

TERESTRIČKO FOTOGRAMETRIJSKO SNIMANJE MANASTIRA STUDENICE

Gorica VOJNOVIĆ dipl. inž — Beograd

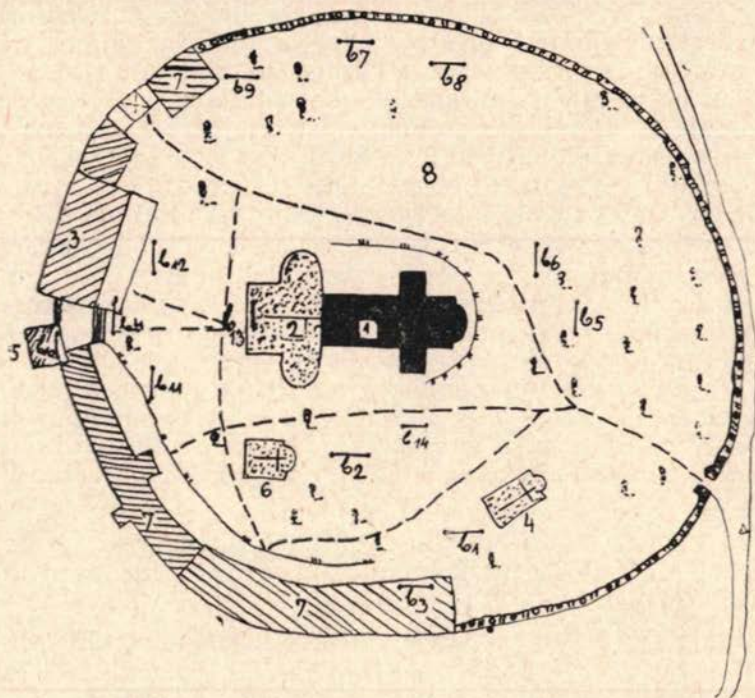
Snimanje manastira Studenice bilo je potrebno u svrhu arhitektonskog proučavanja starih građevinskih konstrukcija, proporcija, oblika i skulpture. Ustvari, ovde je skulptura dekorativna dopuna arhitekture i vezana je za samu arhitekturu, te se i ona u isto vreme proučava. Za ovo proučavanje potrebni su veoma detaljni i precizni planovi u krupnoj razmeri 1:50, a planovi portala i trifore na apsidi u razmeri 1:10. Primenjena je metoda terestričke fotogrametrije, kojom su snimljene fasade Bogorodičine crkve i Radoslavljeve priprate u ovom



Sl. 1 — Bogorodična crkva u Studenici

manastiru. Pored fasada snimljeni su oltarski prozor, te južni i zapadni portal Bogorodične crkve.

Bogorodičnu crkvu u Studentici podigao je veliki župan Stefan Nemanja 1183. — 1191. To je jedan od najljepših spomenika srpske srednjovjekovne arhitekture, čija dekorativna plastika po svojoj lepoti i preciznošću izrade predstavlja remek delo te vrste umetnosti. Ceo hram spolja (sem kubeta) građen je od blokova belog poliranog radočelskog mermera, čiji su portali raskošno obloženi klesanim ornamentima. Naročito je raskošan zapadni portal i oltarski prozor.



Sl. 2 — Detaljna skica manastira Studenice

1 — Bogorodičina crkva; 2 — Radoslavljeva priprata; 3 — Trpezarija; 4 — Crkva Svetog Nikole; 5 — Kula; 6 — Crkva kralja Milutina; 7 — Konaci; 8 — Voćnjak.

Bogorodičina crkva je od naročite istorijske umetničke i arhitektonske stilske vrednosti, te se za čuvanje, istraživanje i studije ovog spomenika danas mnogo ulaže. Otuda i ovo fotogrametrijsko snimanje i izrada planova fasada i portala sa celokupnom plastikom.

Radoslavljeva priprata takođe je od istorijske umetničke i arhitektonske vrednosti. Ovu monumentalnu spoljnu pripratu sazidao je 1228. — 1234. godine unuk Nemanjin kralj Radoslav.

SNIMANJE. — Detaljna skica manastira Studenice u približnoj razmeri 1:1000 data je na slici 2, Bogorodičina crkva (1) i Radoslavljeva priprata (2) nalaze se u središtu manastirskog kruga. Fasade nisu ravne, Bogorodičina crkva i Radoslavljeva priprata su većim delom okružene manastirskim konacima, crkvama kralja

Milutina i Sv. Nikole, voćnjakom i drvećem. Oblik građevina, konfiguracije terena, zarašćenost i uzidanost terena, razmera kartiranja, instrumenat za snimanje fototeodolit (Phototheo 19/1318 Carl Zeiss Jena), instrument za restituciju (autograf Wild A7) i drugi razlozi uslovlili su veličinu, položaj i broj baza za snimanje.

Raspored baza tj. plan snimanja fasada, portala i trifore prikazan je na detaljnoj skici sl. 2. Snimanje fasada i portala izvršeno je sa 28 stanica, odnosno 14 baza. Baze su na skici označene brojevima od 1 do 14 uz linijebaze. Ovim su obuhvaćene sve fasade, portali i trifora, sem južne fasade Radoslavljeve priprate koja je bila zaklonjena velikom krošnjatom lipom i crkvom kralja Milutina. Pri snimanju istočne fasade Bogorodičine crkve nije o buhvaćeno kube sa baze b_5 , s obzirom na kratko odstojanje Y. Dopunsko snimanje istočne fasade i južne fasade Radoslavljeve priprate odloženo je za kasnije kada se bude manastirsko dvorište uredilo i voćnjak preselio, što je predviđeno projektom »Zavoda za zaštitu i naučno proučavanje spomenika kulture SR Srbije«.

Da bi se mogla izvesti apsolutna orijentacija zbog ograničenog kretanja elemenata φ_1 i φ_2 , odnosno naginjanje kamera kod autografa Wild A7 sa kojim je kartirano, baze su postavljene paralelno sa projekcijskim ravnima, tj. ravnima na kojima su projektovane fasade. Severna i južna fasada su projektovane na vertikalni podužni presek (presek kroz glavnu osovinu zgrade) građevina, a istočna i zapadna fasada na vertikalni poprečni presek građevina. Za vertikalni poprečni presek za istočnu fasadu uzet je presek kroz severni i južni vestibil Bogorodičine crkve, a za zapadnu fasadu uzet je presek kroz severnu i južnu kapelu Radoslavljeve priprate.

Optičke osovine fototeodolita- odnosno optičke osovine fotogrametrijske kamere bile su pri snimanju ili normalne na bazu ili konvergentne.

Odstojanje (Y) i veličine baza (b) kod snimanja fasada su različite i njihov odnos se kreće od $\frac{b}{Y} = \frac{1}{9}$ do $\frac{1}{5,5}$, razlozi za njihov

položaj i veličinu već su napred pomenuti. Tako je, naprimer, b_3 postavljena na prvi sprat manastirskog konaka i njenu dužinu je uslovio razmak prozora, a baza b_{16} je postavljena na krov kule (5) slika 2, te su njenu dužinu uslovlili oblik i širina krova itd.

Baze su merene čeličnom pantljkikom, s obzirom da su kratke (Tabela I), i da postoje kontrolne tačke.

Pre snimanja na fasadama nije vršena signalizacija orijentacionih tačaka, već su identifikovane nakon snimanja. Identifikacija je bila moguća sa obzirom na način gradnje Bogorodičine crkve i Radoslavljeve priprate. U uvodu je navedeno i iz slike 1 se vidi da je Bogorodičina crkva izgrađena od mermernih blokova pravilnog oblika, te se prilikom identifikacije mogao birati po potrebi i želji raspored orijentacionih tačaka. Radoslavljeva priprata građena je od bigra, čije ivice nisu oštre te su za orijentacione tačke korišćene ivice sokli i preseći na prozorima i portalu.

Za dobijanje plana trifore 1:10 nije vršeno posebno snimanje, već je korišćeno snimanje za istočnu fasadu i to snimanje sa baze b_5 .

Tabela I

Red. br.	Baza (b) u m.	Y ma x. u m.	Ms	Mm	Mk
1.	6,450	39,00	1:200	1:100	1:50
2.	3,900	25,00	1:130	1:100	1:50
3.	4,752	42,00	1:200	1:100	1:50
4.	2,780	20,00	1:100	1:100	1:50
5.	3,400	30,00	1:150	1:100	1:50
6.	4,297	25,00	1:130	1:100	1:50
7.	8,020	48,00	1:240	1:150	1:50
8.	7,880	45,00	1:230	1:150	1:50
9.	4,943	39,00	1:200	1:100	1:50
10.	4,281	30,00	1:150	1:100	1:50
11.	2,780	24,00	1:120	1:100	1:50
12.	2,670	24,00	1:120	1:100	1:50
13.	2,585	10,00	1:50	1:40	1:50
14.	2,825	15,00	1:80	1:40	1:10
15.	3,400	30,00	1:150	1:60	1:10

Južni portal sniman je sa baze b_{14} , sa namerom da ovo snimanje posluži i za jednu drugu svrhu. Snimanje zapadnog portala Bogorodičine crkve biće posebno tretirano.

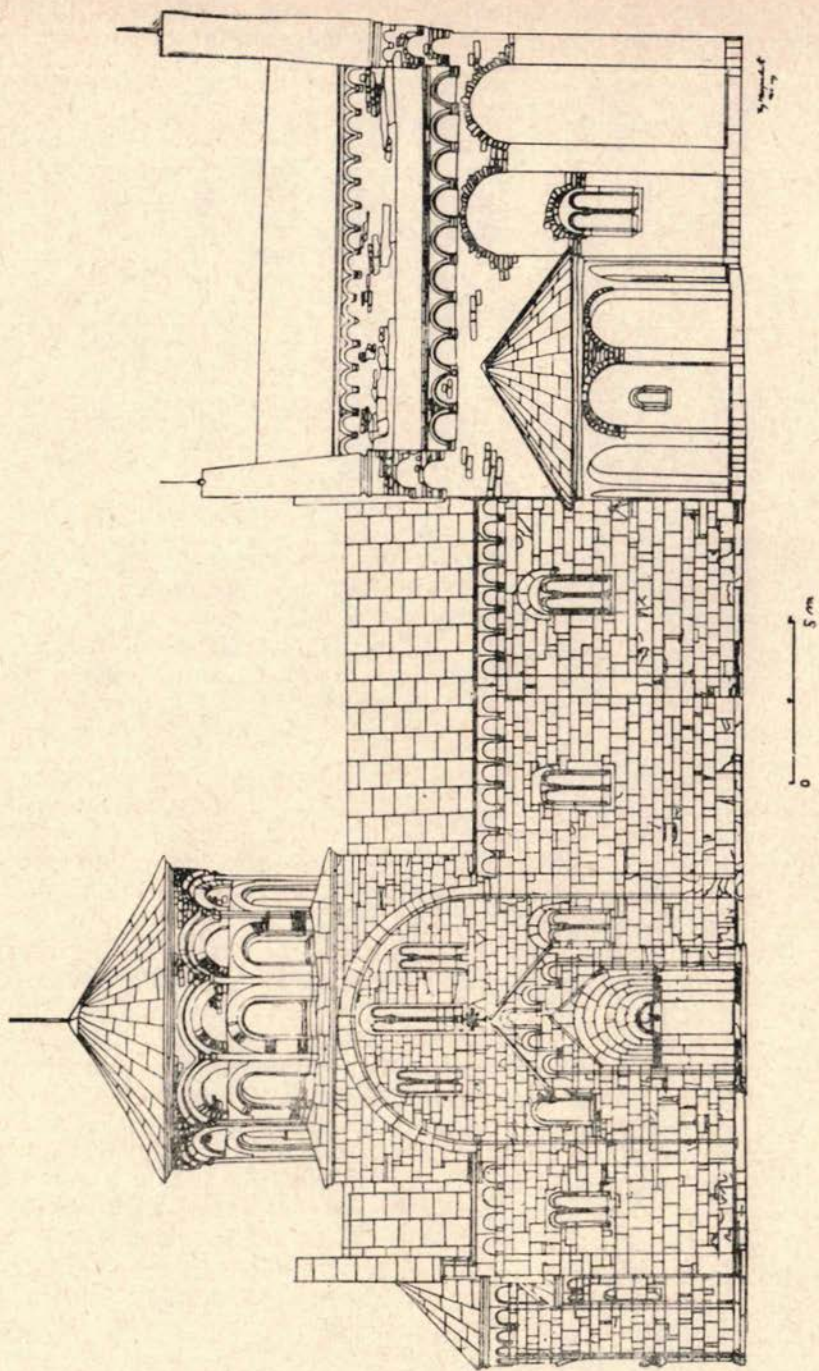
Koordinate orijentacionih — kontrolnih tačaka dobivene su za svaku fasadu u posebnom lokalnom koordinatnom sistemu. Koordinate su dobivene merenjem odstojanja tj. dužina i nivelanjem tačaka. Za istočnu fasadu, dužina na kalkanu zbog lučnog oblika tročlane apside dobivena je posredno.

Restitucija. — Restitucija je vršena na Wild-ovom autografu A7. Orijehtacija fotograma izvedena je isto kao kod slučaja avionskog snimanja sa normalnim i konvergentnim optičkim osovinama kamerama, sa razlikom što su elementi relativne orijentacije (b , K , φ i W) u ovom slučaju poznati.

Fasade su projektovane na odgovarajuće vertikalne ravni, a kartirane su samo u jednoj projekciji. Na fasadama Bogorodičine crkve kartirani su portali, prozori, svi kvaderi, sva oštećenja, svi ukrasi i detalji koji su mogli biti predstavljeni u razmeri 1:50. Na severnoj i južnoj fasadi kartirano je kube. Na kubetu su kartirani svi važniji detalji i sva oštećenja, dok su ostali detalji (kamen, cigla i malter koji vezuju kamen i ciglu) kartirani samo mestimično kako bi se prikazao način gradnje kubeta, a zadržao estetski izgled plana.

Na planovima fasada Radoslavljeve priprate (koja je građena od bigra) kartirani su prozori, portal, svi detalji, ukrasi i oštećenja. Način gradnje je prikazan sa mestimičnim kartiranjem cigle i maltera.

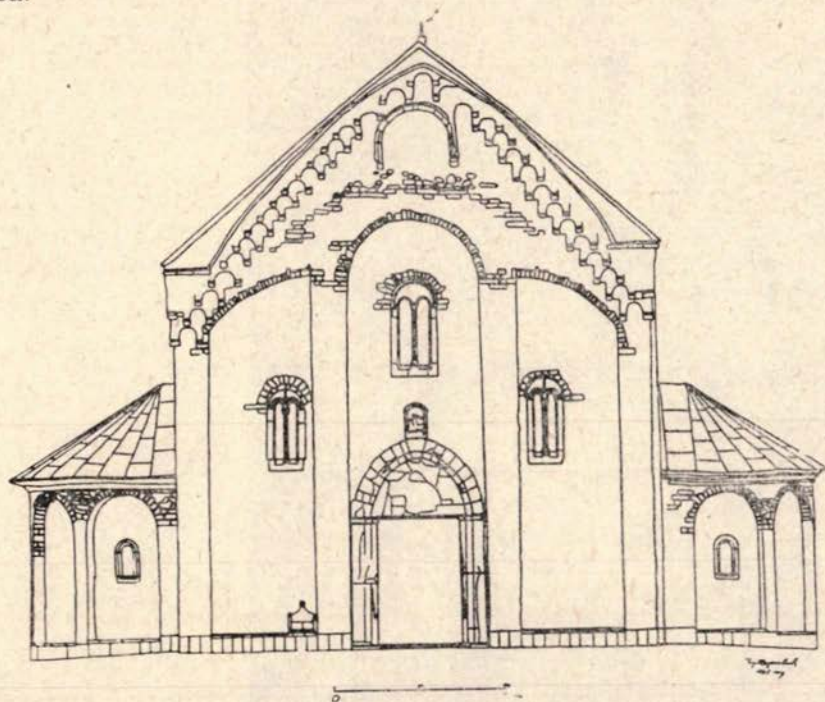
Prilikom kartiranja zapadne fasade pojavio se na planu razmak od 4 mm, između srednjeg dela fasade i južne kapele, kao posledica neupravnosti zidova građevine tj. zapadne i južne fasade. Naknadnim snimanjem ortogonalnom metodom, konstanovana je njihova neupravnost, koja na odstojanju od 6,75 m, daje apscisnu razliku od 20 cm, što u razmeri kartiranja 1:50 iznosi 4 mm.



Sl. 3 — Severna fasada Bogorodičine crkve i Radoslavljeve priprate
(original kartiran u razmeri 1:50)

Na istočnoj fasadi Bogorodičine crkve takođe se pojavio razmak na planu od 0,4 mm, između istočnog kalkana i severnog vestibila. Ovdje je pilaster na severnoj fasadi izbačen za 2 cm, što na planu razmere 1:50 iznosi 0,4 mm.

Zapadni portal Bogorodične crkve. — Zapadni portal predstavlja vrhunac studeničke plastike po bogatstvu oblika i estetske vrednosti skulpture. Ovo je najlepši i najraskošnije ukrašen ulaz u staroj srpskoj umetnosti (6). Nalazi se između spoljne i unutrašnje priprate. Na ulazu nalaze se dva lava koji nose dva stuba (stubovi sada ne postoje) na koje su se oslanjali krilati grifoni (čuvari ulaza u svetilište). Lučni friz arhivolte bogato je izvajan sa scenama raznih neobičnih bića i uokviruje Bogorodičin kip sa arhangelima. Lavovi i grifoni rađeni su u punoj plastici, Bogorodičin kip u dubokom reljefu, detalji arhivolte rađeni su u polureljefu, a uz to je nagnuta cela kompozicija pod uglom od 45°, dok su detalji na dovratniku rezani u plitkom reljefu.



Sl. 4 — Zapadna fasada Radoslavljeve priprate (original kartiran u razmeri 1:50)

Snimanje ovog portala izvedeno je sa jedne baze (b_{13}) postavljene paralelno zapadnoj fasadi Bogorodičine crkve. Odstojanje ($Y_{max} + Y_{min}$): 2 = 10 m, dužina baze $b_{13} + 2,585$ m. Odnos $b/Y \approx 1/4$ uslovljen je skućenim prostorom u crkvi, gde je smeštena studenička riznica. Snimano je pri veoma oskudnoj prirodnoj svetlosti. Esponaža je bila duga, za oko 50 puta duža nego kod snimanja južnog portala i fasada.

Plan portala izrađen je u razmeri 1:0 na kaširanom hameru, visina portala iznosi oko 7 m, a širina preko 4 m. Ceo portal sa svim detaljima i oštećenjima kartiran je na autografu Wild A7. Kartiranje skulpture razlikuje se od kartiranja ravnih fasada, pošto je potrebno pored oblika i svih detalja koje sadrži skulptura prikazati karakter koji je vajar dao figuri.

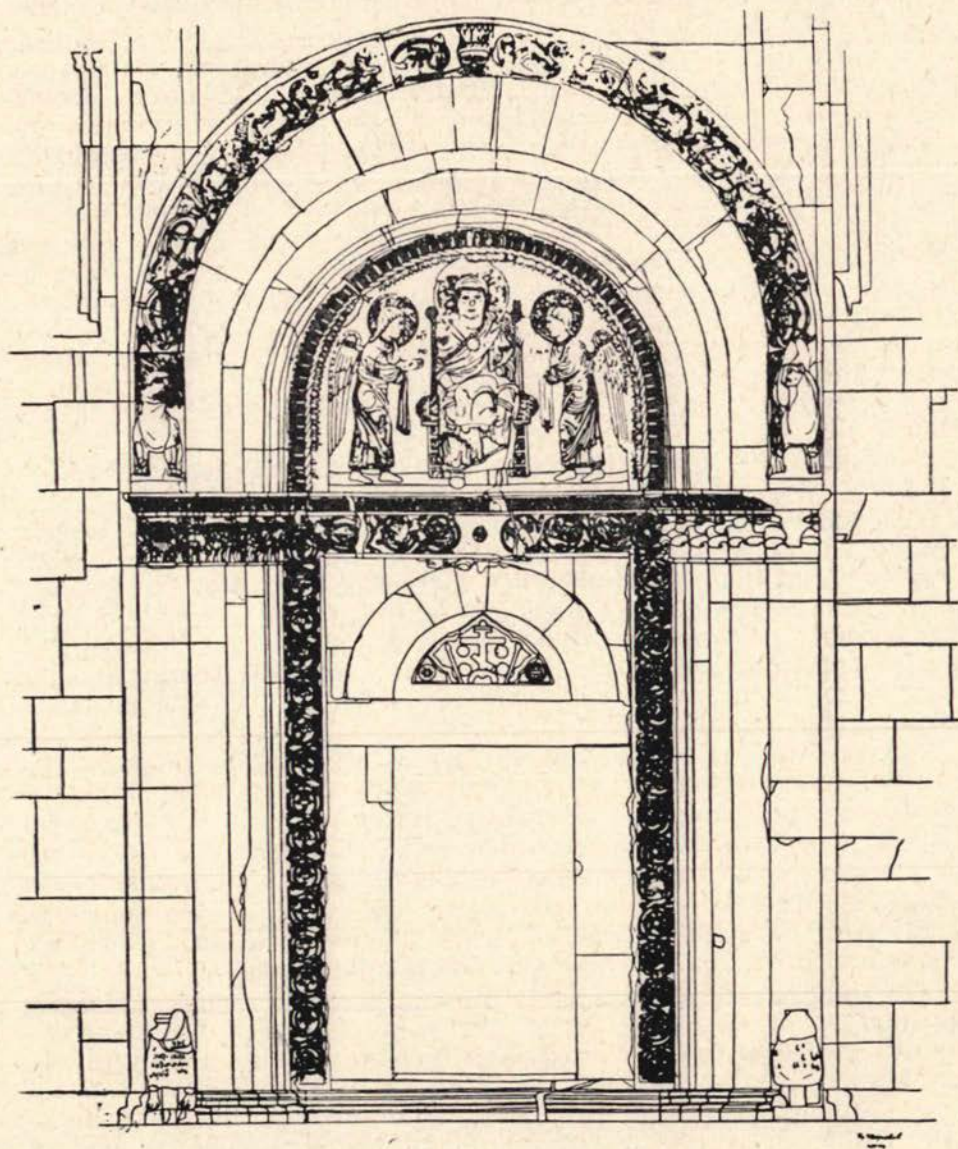
Kartiranje fasada i portala treba vršiti ne samo na stereoinstrumentima I reda, već i kombinovano sa redresiranjem ravnih detalja (ornamentima) kao što je slučaj na južnom portalu, dovratnicima i arhivolte, i dovratnicima zapadnog portala Bogorodičine crkve.

Planove za ovakva snimanja treba raditi na Syplex-u i dr., a ne na hameru. Prednost ovih materijala nad hamerom je sledeća: ne menjaju dimenzije, jednostavnije se dolazi do kopija planova i pogodniji su za kartiranje redresiranih detalja.



Sl. 5 — Zapadni portal
Bogorodičine crkve

Preseci. — Do sada je izlagano samo o snimanju i kartiranju fasada, portala i trifore, za potpun plan ovog hrama potrebno je pored planova fasada, portala i trifore dati osnovu i preseke. Osnova Bogorodičine crkve i Radoslavljeve priprate postoji, a može se dobiti i iz fotogrametrijskog snimanja fasada. Preseci građevina i portala kod nas se izvode samo klasičnim metodama snimanja. A pošto je ovo



Sl. 6 — Plan zapadnog portala Bogorodičine crkve
(original kartiran u razmeri 1 : 10)

prvo fotogrametrijsko snimanje crkvene arhitekture kod nas, jasno da su i preseki rađeni samo klasičnim metodama.

Kada su unutrašnje strane portala jednostavne, onda se presek dobija iz istog fotogrametrijskog snimanja izvršenog za izradu plana portala ili fasada. Primeri jednostavnih portala su: portal na severnom vestibulu Bogorodične crkve i portal na zapadnoj fasadi Radoslavljeve priprate.

Unutrašnje strane dovratnika južnog i zapadnog portala Bogorodične crkve bogato su ukrašene. Unutrašnji dovratnici južnog portala ukrašeni su ornamentalnom trakom. Na unutrašnjim stranama dovratnika zapadnog portala nalaze se reljefne predstave dvanaestorice apostola, a na donjoj strani nadvratnika, dat je reljef Hrista na prestolu (6). Kapiteli oba portala raskošno su ukrašeni, naročito je lep levi kapitel zapadnog portala. Da bi se kao presek ovih portala potrebno je posebno fotogrametrijsko snimanje.

Mi za sada ne raspoložemo sa instrumentima koji su namenjeni za fotogrametrijska snimanja u arhitekturi, naprimer Zeiss-Aerograph 120. Međutim, snimanje ovakvih preseka može se izvršiti podesnim postupcima i sa fototeodolitima koji nisu konstruisani za ovakva snimanja, kao što je Phototheo 19/1318 sa kojim sam ja snimala.

Pogodnu adaptaciju fototeodolita ovakvog tipa za snimanje u arhitekturi sa vertikalnim formatom izveo je Donassy (2).

Međutim, kod snimanja preseka portala javlja se još problem bliskog snimanja, jer fototeodolit ima žižinu daljinu $f \approx 200$ mm, a prostor za udaljenje instrumenta je ograničen. Iz tabele I vidi se da je pri snimanju portala i fasada bilo najmanje odstojanje $Y = 10$ m, dok se snimanje preseka portala mora izvršiti sa manjim odstojanjem, kad su optičke osovine normalne na bazu snimanja, a baza paralelna sa projekcijskom ravni. Odstojanje zavisi još i od dubine portala i pristupa za snimanje.

Za određivanje najmanjeg odstojanja (Y) sa koga se može snimiti ovim fototeodolitom, izvršila sam ispitivanje. Izveden je zaključak da ne treba snimati sa odstojanja kraćeg od 5 m, tj. $Y \geq 5$, a pri restituciji ovakvih snimanja raditi sa okularima uvećanja $6 \times$ ili $8 \times$.

Snimala sam presek južnog portala sa odstojanjem $Y = 5$ m, i bazom $b = 0,495$ m. Baza je postavljena paralelno sa projekcijskom ravni, za orijentaciju kamere korišćena je produžena baza. Snimanje je izvršeno sa normalnim optičkim osovinama na bazu.

Za fotogrametrijsko snimanje preseka portala predlaže se sledeći postupak:

a) Snimanje preseka sa Zeiss-ovim fototeodolitom 19/1318 bez adaptera.

— Snimati presek sa vertikalnom bazom, a postiže se pomerenjem visine stativa sa fototeodolitom, pri čemu optičke osovine ne moraju biti upravne na projekcijsku ravan (slučaj kosog snimanja). Kada optičke osovine nisu upravne na projekcijsku ravan, može se odstojanje (Y) povećati i stanica udaljiti od objekta, a da snimljeni presek ne bude na ivici fotograma.

— Snimiti presek sa produženom horizontalnom bazom i optičkim osovinaama upravnim na bazu ili konvergentnim. Ako su konvergentne osovine može se povećati odstojanje Y i snimiti veća površina a detalj neće pasti na ivicu fotograma.

b) Snimanje preseka sa Zeiss-ovim phototheodolitom 19/1318 sa adapterom.

— Presek se snima sa vertikalnim formatom i produženom bazom čime se obuhvata veća visina portala pri istom odstojanju (Y) nego kod horizontalnog formata fotograma.

— Presek se snima sa vertikalnim formatom fotograma i pomeranjem objektiva, čime se postiže da snimljeni presek ne bude na ivici fotograma a da se odstojanje (Y) ne poveća.

Ocena tačnosti. — Tačnost autografa A7 i tačnost poentiranja markice određena je na pločama sa ugraviranom mrežom kvadrata i iznosi:

Za položaj:

Za levu kameru:

$$m_x = \pm 4\mu$$

$$m_y = \pm 4\mu$$

$$m_p = \pm 6\mu$$

Za desnu kameru:

$$m_x = \pm 3,5\mu$$

$$m_y = \pm 5\mu$$

$$m_p = \pm 6\mu$$

Za visine:

$$m_h (H=1\text{km.}) = \pm 0,03 \text{ m.}$$

Odstupanje orijentacionih tačaka u svim stereoparovima i za obe razmere kartiranja svedeno je na minimum, tj. $m_p = \pm 0,0 \text{ mm}$, a $m_h = \pm 0,01 \text{ m}$.

Tačnost planova izvedena je iz upoređenja direktno merenih dužina sa planova.

Upoređene su 123 dužine za razmeru planova 1:50 (planovi fasada). Srednja kvadratna greška izvedena je iz ovih upoređenja po poznatoj formuli

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$$

i iznosi:

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{17,53}{123}} = \pm 0,38 \text{ cm}$$

$$m_d \approx \pm 4\text{mm}$$

Iz upoređenja 29 dužina za razmeru planova 1:10 (planovi portala i trifore) dobivena je srednja kvadratna greška

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{0,21}{29}} = \pm 0,09 \text{ cm}$$

$$m_d \approx \pm 1 \text{ mm}$$

U tabeli II i III dat je pregled odstupanja iz upoređenja, iz kojih se vidi da maksimalne razlike ne prelaze $2,5 m_d$ za razmeru planova 1:50 i $2,0 m_d$ razmere planova 1:10.

Taberla II

Interval od — do	Broj odstupanja za razmeru 1:50		
	+	—	Ukupno
0	—	—	76
0—0,5 cm	16	20	36
0,5—1,0 cm	4	6	10
1,0—1,5 cm.	0	0	0
Σ	20	26	123

Iz ove analize se može zaključiti, da se očitavanjem dužina sa planova razmere 1:50 može dobiti tačnost do na 1 cm, a očitavanjem sa planova razmere 1:10 tačnost do na 2 mm.

Tabela III

Interval od — do	Broj odstupanja za razmeru 1:10		
	+	—	Ukupno
0	+	—	17
0—0,1 cm.	5	4	9
0,1—0,2 cm.	1	2	3
0,2—0,3 cm.	—	—	—
Σ	6	6	29

Treba napomenuti da srednja kvadratna greška sadrži niz grešaka počev od terenskih radova, restitucije pa do očitavanja dužina sa planova.

LITERATURA

- (1) A. Deroko: Monumentalna i dekorativna arhitektura u srednjovekovnoj Srbiji. Beograd 1953. i 1962.
- (2) V. Donassy: Adaptacija fototeodolita Phototheo 19/1318 Carl Zeiss — Jena za snimanje s vertikalnim formatom. Geodetski list br. 10—12, Zagreb 1965.
- (3) M. Čanak-Medić: Terenske skice Bogorodičine crkve iz Studenice.
- (4) V. Donassy: Fotogrametrijsko snimanje fasada: Hvar, Kazalište, Zvonik u Motovanu. Neobjavljeni radovi.
- (5) S. Nenadović: Studenički problemi, Beograd 1957.
- (6) M. Šakota: Studenica, Beograd 1965.
- (7) C. Bötcher: Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme der Goldenen Pforte am Dom zu Freiberg. Vermessungstechnik, 9/1963. — Berlin.
- (8) N. Čubranić: Račun izjednačenja, Zagreb, 1958.