

E 364

INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO  
PRI BIOTEHNIŠKI FAKULTETI V LJUBLJANI

Anton KRALJ

IZPOLNITEV SISTEMA DMR-100

Raziskovalna naloga

Ljubljana, 1987

191 219.68 1925

e 364

191 219.68 1925

INSTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO PRI BF V LJUBLANI

Kralj Anton

Ispolnitev sistema DMR-100

RAZISKOVALNA NALOGA

Ljubljana, 1987

Izveček:

Kralj Anton : Ispolnitev sistema DMR-100

Natančnost DMR-100 lahko preverimo tako, da primerjamo določene izbrane lokacije z aero posnetki in s tem določimo vrsto in velikost napake in se odločimo za interpolacije DMR-100. Primerjavo izvršimo z uporabo monorestitucije. Testni primeri so pokazali, da višinska in pozicijska napaka DMR-100 ostaja v okviru natančnosti TK 1:25000

Ključne besede : Monorestitucija, DMR-100

**Abstract:**

**Analj Anton: The Improving of the DMR-100 System**

The accuracy of the DMR-100 can be chequed by the comparison of different locations by means of aero snaps which establish the type and extent of the error, which is followed by the DMR-100 interpolations. The comparison is carried out by means of monorestitution. The test examples proved that the height and position of the DMR-100 error remains within the accuracy of TK 1:25000.

**Keywords:** monorestitution, the DMR-100

## KAZALO

1. Uvod
  2. Digitalna mono restitucija
  3. Matematične osnove mono restitucije
  4. Računalniški program
  5. Potek računalniške obdelave
  6. Ocena natančnosti mono restitucije
  7. Ocena napake mono restitucije
  8. Zaključek
  9. Literatura
- A priloga - tesni izris področja SOČA-TRENTA

## 1. UVOD

Digitalni model reliefa (DMR-100) ima poleg standardnih obdelav računanja strmin azimutov in osončenja za posamezna področja tudi pomembno vlogo pri uporabi in analizi satelitskih posnetkov. Pri satelitskih posnetkih, kjer je velikost pixla  $< 50$  m, odbita svetloba na scannerju zavisi od osvetlenosti pixla, ki pa je odvisna od konfiguracije terena. Pri aero posnetkih uporabljamo DMR-100 za odstranitev popačenja aero posnetka, ki je prav tako odvisno od oblike reliefa. Napori za konstrukcijo DMR-100 celotne Slovenije so tako povsem upravičeni.

Računalniški programi, ki jih uporabljamo so zgrajeni modularno zaradi čim večjega področja uporabnosti. Možna je razširitev na obdelave rasterskih (input scanner) kot vektorske (input digitalnik) podatke, pridobljene s sateliti, aero posnetki.

Bistvo računalniške obdelave je v tem, da lokalni koordinati na sliki določimo Gauss Krugerjevo koordinato. S tem dobimo povezavo z DMR-100 (nadmorska višina, azimut, strmina) ter lahko izvedemo geometrično ali foto korekcijo posnetka.

## 2. DIGITALNA MONO RESTITUCIJA

Restitucija aero posnetkov se običajno vrši z avtografi, kjer merimo paralakso dveh posnetkov. Uporaba DMR-100 nam omogoča, da restituiramo aero posnetek brez uporabe paralakse. Če odmislimo natančnost in ceno obeh metod je prednost digitalne metode pred analogno v tem, da poleg karte v merilu dobimo še površino območij, ki smo jih interpretirali in digitalizirali na aero posnetku. Meje digitaliziranih območij, če jih ohranimo na magnetnih trakovih predstavljajo dobro osnovo bodočega informacijskega sistema. Poleg tega ne potrebujemo stereo para.

Vprašanje na katero moramo odgovoriti pri uporabi digitalne mono restitucije je naslednje: ali DMR-100 ( mreža  $100 \times 100$  m ) zagotavlja natančnost digitalne mono restitucije ,ki jih imajo karte TK 10 000. Odgovor je pozitiven na testnih območjih Trente, Pohorja in Ajdovščine.

Naloga je obsegala tri faze:

- izbor ,programiranje in testiranje algoritmov na matematičnem modelu
- testiranje optimalnih algoritmov interpolacije DMR-100. bilinearna s 4 višinami ali s kubično s 16 višinami
- testiranje metode na realnih podatkih Pohorja

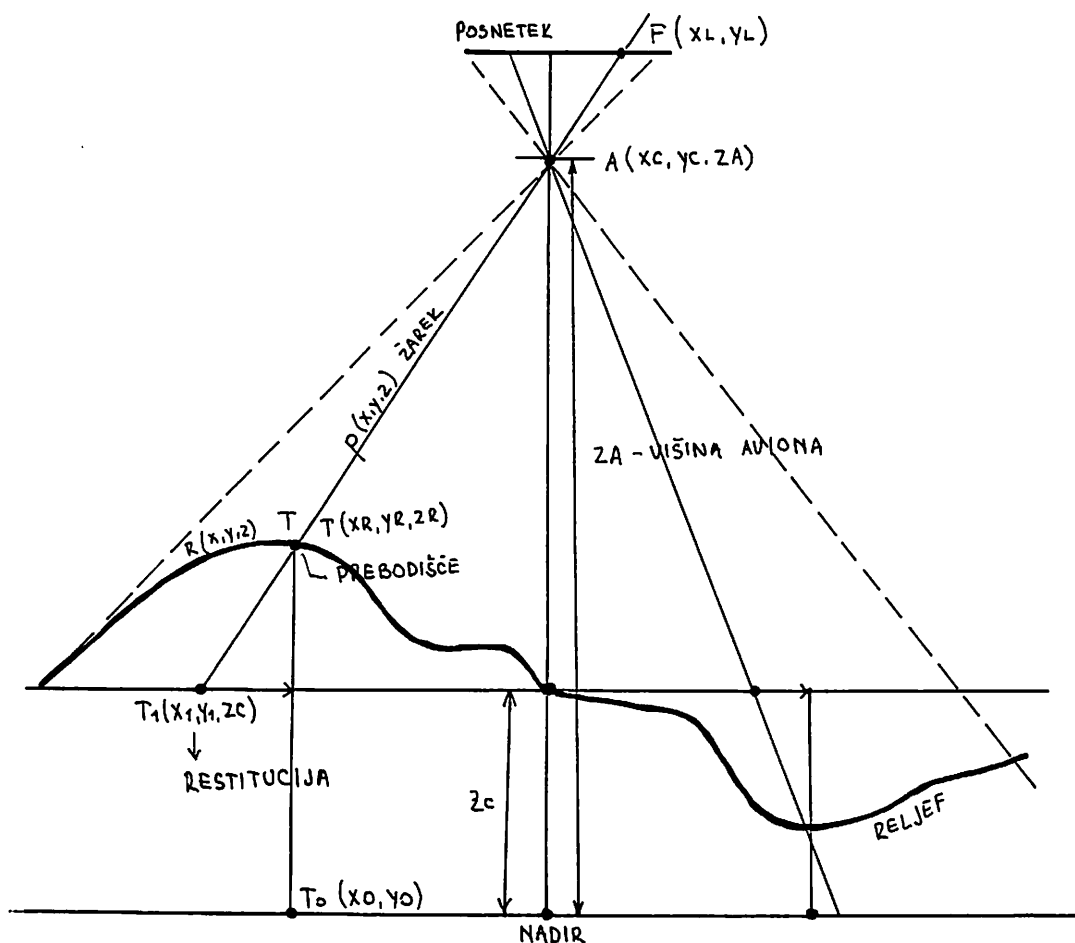
Računalniška oprema je obsegala:

- računalnik FACOM OSIV Zavoda SRS za Statistiko
- digitalnik CALCOMP na Meteorološkem Zavodu, ki je priključen na računalnik DELTA 700.
- elektrostatičen plotter VERSATEC na FAGG

Pri prenosu podatkov med raznimi računalniki smo uporabljali magnetne trakove. Različne računalniške konfiguracije so zapletle in podaljšale realizacijo naloge.

### 3. MATEMATIČNE OSNOVE MONO RESTITUCIJE

Matematične osnove so preproste in obsegajo znanje analitične geometrije prebodišča premice (žarka) z ravnino (reljefom). Problem restitucije najlaže razumemo če pogledamo skico:



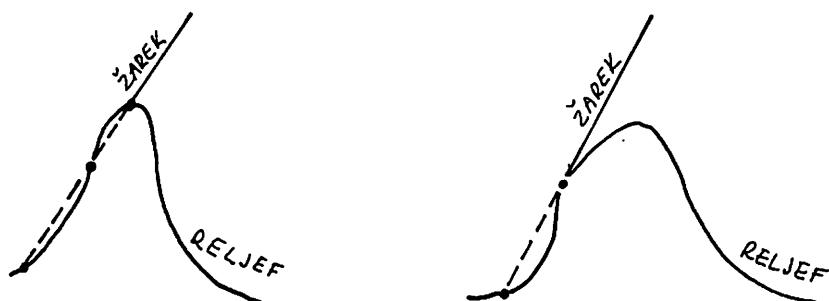
Točka T na terenu se preslika v točko F na posnetku. Kjer je točka T višje ležeča kot je ravnina posnetka je lokacija točke T radialno premaknjena v točko T1. Pravilno koordinato točke T dobimo, če določimo prebodišče žarka z ravnino reljefa. Tlorisna točka je T0. V analitični geometriji je problem naslednji: skozi točki A(xc,yc,za) in T1(x1,y1,zc) potegnemo premico p(x,y,z). Točka A(xc,yc,za) je podana s centrom posnetka in višino letala. Točko T1(x1,y1,zc) pa dobimo s transformacijo lokalnih koordinat v Gauss Krugejev koordinatni sistem. Ravnino R(x,y,z) skozi katero iščemo prebodišče dobimo z interpolacijo DMR-100. Rešimo enačbo  $p(x,y,z) - R(x,y,z) = 0$  in dobimo točko prebodišča T(xR,yR,zR). Tlorisna točka je T0(x0,y0) in je rezultat mono restitucije. Postopek v primeru da leži točka nižje kot je višina centra posnetka je enak samo smer korekcije točke je nasprotna, kot je razvidno na skici.



#### 4. RACUNALNISKI PROGRAM

Vsi algoritmi delujejo na osnovi iteracij postopnega približevanja rezultatu. Natančnost je odvisna od števila iteracij in pogojenosti vhodnih podatkov. Kontrola na začetku programa testira konvergentnost transformacije in avtomatično prilagaja število iteracij natančnosti vhodnih podatkov. Pri rasterski obdelavi posnetka, kjer restituiramo vse točke, morajo biti algoritmi izredno hitri, da so programi uporabni.

Problemi, ki smo jih morali rešiti so večkratna prebodišča žarka z reliefom in tangencialni dotiki žarka z reliefom. Takšni primeri nastanejo v Alpah in pri panoramskih posnetkih. Lahko pa je vzrok napaka v DMR-100.



Problem smo rešili z vidnostjo reliefa iz letala in z predpostavko, da se pri transformaciji ohranja podobnost krivulje na posnetku in transformirane krivulje.

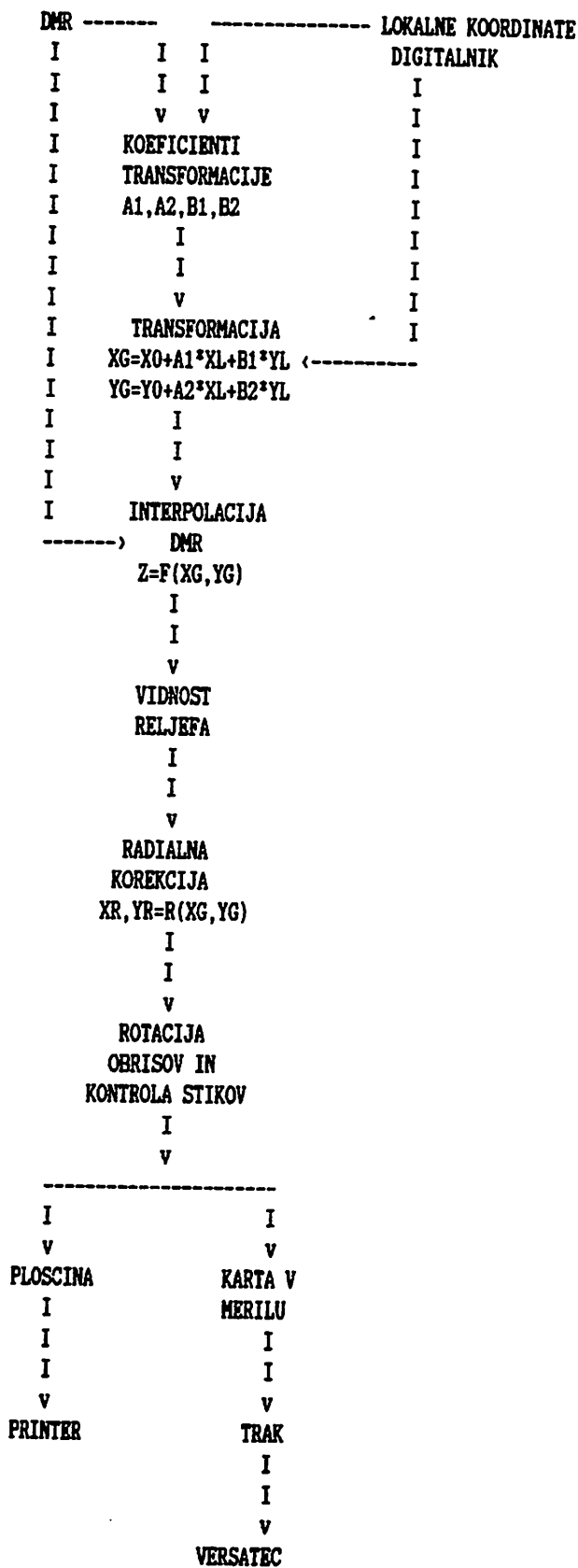


#### 5. POTEK RACUNALNISKE OBDELAVE

Raunalniški program sestavljajo štirje neodvisni moduli:

- za vsak aero posnetek določimo koeficiente transformacije iz lokalnih koordinat aero posnetka v G K koordinatni sistem z metodo najmanjših kvadratov. ( Helmertova transformacija)
- Transformiramo vse lokalne koordinate aero posnetka v G. K. sistem po formuli:  
$$XG = a1*x + b1*y + c1 \quad YG = a2*x + b2*y + c2$$
- za G. K. koordinate določimo prebodišča žarka z reliefom:  
$$ABS( p(x,y,z) - R(x,y,z) ) < DELTA$$
  
in izvršimo radialno korekcijo
- koordinate izrišemo na ploterju in izračunamo površine

DIAGRAM POTEKA



## 6 OCENA NATANČNOSTI MONO RESTITUCIJE

Ocena velja za obdelave, kjer aero posnetki nimajo označene markerje. Transformacijske točke na aero posnetku določimo vizualno s pomočjo karte.

Skupno oceno natančnosti dobimo, če analiziramo vse možne izvore nenatančnosti in ti so:

### Aero posnetek:

Optična os posnetka ne leži v nadirju aviona med snemanjem (avion je nagnjen). Aero posnetek ima sliko libele, ki analogno nakazuje odstopanje od vertikale. Podatek ni digitalen in ga ne moremo upoštevati v rač. algoritmu. Odmik optične osi od vertikale za 0.1 stopinjo povzroči napako do 5M. Predvideli smo dodaten modul, ki korigira vertikalo optične osi, vendar ga v testne obdelave nismo vključili.

### Netočne transformacijske koordinate

Metoda najmanjših kvadratov transformacije lokalnih koordinat aeroposnetka v G. K. sistem zahteva identifikacijo najmanj štirih točk na aero posnetku. Identifikacija točk in prireditev G. K. koordinat je izvor največjih napak. Na karti lahko odčitamo koordinato na 0.5 mm. V merilu 1 : 10 000 pomeni 5m. V praksi dosega napaka do 10m (raztezek papirja napaka na karti itd.) Z metodo najmanjših kvadratov izboljšamo natančnost do 30%.

Zaradi pomembnosti transformacijskih točk primerjamo kote na aero posnetku in na karti. V idealnem primeru morajo biti koti enaki.

### Napake zaradi DMR-100

Višinska natančnost DMR-100 v mrežnih točkah je po definiciji  $\pm 5m$ . Program avtomatično izbira interpolacijo 4 ali 16 višin glede na razgibanost terena. S tem dosežemo, da napaka višin izven mreže ostane v mejah  $\pm 5 m$ .

### Natančnost digitalnika je 0.01 mm

### Preciznost rač. algoritmov

Vse konstante in spremenljivke so interno predtavjene s 4bytni aritmetiki, kar nam omogoča, da računamo koordinate na mm natančno. Izhajajoče koordinate na m natančno.

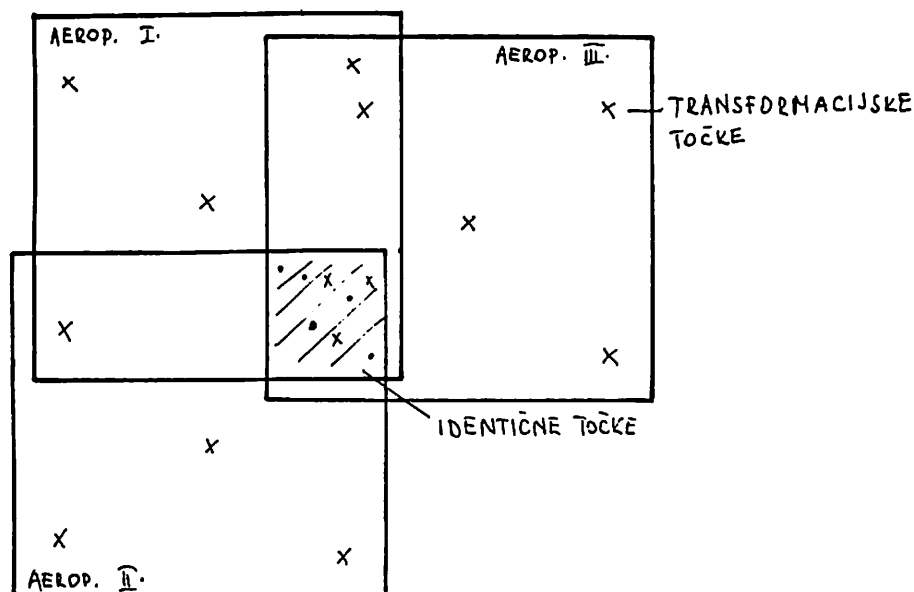
### Natančnost versaplota je 0.1 mm

## 7 OCENA NAPAKE MONO RESTITUCIJU

Realno oceno napake dobimo, če računamo mono restitucijo na konkretnem primeru Pohorja na treh aero posnetkih, ki se prekrivajo.

TESTNO OBMOČJE - Slovenj Gradec  
 VISINA SNEMANJA - 3520 m  
 TRIJE AERO POSNETKI - merilo 1 : 17 000  
 KARTA - TK 1 : 10 000

MEDSEBOJNA LEGA POSNETKOV



Primerjava kotov na aero posnetku s koti na karti

Na vsakem aero posnetku smo identificirali 6 Lokacij in jim določili G. K. koordinate na karti TK 1: 10 000. Izračunali smo kot med centrom posnetka in dvema točkama na posnetku ter kot identičnih točk na karti. Kote smo primerjali med seboj in s tem ugotovili metričnost karte. V primeru večjih napak smo izbrali druge lokacijske točke na posnetku. V tabeli so navedeni procenti ujemanja kotov med karto in aero posnetkom.

PRIMERJAVA KOTOV NA AERO POSNETKU Z KOTI NA KARTI

ISTOLEZNE TOČKE		AERO POSNETEK	KARTA 1:10 000	UJEMANJE %
AERO P. I	1 2 3	32.0078	32.5990	99.7593
	1 3 4	45.3466	45.2334	99.0408
	1 4 5	12.5331	12.2880	98.0181
	1 5 6	35.0463	35.3544	99.0332
AERO P. II	1 2 3	20.3039	20.2339	99.0394
	1 3 4	40.6540	40.3303	98.9875
	1 4 5	40.4842	40.4757	99.9733
	1 5 6	39.7773	39.9594	99.4265
AERO P. III	1 2 3	20.3858	19.9365	97.6907
	1 3 4	44.6959	45.0322	98.9564
	1 4 5	9.0035	8.8529	98.0498
	1 5 6	40.9154	41.1718	99.2000

Testiranje natančnosti transformacije lokalnih koordinat v G. K. koordinate.

Koeficiente transformacije lokalnih koordinat aero posnetka v G. K. koordinate smo določili z metodo najmanjših kvadratov. Napaka transformacije, ki izvira iz netočnih koordinat na karti je v povprečju 5 m, na karti TK 1 : 10 000 je to 0.5mm. Večjo natančnost pri identifikaciji koordinat bi težko dosegli. V tabeli so navedena odstopanja med odčitano in transformirano koordinato za vse transformacijske točke.

-----  
 TRANSFORMACIJA LOKALNIH KOORDINAT V GAUSS KRUGERJEVE KOORDINATE  
 -----

A E R O	AERO POSNETEK			TK 1:10 000		TRANSFORMACIJA		DELTA (METER)
	LOKALNE KOOR. 0.1 MM			GAUSS KRUG. (METER)		GAUSS KRUG. (METER)		
	N	X	Y	X	Y	X	Y	
I	1	1183	1317	5495917	5155537	5495918	5155534	3.16
	2	205	1972	5496540	5156585	5496538	5156584	2.24
	3	1927	1571	5496220	5154788	5496220	5154787	1.00
	4	385	575	5495111	5156301	5495112	5156302	1.41
	5	1725	393	5495001	5154918	5494998	5154918	3.00
	6	1357	1864	5496491	5155391	5496490	5155393	2.24
II	1	1203	1322	5495900	5156510	5495902	5156507	3.61
	2	1163	1945	5496540	5156585	5496531	5156584	9.06
	3	2341	1850	5496491	5155391	5496499	5155393	8.25
	4	679	302	5494835	5156973	5494839	5156973	4.00
	5	1358	533	5495111	5156301	5495110	5156303	2.24
	6	2312	425	5495060	5155340	5495053	5155337	7.62
III	1	1211	1392	5494119	5155320	5494112	5155305	16.55
	2	323	2348	5495111	5156301	5495116	5156306	7.07
	3	1601	2199	5495001	5154918	5494999	5154920	2.83
	4	295	684	5493320	5156265	5493315	5156262	5.83
	5	1759	387	5493040	5154665	5493044	5154669	5.66
	6	1035	243	5492860	5155440	5492862	5155444	4.47

DELTA ==> AR. SREDINA = 5.01 M. STANDARDNA DEV. = 3.76 M

Mono restitucija lokalnih koordinat in primerjava s koordinatami identičnih točk na karti TK 1: 10 000

Digitalizirali smo 17 točk na treh aero posnetkih, z mono restitucijo izračunali G. K. koordinate in jih primerjali s koordinatami, ki smo jih odčitali na karti TK 1 : 10 000. Povprečno odstopanje je 4.42 m in je v mejah natančnosti določitve transformacijskih koordinat. Odstopanja za posamezno koordinato so v tabeli.

-----  
**PRIMERJAVA KOORDINAT MONO RESTITUCIJE S KARTO TK 1:10 000**  
 -----

KARTA TK 1: 10 000 (METRI)				MONO RESTITUCIJA (METRI)		ODSTOPANJE (METRI)	
N	X	Y	H	X	Y	H	DELTA
1	5495917	5155537	407	5495918	5155534	407	3.16
2	5496540	5156585	532	5496538	5156585	528	2.00
3	5496220	5154788	522	5496220	5154755	517	3.00
4	5495111	5156301	456	5495111	5156302	454	1.00
5	5495001	5154918	518	5494997	5154917	518	4.12
6	5496491	5155391	405	5496490	5155392	405	1.41
7	5495900	5156510	441	5495902	5156507	441	3.61
8	5496540	5156585	532	5496532	5156563	526	3.25
9	5496491	5155391	405	5496498	5155393	405	7.28
10	5494835	5156973	577	5494838	5156974	574	3.16
11	5495111	5156301	456	5495110	5156302	454	1.41
12	5495060	5155340	436	5495052	5155336	435	8.94
13	5495111	5156301	456	5495116	5156306	455	7.07
14	5495001	5154918	518	5494998	5154920	518	3.61
15	5493320	5156265	540	5493315	5156261	541	6.40
16	5493040	5154665	619	5493044	5154669	618	5.06
17	5492860	5155440	422	5492864	5155443	423	5.00

DELTA ==> AR. SREDINA = 4.42 M    STANDARDNA DEV. = 2.48

Primerjava identičnih točk dveh aero posnetkov

Na vsakem aero posnetku smo izbrali 10 točk, ki na terenu predstavljajo iste objekte. Za vsak posnetek smo z mono restitucijo izračunali G. K. koordinate za vseh 10 točk. Za vsak par koordinat smo izračunali odstopanje. Na ta način smo se izognili primerjavi koordinat s karto. Povprečno odstopanje je 3.72 m in je v mejah natančnosti transformacije iziramo natančnosti identifikacije transformacijskih koordinat na karti.

-----  
**PRIMERJAVA IDENTIČNIH TOČK DVEH AERO POSNETKOV**  
 -----

AERO P. I

AERO P. II

N	X	Y	X	Y	DELTA
1	5495111	5156302	5495110	5156302	1.00
2	5494946	5156239	5494948	5156290	2.24
3	5494820	5156208	5494851	5156209	1.41
4	5495116	5155831	5495116	5155834	3.00
5	5494871	5155905	5494882	5155907	11.18
6	5494899	5155748	5494898	5155749	1.41
7	5495158	5155672	5495156	5155673	2.24
8	5494954	5155570	5494956	5155574	4.47
9	5495130	5155428	5495128	5155437	9.22
10	5495053	5155336	5495052	5155336	1.00

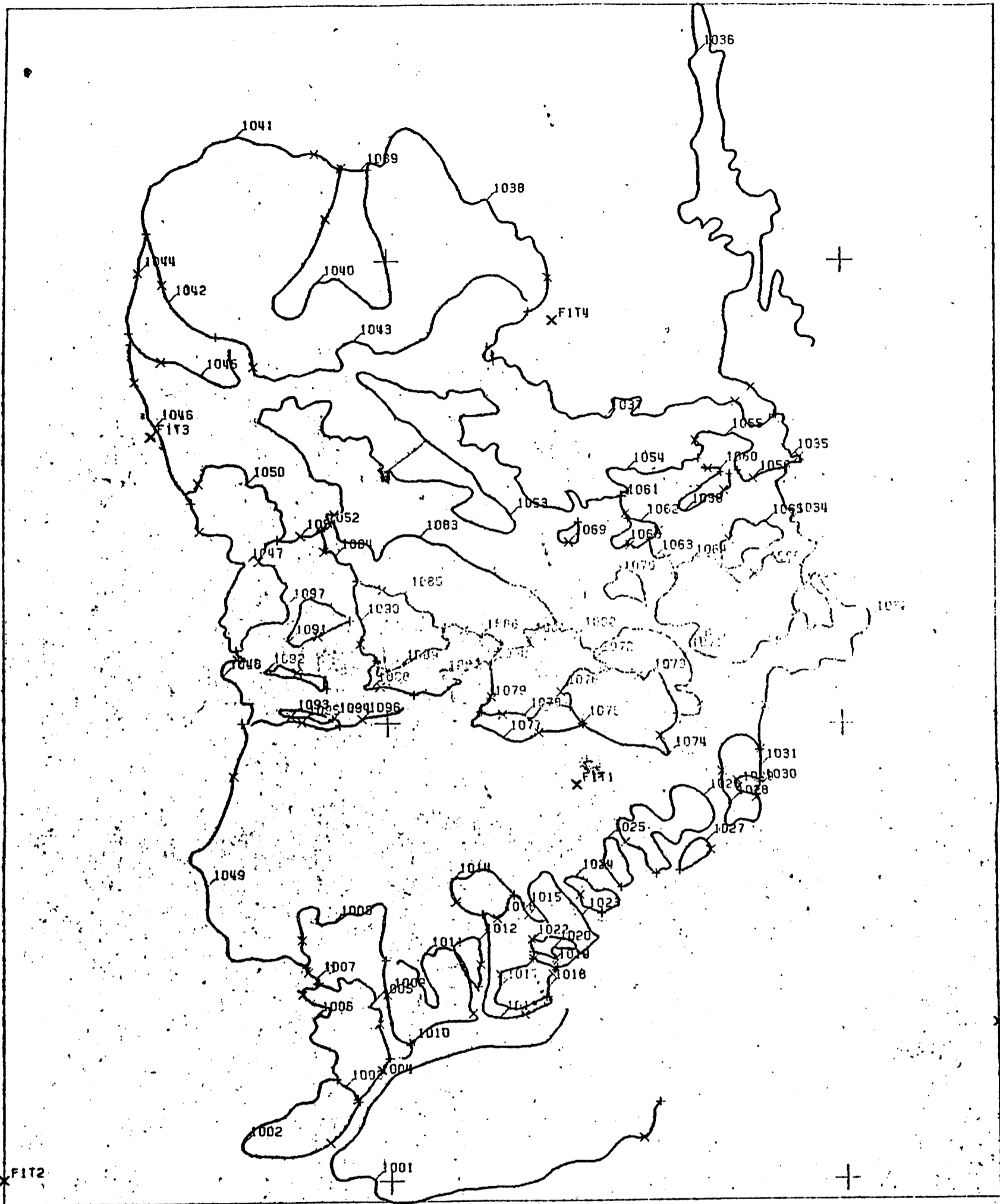
DELTA ==> AR. SREDINA = 3.72 M    STANDARDNA DEV. = 3.60 M

## 8. Zaključek

Rezultati analize natančnosti mono restitucije potrjujejo predvidevanje, da je povprečna napaka restitucije manjša ali enaka napaki s katero odčitamo transformacijske koordinate na karti. Višinska napaka DMR-100 je v mejah napake transformacije zato je DMR-100 uporaben pri restituciji aero posnetkov. Za področje Trente je višinska napaka v mejah napake transformacije. V prilogi je izris karte za področje Trente, ki je bila izdelana iz 8 aero posnetkov z 16 000 koordinatami.

## 9. Literatura

- 1 American society of Photogrammetry. 1966 Manual of photogrammetry
- 2 Thompson, E.H. 1975 Resection in Space. Photogrammetric Engineering 33:1171
- 3 Moffitt Francis H. Photogrammetry



1 : 10 000 SOCA TRENTA

MONO RESTITUCIJA