

# ADAPTACIJA FOTOTEODOLITA PHOTOTHEO 19/1318 Carl Zeiss, JENA, ZA SNIMANJE S VERTIKALNIM FORMATOM

Vjekoslav DONASSY, dipl. inž. — Zagreb

## ISPITIVANJE TAČNOSTI

Da bi se dala ocjena tačnosti adaptiranog Zeiss-ovog fototeodolita za snimanje s vertikalnim formatom potrebno je provesti ispitivanje snimanjem nekog objekta s dovoljnim brojem poznatih tačaka. Takvo ispitivanje treba provesti za one karakteristične slučajeve snimanja, za koje je adapter i načinjen, tj. za snimanje s kosom osi snimanja i za snimanje s vertikalnom osi snimanja.

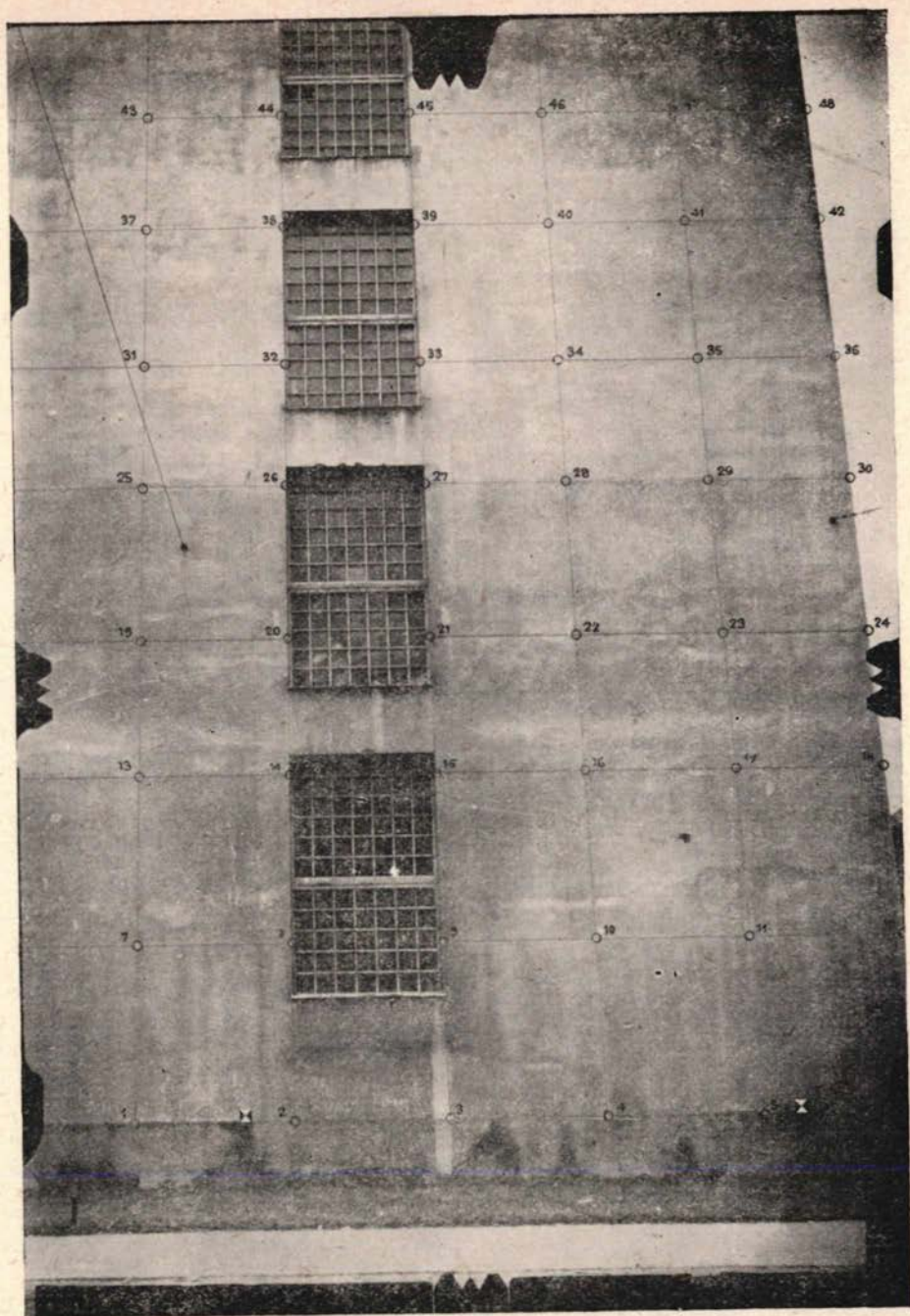
U ovom članku bit će prikazani rezultati ispitivanja za prvi slučaj. Ovo ispitivanje bilo je povezano s diplomskim radom apsolvanta Radivoja Vuksanovića 1965. godine.

Rezultati ispitivanja za drugi slučaj bit će objavljeni u jednom od slijedećih brojeva Geodetskog lista.

Da bi se provelo ispitivanje snimanja s vertikalnim formatom i kosom osi snimanja bilo je potrebno pronaći pogodan objekt. Kao dosta pogodan objekt odabrao sam sjevernu stranu fasade zgrade Srednje tehničke škole u Klaićevoj ulici b. b. u Zagrebu. Na toj se fasadi nalazi sistem fuga koje s bridovima stubišnog prozora i rubom fasade dijele plohu na kvadrate. Rekognosciranjem je utvrđeno da se stereopoljem neće moći obuhvatiti cijela fasada (što diktiraju terenski uvjeti), već su odabrana 54 presjeka kao tačke na kojima će se provesti ispitivanje. Kako se je nakon izrade snimaka vidjelo, modelom je bilo obuhvaćeno 46 tačaka. Raspored tačaka označen je kružićima na slici 1.

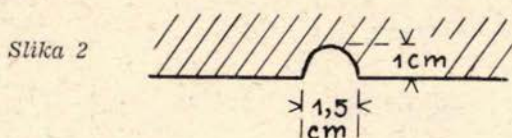
Nažalost nije mi bilo tehnički moguće postaviti toliki broj signaliziranih tačaka (značkice) na fasadi, što bi svakako bilo povoljnije kako radi tačnijih viziranja pri geodetskim mjerenjima, tako i pri stereoskopskom fotogrametrijskom mjerenju, budući da su fuge izvedene kao udubljenja u fasadi, čija širina iznosi oko 1,5 cm a udubljenje oko 1 cm, kako je to prikazano na slici 2.

\* *Nastavak iz broja 10—12/65*

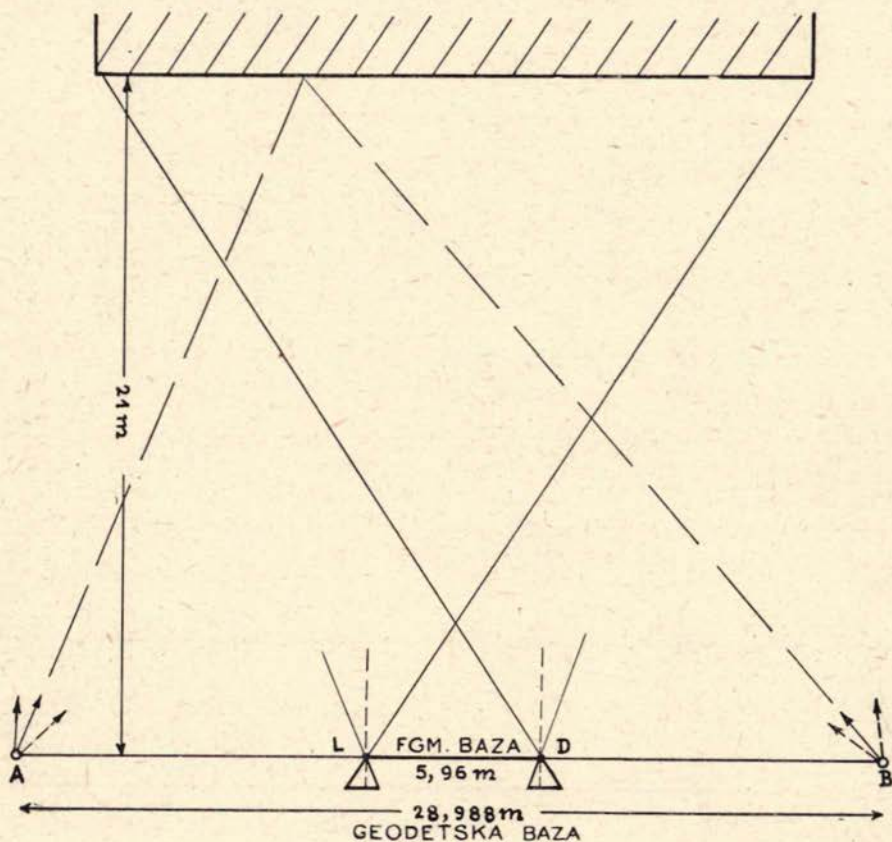


*Slika 1*

Adapter je napravljen uglavnom radi potreba snimanja fasada. Za njihove nacрте ne traži se a i ne daje tačnost koja bi prelazila red veličina od 1 cm. Zato sam se zadovoljio ovakvim izborom,



iako su se u toku rada osjećali utjecaji tih nedefiniranosti, i to možda više u geodetskim mjerenjima nego u fotogrametrijskim, budući da smo pri danim okolnostima bili u stanju određivati milimetre.



Slika 3

Kao prva faza rada bilo je potrebno geodetskim putem odrediti koordinate i visine tih 54 tačkaka. To određivanje izvršeno je presijecanjem naprijed i mjerenjem vertikalnih kuteva. Mjerenja su izvršena s Zeiss-ovim teodolitom Th II, s razvijene geodetske baze. Ova je baza

GEODETSKI ODREĐENE KOORDINATE

Red	X	H	Y	Red	X	H	Y	Red	X	H	Y	Red	X	H	Y	Red	X	H	Y	Red	X	H	Y	
49	8,924	19,406	087	50	11,158	19,398	077	51	13,324	19,404	069	52	15,552	19,418	073	53	17,790	19,422	079	54	20,023	19,421	070	21,070
43	921	17,015	089	44	160	17,017	079	45	329	17,014	070	46	553	17,006	075	47	795	17,004	076	48	025	17,002	068	
37	919	14,930	093	38	167	14,936	084	39	332	14,942	079	40	554	14,942	079	41	795	14,940	075	42	025	14,942	062	
31	922	12,499	100	32	165	12,496	089	33	339	12,500	072	34	553	12,500	084	35	794	12,496	080	36	023	12,494	064	
25	922	10,443	090	26	160	10,434	077	27	347	10,440	081	28	550	10,436	080	29	795	10,430	079	30	018	10,426	070	
19	927	7,988	092	20	155	7,980	091	21	340	7,980	086	22	559	7,978	081	23	796	7,974	081	24	018	7,974	066	
13	923	5,902	101	14	158	5,900	099	15	340	5,904	094	16	557	5,898	086	17	797	5,898	081	18	015	5,904	072	
7	926	3,454	115	8	152	3,452	100	9	339	3,453	102	10	559	3,458	099	11	793	3,482	096	12	016	3,468	073	
1	924	1,036	107	2	165	1,042	095	3	340	1,042	093	4	553	1,050	096	5	775	1,048	088	6	021	1,056	076	

Tabela 1

postavljena paralelno s fasadom na udaljenosti od 21 m, a njena je dužina iznosila 28,988 m. Takav je odnos odabran kako bi se dobili što povoljniji kutevi presjeka, koji su iznosili oko 70°, što se može smatrati kao vrlo povoljno.

Dužina baze mjerena je pomoću čelične vrpce dužine 25 m. Definitivna dužina dobivena je kao aritmetička sredina iz tri dvostruka mjerenja (čitanja na mm). Visinska razlika između krajnjih tačaka baze bila je svega 0,08 m, tako da nije bilo potrebno izvršiti redukciju na horizont. Skica položaja geodetske i fotogrametrijske bez prikazana je na slici 3.

Mjerenje horizontalnih kuteva izvršeno je s krajnjih tačaka geodetske baze girusnom metodom opažanjem u dva girusa. Naročita pažnja posvećena je centriranju teodolita radi kratkih dužina vizura, kod kojih i male pogreške ekscentriciteta izazivaju relativno veliku pogrešku u kutevima. U svakom girusu uzeto je po sedam tačaka, počevši od najdonjeg profila, tako da je sa devet horizontalnih profila obuhvaćeno svih 54 tačaka. Mjerenje vertikalnih kuteva izvršeno je nakon mjerenja horizontalnih kuteva, također s oba kraja baze. Opažanja su vršena rasporedivši tačke po vertikalnim profilima, kojih je bilo 6. Čitanja su vršena na sva tri konca nitnog križa u oba položaja durbina.

Kordinate su sračunate presijekom naprijed u posebnom koordinatnom sustavu za čije je ishodište uzeta lijeva tačka baze; os +x položena je smjerom baze a os +y okomito na bazu u smjeru objekta.

Visine su sračunate trigonometrijskim načinom. Potrebne dužine stranica trokuteva sračunate su po sinusnom poučku (formular br. 13). Visine su sračunate preko obih stajališta, a nakon redukcije na lijevo stajalište, kao definitivna visina uzimana je aritmetička sredina.

Podaci koordinata i visina dani su u tabeli br. 1.

Baza za fotogrametrijsko snimanje odabrana je tako da se njezina projekcija poklapa s geodetskom bazom, a snimališta su postavljena simetrično obzirom na sredinu geodetske baze, kako je to prikazano na slici 3. Dužina baze uzeta je tako da se dobije po prilici bazisni odnos za donji dio objekta 1 : 3,5, a za gornji dio oko 1 : 4,7.

Mjerenje baze snimanja izvršeno je s istom čeličnom vrpcom koja je upotrebljena za mjerenje geodetske baze. Dužina baze je iznosila 6,00 m. Kako je kod snimanja izvršeno pomicanje objektiva, na lijevom snimalištu u desno a na desnom u lijevo za po 2 cm (radi boljeg obuhvaćanja modela, umjesto da se primjeni konvergencija), to je efektivna dužina baze snimanja iznosila 5,960 m.

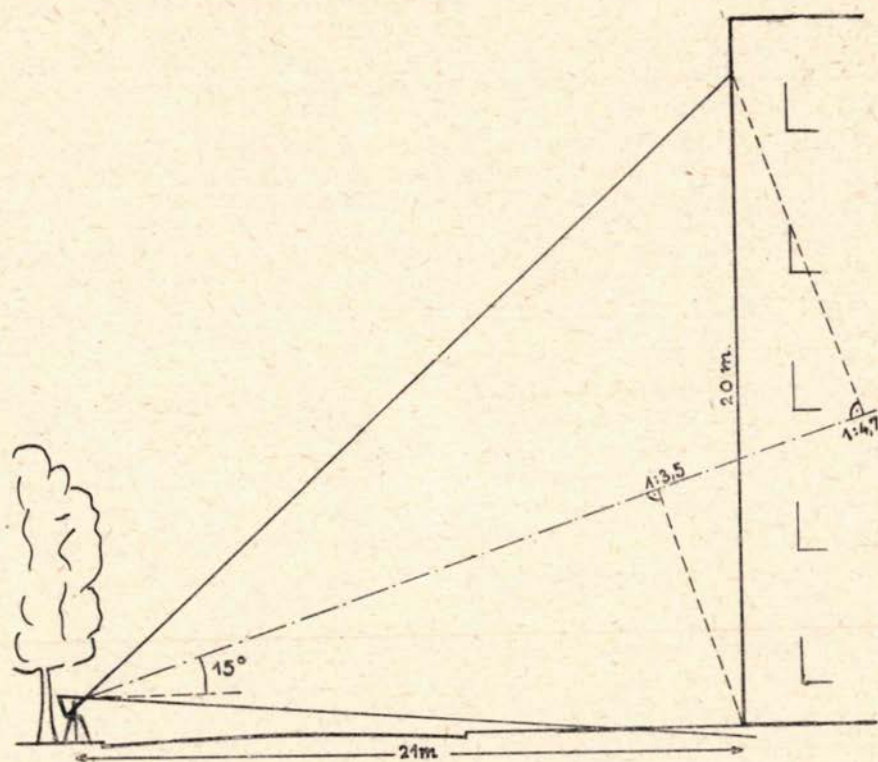
Snimanje je izvršeno tako da su osi snimanja bile paralelne i okomite na bazu, a njihov nagib iznosio je + 15°, kako je to prikazano na slici 3 i 4.

Za snimanje su upotrebljene ploče »Silberosin« firme Perutz, čija je osjetljivost 12/10° DIN-a. Veća osjetljivost ploča odabrana je radi toga što se je snimanje moralo izvršiti po oblačnom vremenu, radi protusvjetla.

Razvijanje je izvršeno u razvijaju Fotokemika FR3, razrijeđenom u omjeru 1 : 3, što je dalo vrlo dobru kvalitetu negativa.

## Restitucija snimaka

Restitucija snimaka izvršena je na Autografu A 7 (Wild). Nakon što su elementima relativne orijentacije dodane popravke koje su konstatirane prigodom rektifikacije pribora kao rest-pogreške, bilo je, potrebno, u svrhu odklanjanja manjih paralaksa i u svrhu manje korekcije horizontacije modela, izvršiti korekture i to:  $\kappa'$  za 2',  $\omega'$  i  $\omega''$  za 5',  $\varphi'$  za 18' i  $\varphi''$  za 16'. Razlozi zašto su se morali korigirati elementi ima



Slika 4

više. U prvom redu to je nemogućnost preciznije orijentacije osi snimanja spram baze ( $\varphi$ ), jer adapter nema uređaj za fino pomicanje, nadalje nemogućnost preciznijeg centriranja snimka na postojećim kasetama (dvije rubne markice i indeks za oznaku pomaka objektiva).

O pogreškama koje izaziva ovakav nepovoljan način centriranja snimaka snimljenih sa fototeodolitom Zeiss u kasete koje su načinjene za kartiranje terestričkih snimaka na autografima firme Wild, govorio sam već u svojem koreferatu na Savjetovanju o primjenjenoj geodeziji (Sarajevo 1961.), a u radnji »Snimanje kanjona rijeke Cetine« dao sam rješenje za najpovoljniji oblik kasete. Nažalost sve do danas

nije nam uspjelo nabaviti takav par kasete. Na kraju treba dodati i pogrešku u nul-položaju »vertikalne« libele adaptirane na fototeodolit, te instrumentalne pogreške autografa (iako je red veličine ovih pogrešaka mlaen, ipak ih moramo imati u vidu).

Mjerilo modela je 1 : 50, a prenos na koordinatograf 1 : 2, tako da je mjerilo kartiranja bilo 1 : 25. Precizna kontrola mjerila modela izvršena je kompariranjem dužine između dviju signalnih značkica postavljenih na donjem dijelu fasade, kako se to vidi na slici broj 1, a čiji je međurazmak precizno izmjeren s istom čeličnom vrpcom s kojom su bile mjerene baze. Ta je dužina iznosila 7,812 m. Mjerenjem modelnih koordinata na autografu ta je dužina dotjerana na tačnost od 1 mm.

Restitucija je izvršena kako grafički tako i numerički. U svrhu grafičkog ispitivanja nanosene su na kaširanu podlogu (na aluminijsku ploču), sve geodetski određene tačke (po  $x$  i  $H$ ), u mjerilu 1 : 25. Nakon izvršene orijentacije na tu su podlogu kartirani položaji tačaka dobiveni autografom. Jedva zamjetljiva odstupanja koja su se pojavila na nekim tačkama kretala su se uvijek unutar normalne tačnosti grafičkog kartiranja na autografima (oko 2—3/10 mm).

Numerički podaci dobiveni su kao aritmetška sredina iz dvostrukih nezavisnih mjerenja instrumentalnih koordinata i visina na autografu. Vrijednosti za  $x$  i  $y$  transformirane su u koordinatni sustav u kojem su izvršena geodetska mjerenja (u  $X$  i  $H$ ), dok su visine u modelu ( $z$ ) uspoređivane sa  $Y$  (u naravi udaljenost od baze).

Pri stereoskopskom mjerenju koordinata, a naročito udaljenosti, uočena je poteškoća koju stvaraju fuge uslijed udubljenja i sjene. Također su bila otežana stereoskopska mjerenja na tačkama koje su ležale na rubu zgrade, tj. na prelazu ploha zgrada—nebo, radi prevelikog kontrasta. Svakako da bi mjerenja na signaliziranim tačkama bila svega toga oslobođena, ali nije bilo moguće postavljanje tolikog broja signala diljem fasade, kako je već u uvodu bilo spomenuto.

Transformacija je računata na temelju točaka 41, 38, 11 i 8. Kako se iz slike vidi te točke ne leže sasvim uz rub modela, što je učinjeno radi već spomenutog kontrasta i radi što vjernijeg prilagođavanja prilikama kod praktičnih radova, gdje nam date tačke redovito ne leže sasvim uz rub modela. Podaci transformacije dati su u tabeli br. 2 i 3.

U tabeli 4 dane su u apsolutnim iznosima razlike između geodetski i fotogeometrijski dobivenih vrijednosti za udaljenosti ( $\Delta x$  i  $\Delta H$ ). Na kraju je radi bolje preglednosti dan i grafički prikaz odstupanja za  $\Delta x$  i  $\Delta H$ , — nanašanjem po koordinatama u mjerilu 1 : 1, dakle u naravnoj veličini.

Iz analize ovih podataka vidi se da odstupanja imaju uglavnom karakter slučajnih pogrešaka. Jedino se to možda ne bi moglo reći za tri tačke s lijeve strane najgornjeg reda.

Statistički prikaz odstupanja  $\Delta y$  (udaljenosti) izgleda ovako:

Razlike od	0 — 6 mm	21 tačka ili	46%
	6 — 11 mm	11 tačka ili	24%
	11 — 16 mm	8 tačka ili	17%
	16 — 19 mm	6 tačka ili	13%
Ukupno		46 tačka	100%

TRANSFORMACIJA KOORDINATA $Y''=ay-bx+cy$ $X''=by+ax+c_x$									
BR. TAČ	INSTR. KOORD.		GEOD. KOORD.		NAKON TRANSF.		POGR.		
	y	x	Y	X	Y''	X''	Vy	Vx	
41	279,23	178,06	14,940	17,795	14,940	17,793	0	+0,002	
38	279,04	45,49	14,936	11,167	14,936	11,168	0	-0,001	
11	49,53	178,25	3,462	17,793	3,462	17,794	0	-0,001	
8	49,24	45,32	3,452	11,152	3,452	11,151	0	+0,001	
$\Sigma$	657,04	447,12	36,790	57,907	KONTROLA:		+ 0	+0,003	
$\frac{\Sigma}{n}$	164,2600	111,7800	9,1975	14,4767	$\Sigma = 0$		- 0	-0,002	
KOORDINATE TEŽIŠTA					RACUNANJE ELEMENATA TRANSFORMACIJE				
	y'	x'	Y'	X'					
41	+ 114,97	+ 66,28	+ 5,7425	+ 3,3183	[x'X']		880,73095		
38	+ 114,78	- 66,29	+ 5,7385	- 3,3097	[y'Y']		2637,76157		
11	- 114,73	+ 66,47	- 5,7355	+ 3,3163	[x'X']+[y'Y'] = I		3518,49252		
8	- 115,02	- 66,46	- 5,7455	- 3,3247	[y'X']		+ 3,54547		
	INSTR. KOORD.		TRANSFORMIRANE		[x'Y']		+ 0,81499		
	y	x	Y''	X''					
1					[y'X']-[x'Y'] = II		+ 2,73048		
2	0,96	45,60	1,040	11,163	[x'x']+[y'y'] = III		+ 70407,7176		
3	1,02	89,15	1,041	13,339	$\frac{I}{III} = v \cos \epsilon = a$		0,049973		
4	1,16	133,38	1,046	15,550	$\frac{II}{III} = v \sin \epsilon = b$		0,000039		
5	1,17	177,87	1,045	17,773	$\frac{[Y]-a[y]+b[x]}{n} = C_y$		+ 0,9933		
6					$\frac{[X]-a[x]-b[y]}{n} = C_x$		+ 8,8843		
7	49,29	0,84	3,457	8,928	$v = \sqrt{a^2 + b^2}$		0,0499797		
8					$\frac{b}{a} = \tan \epsilon$		0,000776		
9	49,28	89,13	3,452	13,340	$\epsilon$				
10	49,41	133,54	3,457	15,560	$m = \sqrt{\frac{[v_y v_y] + [v_x v_x]}{2nk}}$				
11									
12	49,69	222,80	3,468	20,020					
13	98,25	0,67	5,903	8,922					
14	98,24	45,35	5,901	11,154					
15	98,33	89,11	5,904	13,341					
16	98,25	133,45	5,898	15,557	KONTROLA TRANSFORM.				
17	98,23	178,28	5,895	17,797	[Y'']=a[y]-b[x]+nc <sub>y</sub>		[X'']=b[y]+a[x]+nc <sub>x</sub>		
18	98,36	222,59	5,900	20,012	[Y'']=		[X'']=		



## NASTAVAK :

BR. TAČ	INST. R. KOORD.		TRANSFORMIRANE		
	y	x	Y	X	
19	139,95	0,67	7,987	8,923	
20	139,86	45,31	7,981	11,154	
21	139,91	89,07	7,982	13,341	
22	139,89	133,41	7,979	15,557	
23	139,81	178,24	7,973	17,797	
24	139,82	222,62	7,972	20,015	
25	189,06	0,63	10,441	8,923	
26	188,97	45,45	10,435	11,163	
27	189,07	89,28	10,438	13,348	
28	189,01	133,22	10,434	15,549	
29	188,93	178,10	10,428	17,792	
30	188,87	222,57	10,423	20,014	
31	230,28	0,59	12,501	8,923	
32	230,27	45,49	12,499	11,167	
33	230,38	89,00	12,503	13,340	
34	230,37	133,26	12,500	15,553	
35	230,32	178,11	12,496	17,794	
36	230,33	222,68	12,495	20,021	
37	278,91	0,49	14,931	8,920	
38					
39	279,19	88,80	14,942	13,333	
40	279,16	133,23	14,939	15,553	
41					
42	279,27	222,71	14,940	20,025	
43	320,51	0,53	17,010	8,923	
44	320,55	45,34	17,010	11,163	
45	320,60	88,80	17,011	13,331	
46	320,54	133,22	17,006	15,554	
47	320,53	178,14	17,004	17,799	
48	320,46	222,63	16,999	20,022	
					KONTROLA TRANSFORM.
$\Sigma$	5835,18	2853,30	315,329	356,039	[Y"] = 315 329 [X"] = 356 039

# RAZLIKE IZMEĐU GEOD. I FGM. KOORDINATA

## RAZLIKE $\Delta y$ (u mm)

BR.	$\Delta y$	BR.	$\Delta y$	BR.	$\Delta y$	BR.	$\Delta y$	BR.	$\Delta y$	BR.	$\Delta y$
43	18	44	13	45	4	46	1	47	5	48	8
37	17	38	13	39	3	40	2	41	1	42	9
31	9	32	13	33	1	34	2	35	6	36	2
25	14	26	11	27	10	28	6	29	2	30	1
19	6	20	5	21	10	22	5	23	5	24	0
13	15	14	8	15	13	16	0	17	5	18	1
7	19	8	14	9	16	10	8	11	5	12	3
1		2	19	3	17	4	10	5	2	6	

## RAZLIKE $\Delta X$ i $\Delta H$ (u mm)

BR.	$\Delta X$	$\Delta H$	BR.	$\Delta X$	$\Delta H$	BR.	$\Delta X$	$\Delta H$	BR.	$\Delta X$	$\Delta H$	BR.	$\Delta X$	$\Delta H$	BR.	$\Delta X$	$\Delta H$
43	-2	+5	44	-3	+7	45	-2	+3	46	+1	0	47	+4	0	48	-3	-3
37	-1	-1	38	-1	0	39	-1	0	40	+1	+3	41	+2	0	42	0	+2
31	-1	-2	32	-2	-3	33	-1	-3	34	0	0	35	0	0	36	+2	-1
25	-1	+2	26	-3	-1	27	-1	+2	28	+1	+2	29	+3	+2	30	+4	+3
19	+4	+1	20	+1	-1	21	-1	-2	22	+2	-1	23	-1	+1	24	+1	+2
13	+1	-1	14	+4	-1	15	-1	0	16	0	0	17	0	+3	18	+3	+4
7	-2	-3	8	+1	0	9	-1	+1	10	-1	+1	11	-1	0	12	-4	0
1			2	+2	+2	3	+1	+1	4	+3	+4	5	+2	+3	6		

Iako su odstupanja na cca 30% tačaka veća od jednog cm, što nije bilo za očekivati, ipak ona ni na jednoj tački ne prelaze dva cm, tako da se s praktičnog gledišta može postignuta tačnost smatrati apsolutno zadovoljavajuća. Valja naime imati na umu, da ova dimenzija na nacrtima ne dolazi direktno do izražaja, jer se prikazuje samo kotama za razliku od položajnih odstupanja  $\Delta x$  i  $\Delta H$ , koji dolaze na nacrtima do punog izražaja. Nadalje, kod kotiranja za vrijeme kartiranja ne dolazi u pitanje određivanje udaljenosti od snimališta, već samo kotiranja s obzirom na neku nultu razinu (odabranu nultu plohu) fasade. Pri određivanju ovakvih r e l a t i v n i h razlika između tačaka, koje uglavnom nikada mnogo ne odstupaju od glavne plohe fasade, neće dolaziti do izražaja rest-pogreške u apsolutnoj orijentaciji, te tačnost ovisi u prvom redu od bazisnog odnosa i definiranosti stereoskopski mjerne tačke.

Kako se iz tabele 5 i grafičkog prikaza na slici 5 vidi, veće odstupanje koordinata od pola cm imaju samo tačke br. 43 i 44, dakle svega dvije tačke od ukupno 46, koliko je obuhvaćeno stereopoljem. Te tačke po svojem položaju leže na krajnjem gornjem uglu stereopolja, gdje su i stereoskopska mjerenja najnepovoljnija. Tačaka sa pogreškom koordinata  $\Delta x$ , odnosno  $\Delta y$  od dva mm i manjom ima 76%, odnosno 72%, što je za postojeću definiranost na objektu sjajan rezultat.

Pri ovim razmatranjima ne smije se također izgubiti iz vida da geodetski određivani podaci također nisu bespogrešni. Radi ilustracije prikazat ću kako izgledaju odstupanja za geodetski određivane visine preko lijevog i desnog kraja baze:

Razliku od 0 mm ima	5 tačaka ili	11 %
Razliku od 1 mm ima	22 tačaka ili	48 %
Razliku od 2 mm ima	3 tačaka ili	6,5%
Razliku od 3 mm ima	9 tačaka ili	19,5%
Razliku od 4 mm ima	1 tačaka ili	2,2%
Razliku od 5 mm ima	3 tačaka ili	6,5%
Razliku od 6 mm ima	1 tačaka ili	2,2%
Razliku od 7 mm ima	1 tačaka ili	2,2%
Razliku od 11 mm ima	1 tačaka ili	2,2%

Prosječna razlika: 2,1 mm.

Na temelju svega iznešenog može se dati zaključak da se s adaptiranim priborom za snimanje s vertikalnim formatom snimka na foto-teodolitu Carl Zeiss, Jena, mogu fotometrijski izrađivati nacrti fasada ne samo sa zadovoljavajućom tačnošću, već uz stanovite mjere opreznosti i sa takvom tačnošću, koju praktički nismo u stanju postići niti klasičnim mjerenjima.

GRAFIČKI PRIKAZ  $\Delta X$  i  $\Delta Y$

