )

#### 2.4.2 Izbor orijentacionih tačaka

Orijentacione tačke se biraju na samom objektu. One mogu biti veštački signalisane ili odabrane od markantnog detalja na fasadi objekta (*slika 5*). U oba slučaja treba osigurati dobar opis položaja orijentacionih tačaka. Budući da u bliskopredmetnoj fotogrametriji signali na orijentacionim tačkama nisu potrebni za kasniju upotrebu, projekti nisu obimni pa ne traju dugo, a vreme između fotogrametrijskog i geodetskog snimanja je veoma kratko (najčešće istog dana), te stoga nije potrebno da se orijentacione tačke trajno stabilizuju.

Kod radova više tačnosti (5 mm ili tačnije) potrebno je koristiti isključivo veštački signalisane tačke. Ove tačke se obezbeđuju tako što se na predviđenim mestima



**Slika 5.** - Izbor orijentacionih tačaka na primeru objekta na Trgu vojvode Radomira Putnika u Kragujevcu i oblik i izgled markica-signala

na objekat zalepe markice-signali oblika i imaju izgled kao što je prikazano na *slici 5* u donjem desnom uglu.

Za opis položaja najbolje je koristiti digitalni način ilustrovan na *slici 5*. Ovako pripremljene informacije o svim orijentacionim tačkama jednog objekta čine katalog orijentacionih tačaka.

#### 2.4.3 Određivanje orijentacionih tačaka

Sa pojavom totalnih stanica koje omogućavaju merenje dužina bez reflektora, određivanje orijentacionih

tačkaka za potrebe tehničke dokumentacije značajno je efikasnije i pouzdanije. Tome doprinose i standardne mogućnosti automatske registracije podataka, kodiranja atributa uz merene tačke i automatski transfer podataka na računar. Tačnost takvog određivanja sada mnogo više zavisi od mogućnosti izbora dovoljno markantnih tačkaka na objektu, nego od tačnosti uglovnih i linearnih merenja.

S obzirom na primenu triangulacije perspektivnih snopova, broj neophodnih orijentacionih tačkaka je sveden na mnogo manju meru nego što je to bio slučaj kod snimanja u formaciji stereoparova. Međutim, funkcija geodetski određenih tačkaka treba da bude i kontrolna, pogotovo za jako osetljive detalje objekata (najisturenije tačke objekta, važni konstruktivni detalji, važne kote itd). Dakle, sa smanjenjem neophodnih orijentacionih tačkaka dolazi do izražaja potreba za njihovom većom pouzdanošću. Pouzdanost se ovde može povećati primenom sledećih principa:

- dodatnim merenjem ugla i dužine sa druge geodetske tačke, kad god je to moguće;
- izborom parova ili grupa orijentacionih tačkaka koje ispunjavaju određene geometrijske uslove (leže na istoj horizontali, leže na istoj vertikali, leže u istoj dubinskoj ravni fasade itd).

## ***2.5 Orijehtacija snimaka***

Orijehtacija snimaka izvodi se standardnim jednovremenim postupkom izravnanja perspektivnih snopova.

Elementi spoljne orijentacije odnose se na koordinatni sistem objekta ( $X_1, Y_1, Z_1$  na slici 4). Ulazni podaci za izravnanje perspektivnih snopova su terenske koordinate orijentacionih tačaka, podaci unutrašnje orijentacije kamere i merene slikovne koordinate orijentacionih i veznih tačaka. Izlazni rezultati ovog postupka su elementi spoljne orijentacije svih snimaka u bloku perspektivnih snopova. Ovi elementi su neophodni za sledeće faze rada.

Postoje još dva razloga zbog kojih je važno sprovesti postupak izravnanja perspektivnih snopova u okviru predložene procedure. Prvo, ovako dobijeni elementi spoljašnje orijentacije postaće sastavni deo arhivske tehničke dokumentacije, pa će tako predstavljati polaznu tačku rada u bilo kom trenutku nastavka posla. Kako taj trenutak nije vremenski ograničen, značaj izvođenja triangulacije perspektivnih snopova u okviru predložene procedure leži i u tome što se kroz uspešnu realizaciju tog posla istovremeno verifikuje i kvalitet celog procesa rada kroz ocenu tačnosti i pouzdanosti svih merenih veličina. Na taj način, nastavak posla nema nikakvog rizika, bez obzira kada i za koje potrebe on bude iniciran.

## ***2.6 Izrada digitalnog ortofotoa***

Izrada digitalnog ortofotoa fasada objekta predlaže se kao standarni postupak obrade tehničke dokumentacije u prvoj fazi. Naime, na putu od triangulacije perspektivnih snopova pa do digitalnog ortofotoa ostaje još samo jedan suštinski krupan korak, a to je formiranje digitalnog mo-

dela visina (DMV). Kako je često reč o objektima pravi-  
lnih geometrijskih oblika, ovaj problem se u velikoj meri  
može smanjiti grubom apsoksimacijom DMV-a objekta  
srednjim vertikalnim ravnima zidnih platana fasade obje-  
kta. Greška digitalnog ortofotoa koja se javlja kao posledica  
takvog pojednostavljenja DMV-a izražena je samo u tačkama  
koje se nalaze izvan srednje ravni i raste od nadi-  
ra prema perifernim delovima snimaka. Međutim, kako



**Slika 6.** - Štampana forma digitalnog ortofotoa fasade na pri-  
meru Gradske uprave u Banja Luci

digitalni ortofoto u predloženoj proceduri ima za cilj da  
bude samo preliminarna geometrijska podloga za idejna  
sagledavanja geometrije objekta, ima puno opravdanja  
da se u prvoj fazi izrađuje na predloženi način.



## ***2.7 Elaborat realizacije***

Opšti deo elaborata realizacije odnosi se na podatke o organizacijama i licima koja su učestvovala u realizaciji i tehničkoj kontroli posla. Tekstualni deo elaborata realizacije daje se kroz tehnički izveštaj koji sadrži opšte podatke o objektu, o toku posla i o postignutim rezultatima. Elaborat realizacije u delu priloga treba da sadrži sledeće elemente:

- skicu dispozicije objekta sa rasporedom snimališta,
- katalog orijentacionih tačaka sa opisima položaja,
- podatke geodetskih računanja za određivanje orijentacionih tačaka,
- podatke o kameri i izveštaj o kalibraciji kamere,
- izveštaj o rezultatima triangulacije metodom perspektivnih snopova sa dokazom o postignutoj tačnosti i pouzdanosti,
- izravnate elemente spoljne orijentacije svih snimaka.

## ***2.8 Arhiviranje***

Finalni korak prve faze izrade tehničke dokumentacije u predloženoj proceduri predstavlja arhiviranje. Sadržaj digitalne arhive po celinama je sledeći:

- snimci u TIFF formatu,
- digitalni ortofoto u georeferenciranom TIFF formatu,
- elaborat realizacije u PDF formatu.

Naravno, umesto predloženih formata mogu se koristiti i neki drugi formati, ali ovo su trenutno najraspro-

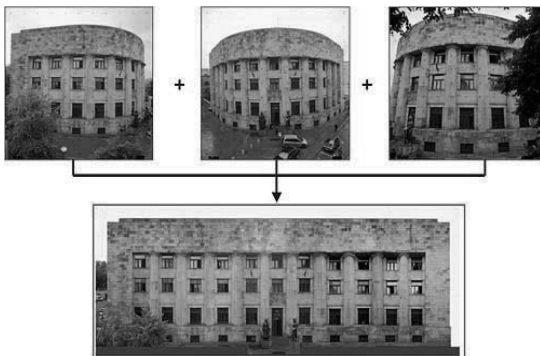
stranjeniji formati za slike i tekstualne dokumente, pa se zato i predlaže upravo njihovo korišćenje. Arhiviranje predstavlja prirodan završetak prve faze izrade geodetsko-tehničke dokumentacije za objekte. Tako stvorena dokumentacija postaje deo arhive nadležne institucije ili organizacije.

### **3. IZRADA DIGITALNIH PRODUKATA U DRUGOJ FAZI**

Predložena procedura ostavlja mogućnost izrade digitalnih produkata odmah po završetku prve faze ili kasnije, po potrebi. Bez obzira na to kada se nastavi sa radom, na raspolaganju je niz mogućnosti za izradu različitih produkata na osnovu arhivske dokumentacije.

#### ***3.1 Digitalni ortofoto***

Digitalni ortofoto predstavlja efikasan i ekonomičan način predstavljanja dvodimenzionalnih teksturnih informacija. Digitalni ortofoto koji je predložen da se uradi u prvoj fazi predstavlja jednostavnu rektifikaciju svake fasade na jednu ravan i treba da zadovolji osnovne potrebe za sagledavanjem objekta. Međutim, čest je slučaj da na objektu postoje složeni detalji koji ne mogu da se predstavje jednostavnim ravnima (ograde, balkoni, kompleksni prozori, itd.) ili je objekat kompleksnog oblika koji ne može biti predstavljen ravnima (kao na primeru sa *slike 8*).



**Slika 7.** - *Digitalni ortofoto fasade polukružnog oblika koja je rektifikovana u jednu ravan (primer zgrade Platnog prometa u Banja Luci)*

Za izradu digitalnog ortofotoa složenih objekata koristi se tehnika izrade pravog ortofotoa (engl. *true orthophoto*), gde se za rektifikaciju koristi detaljan digitalni model objekta kako bi svi detalji mogli biti pravilno geometrijski predstavljeni u ravni rektifikacije [2] [11].

### **3.2 3D model**

Postupak kreiranja 3D modela iz orijentisanih snimaka nastalih u prvoj fazi može se izvoditi manuelnim merenjem u postupku digitalne restitucije, automatskim metodama generisanja 3D modela, ili kombinovanim po-

stupkom. Međutim, treba imati u vidu da svaki konkretni objekat ima svoje specifičnosti, te da je veoma teško opisati standardnu proceduru.

### *3.2.1 Formiranje 3D modela manuelnom digitalnom restitucijom*

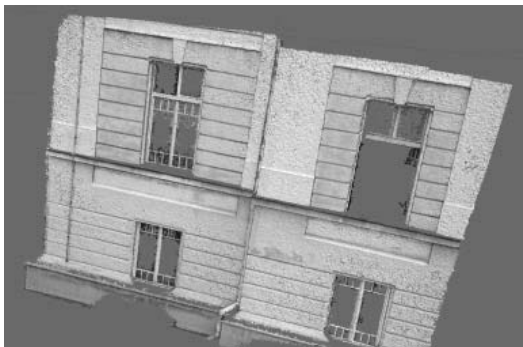
Proces digitalne restitucije može se izvoditi u mono režimu ili u stereo režimu. Kod mono režima postupak teče tako što se na više snimaka kartira isti detalj (tačka, linija, itd.) nezavisnom koincidencijom merne markice na svakom pojedinačnom snimku. Kod stereorestitucije kartiranje željenih detalja vidljivih na dva snimka izvodi se u tzv. stereo režimu, tj. posmatrajući istovremeno dva susedna snimka stereoskopski. Proces stereorestitucije je tačniji i sigurniji, ali zahteva iskustvo operatera u takvom načinu rada.

Kao rezultat oba načina manuelne restitucije dobijaju se 3D tačke, linije ili poligoni. Od takvih geometrijskih primitiva tokom kartiranja ili kasnije se definišu površi koje čine 3D objekat. Proces manuelne digitalne restitucije je sporiji od automatske metode, ali operater tokom kartiranja ima mogućnost selekcije detalja od interesa.

### *3.2.2 Automatske metode formiranja 3D modela*

Većina procesa u digitalnoj fotogrametriji je automatizovana korišćenjem tehnika za podudarnost slika (engl. *image matching techniques*). Primena neke od ovih tehnika, kao što su površinski bazirana podudarnost (engl.

*area based matching*), podudarnost bazirana na entitetima (engl. *feature based matching*) i druge, svodi se na pronalaženje korespondentnih entiteta (najčešće tačke) u području preklopa dva ili više snimaka. Za svaku od tačaka koje softver na ovaj način pronađe na snimcima određuje se pozicija u trodimenzionalnom koordinatnom sistemu.



**Slika 8.** - *Primer 3D modela dela fasade Univerzitetske biblioteke urađen postupkom automatskog generisanja oblaka tačaka na osnovu dva snimka*

Visoka rezolucija i dobar radiometrijski kvalitet snimaka omogućavaju da se može dobiti veoma gust oblak tačaka (prostorne rezolucije od nekoliko piksela slike) visoke pozicione tačnosti u trodimenzionalom koordinatnom sistemu.

tnom sistemu kojim mogu da se obuhvate i predstave i fini detalji na objektu. Na *Slika 88* dat je primer generisanja oblaka tačaka sa dva snimka dela fasade Univerzitetске biblioteke. Krajnji rezultat je i po formi i po kvalitetu veoma sličan rezultatu laserskog skeniranja.

### *3.2.3 Formiranje 3D modela kombinovanom metodom*

Za modeliranje objekata veoma često se primenjuje kombinovana metoda, gde se model delimično izrađuje manuelnim metodama, a delimično automatskim. Prednost manuelne metode je što se model predstavlja sa manjim brojem geometrijskih primitiva, što se na taj način definiše topologija objekta (kartiraju ivice) i što se mogu uspostaviti pravi odnosi između primitiva (upravnost, paralelnost,...). Automatska metoda je bolja za kompleksne strukture na objektima koje je najjednostavnije predstaviti oblakom gustih tačaka. Kombinovanjem ova dva pristupa može se dobiti optimalan način predstavljanja objekta, ali izbor metode modeliranja zavisiće od potreba krajnjeg korisnika i elemenata samog objekta.

## **4. SOFTVERSKA PODRŠKA**

U eri analogne i analitičke fotogrametrije proces izrade geodetsko-tehničke dokumentacije je bio vezan za izuzetno skup i komplikovan hardver. Digitalna fotogra-

metrija je doprinela tome da na tržištu postoji velik broj specijalizovanih (relativno jeftinih) softvera za podršku bliskopredmetne fotogrametrije. Neki od ovih softvera podržavaju celokupan proces, od pripreme za snimanje do izrade 3D modela. Tipičan predstavnik ove grupe softvera je *PhotoModeler* [7] [12] koji podržava procese kalibracije kamere, izradu plana snimanja, formiranje 3D modela manuelnom mono restitucijom, generisanje 3D oblaka tačaka, itd.

Drugoj grupi softvera pripadaju softveri za stereoskopski prikaz i stereorestituciju. Primer ovog softvera je *PhotoSoft* [3] koji omogućava pregled objekta u stereo



**Slika 9** - Korisnički interfejs softvera *PhotoSoft* sa prikazom stereopara Kapije Karla IV u anaglifskom stereoprikazu

režimu, merenje u 3D prostoru i kartiranje 3D modela metodom manuelne stereorestitucije. Softver takođe poseduje i alate zasnovane na *image matching* tehnici koji omogućavaju manje iskusnim kornicima da vrše precizna 3D merenja i kartiranja na objektu.

## **5. VERIFIKACIJA PREDLOŽENE METODOLOGIJE**

Razlozi za izradu geodetsko-tehničke dokumentacije postojećih objekata mogu biti veoma različiti - od hitnih potreba za rekonstrukcijom, preko različito motivisanih potreba za sagledavanje geometrije objekata, pa do dugoročne potrebe za arhiviranjem postojećeg stanja. Međutim, sa aspekta primene predloženog metodološkog postupka, razlozi za pristupanje izradi geodetsko-tehničke dokumentacije su manje važni. Ukoliko se izuzmu neki specijalni zahtevi korisnika, sa aspekta finalnih produkata, postupak se može smatrati univerzalnim. Predložena metodologija je verifikovana na projektima gde je rađena geodetsko-tehnička dokumentacija konkretnih objekata. Sadržaj te dokumentacije čine i tipični produkti digitalne fotogrametrije od interesa za visokogradnju.

### ***5.1 Prostorno istorijska celina Dositejev licej***

Cilj izrade ovog projekta je bila izrada arhivske tehničke dokumentacije za područje prostorno-istorijske celine “Dositejev licej” u Beogradu.





**Slika 10.** - 3D vizelizacija prostorno-istorijske celine Dositejev licej na osnovu detaljnog 3D modela zaštićenih objekata i grubog 3D modela okolnih zgrada

Izvršeno je detaljno snimanje zgrade Vukovog i Dositejevog muzeja i zgrade Muzeja dramske umetnosti (projektovana tačnost 2 cm), dok je za okolne zgrade izvršeno dokumentovanje izgleda fasada.

## 5.2 Beogradska tvrđava

Projekat izrade digitalnog ortofotoa Beogradske tvrđave rađen je u cilju obezbeđivanja ažurnih podloga za projekte sanacije i u svrhu izrade arhivske geodetsko-tehničke dokumentacije. Projekat je obuhvatio 22 zida, a prostorna rezolucija izlaznog ortofotoa bila je 1 cm.



**Slika 11.** - *Digitalni ortofoto dela zidina Kalemegdanske tvrđave - Južni bedem Velikog barutnog magacina*

### **5.3 Kapija Karla IV**

Projekat je rađen u cilju obezbeđivanja ažurnih podloga za projekte sanacije kapije i u svrhu izrade arhivske geodetsko-tehničke dokumentacije. Izrađen je *true* ortofoto prednje i zadnje fasade prostorne rezolucije 2 mm, a urađen je i detaljan 3D model cele kapije metodom manuelne stereorestitucije.

### **5.4 Kapela mira – Sremski Karlovci**

Cilj izrade ovog projekta je izrada arhivsko geodetsko-tehničke dokumentacije Kapele mira u Sremskim Karlovcima. Izrađen je 3D model metodom manuelne

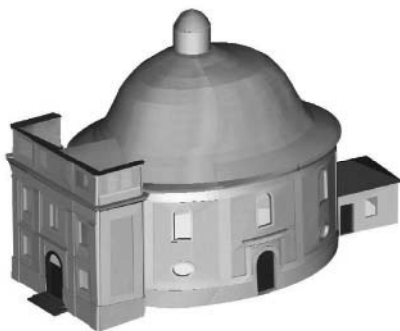


**Slika 12.** - *Ilustracija izrade 3D modela i true ortofotoa na primeru Kapije Karla IV u Donjem Kalemegdanu*

stereorestitucije i digitalni ortotofoto fasada, gde su bočne polukružne fasade projektovane na ravan.

### ***5.5 Poslovna zgrada GTC Square – Novi Beograd***

Na poslovnom objektu GTC Square na Novom Beogradu izvršeno je testiranje i ispitivanje horizontalnosti, vertikalnosti i planarnosti određenih delova strukturalne fasade.

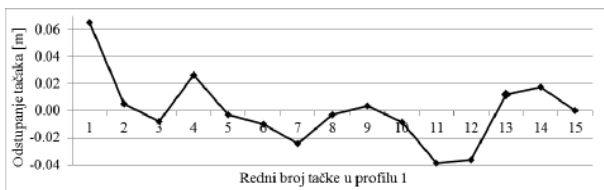


**Slika 13.** - *Renderovani prikaz 3D modela Kapele mira u Sremskim Karlovcima*



**Slika 14.** - *Izgled objekta GTC Square (levo) i detalj strukturalne fasade (desno)*

Na *slici 15* prikazano je odstupanje merenih tačaka uglova strukturalne fasade od horizontalne regresione linije u profilu 1 (na *slici 14* predstavljena crvenom bo-



**Slika 15.** - *Odstupanje tačaka uglova strukturalne fasade profila 1 od horizontalne regresione linije*

jom). Na sličan način ispitano je i odstupanje od vertikalnih regresionih linija.

## 6. ZAKLJUČAK

Ekspanzija digitalne fotogrametrije dovela je do mnogo veće fleksibilnosti u primeni fotogrametrije u ovoj oblasti, kao i do mnogo raznovrsnije palete mogućih produkata. Mogućnost prikupljanja fotografija visoke rezolucije i posebno mogućnost kasnijeg stereoskopskog posmatranja detalja objekta pruža veoma velike mogućnosti arhitektama, građevinskim inženjerima, konzervatorima i drugim da na jednostavan i precizan način dođu do željenih informacija.

Sušтина predloženog postupka leži u tome da se izborom što jednostavnijeg hardvera i softvera, svodenjem obrade samo na neophodnu meru i maksimalnim korišće-

njem prednosti digitalne fotogrametrije i digitalnog načina rada, troškovi inicijalnog formiranja geodetsko-tehničke dokumentacije u prvoj fazi svedu na najmanju moguću meru. Prva faza sadrži minimalne radove koji treba da obezbede pouzdano obuhvatanje geometrije snimljenog objekta, a opet u skladu sa zahtevanom detaljnošću prikaza i geometrijskom tačnošću izlaznih produkata.

Druga faza izrade tehničke dokumentacije odnosi se na izradu digitalnih produkata kao što su ortofoto fasada, 2D, 2.5D ili 3D modela objekta ili dela objekta. Važna činjenica je da se bilo koji produkt može uraditi samo za izabrani deo objekta ili da se za različite delove objekata izrađuju digitalni produkti različite tačnosti i detaljnosti. Predloženi postupak omogućava veoma jednostavan nastavak posla na izradi tehničke dokumentacije, kad god za njim bude bilo potrebe. Pri tome će se formirana dokumentacija odnositi na prvobitno stanje objekta, registrovano i "zamrznuto" tokom prve faze.

Predložena metodologija je verifikovana na brojnim projektima koji su podrazumevali izradu geodetsko-tehničke dokumentacije. Potvrđene su pretpostavke u pogledu mogućnosti korišćenja nemernih digitalnih kamera i jeftinog softvera za obradu podataka, a sve u cilju postizanja visoke tačnosti izlaznih rezultata. Postignuta tačnost odogovara tačnosti koja se u prošlosti mogla postići samo uz korišćenje skupe profesionalne fotogrametrijske opreme. Istovremeno obezbeđena je i visoka efikasnost realizacije posla i značajne uštede.

## 7. LITERATURA

- [1] ALBERTZ, J. *Albrecht Meydenbauer-Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 34.5/C7: 19-25. (2002)
- [2] BARATIN, L., BITELLI, G., UNGUENDOLI, M., ZANUTTA, A., *Digital Orthophoto as a tool for the restoration of monuments.*, Proceedings of XIX Congress of the ISPRS, Commission V, part B5a, 62-69, (2000)
- [3] CVIJETINović, Ž., MIHAJLOVIĆ, D., MITROVIĆ, M., SMILJANIĆ, D. (2011): *The Development of Modern GIS-based Digital Photogrammetric Workstation*, Precedings of International Scientific Conference - "Professional Practice and Education in Geodesy and Related Fields", Kladovo 2011., Part C, 287-298. (2011)
- [4] DUANE, C. B., *Close-range camera calibration*. Photogramm. Eng, 37, 855-866, (1971)
- [5] FRYER, J. G., BROWN, D. C., *Lens distortion for close-range photogrammetry*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 52(1), 51-58, (1986)
- [6] FRASER, C. S., *Automatic camera calibration in close range photogrammetry*, Photogrammetric

Engineering & Remote Sensing, 79.4, 381-388, (2013)

- [7] HANKE, K., *Accuracy Study Project of Eos Systems' PhotoModeler. Final Report*, University of Innsbruck, Austria, (1998)
- [8] HANKE, K., GRUSSENMEYER, P. *Architectural Photogrammetry: basic theory, procedures, tools*, ISPRS Commission. 2002. p. 1-2., (2002)
- [9] MIHAJLOVIĆ, D., MITROVIĆ, M., CVIJETI-NOVIĆ, Ž., VOJINOVIĆ, M. (2008): *Photogrammetry of Archaeological Site Felix Romuliana at Gamzigrad Using Aerial Digital Camera and Non-metric Digital Camera*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B5, WG V/2, XXI Congress ISPRS Beijing, China, 397-400 (2008)
- [10] REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D. *UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(1), C22, (2011)
- [11] STYLIANIDIS, E., *True orthoimage generation in close range photogrammetry*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35, 946-950, (2004)
- [12] [www.photomodeler.com](http://www.photomodeler.com)