

ISPITIVANJE TOČNOSTI IZOŠTRAVANJA S OSVRTOM NA PARALAKSU NITNOG KRIŽA DURBINA

Krsto ŠIMIČIĆ — Zagreb*

1. UVOD

Na točnost izoštravanja slike predmeta utječu različiti faktori, kao što su: optička funkcija durбина, funkcija oka opažača, uvjeti pri kojima se opaža, metoda izoštravanja. Zbog nesavršenosti justaže durбина, preslikavanja optičkog sistema, pogrešaka u radu, ograničene oštine vida oka i dr. dolazi do pogreške u izoštravanju slike predmeta. Posvetimo li justaži durбина i osobnom radu posebnu pažnju sve pogreške možemo smanjiti na najmanju mjeru, osim što ne možemo utjecati na sposobnost našeg oka. Zbog toga najveći utjecaj na točnost izoštravanja ima ograničena oština vida oka. Pogreška u izoštravanju očituje se u nepodudarnosti ravnine slike predmeta i ravnine nitnog križa, koje naše oko ne može zamijetiti. Nepodudarnost (razmak) mjernih ravnina, $\Delta x'$, uzrokuje pojavu paralakse nitnog križa.

Paralaksa nitnog križa je stalan izvor pogrešaka mjerenja, što pri opažanju durbinom uzrokuje pogrešku vizurnog pravca. Utjecaj paralakse nitnog križa na točnost mjerenja durbinima geodetskih instrumenata predmetom su mnogih istraživanja, koja su ukazala da utjecaj paralakse ovisi o položaju okulara i akomodacijskom stanju oka opažača. Ustanovljeno je da postoji samo jedan položaj okulara u kojem se oko, pri promatranju predmeta, nalazi u stanju mirovanja akomodacije. To je optimalan položaj okulara ([2]). U ovom položaju okulara ili u njegovoj neposrednoj blizini možemo očekivati najmanju pogrešku u izoštravanju slike predmeta, a time i najmanju pogrešku mjerenja uslijed paralakse nitnog križa. Zbog toga treba opažati u optimalnom položaju okulara, naročito pri zahtjevu visoke točnosti mjerenja.

U ovom radu opisat će se, ukratko, neka ispitivanja točnosti izoštravanja i njihove utjecaje na pogrešku vizurnog pravca uslijed paralakse nitnog križa.

Optimalan položaj okulara određen je točnijom metodom (vidi [2]).

Ispitivanja točnosti izoštravanja obavljena su pomoću dvije metode izoštravanja:

1. Metoda najpovoljnije oštine slike predmeta (metoda A) i
2. Metoda poništavanja paralakse (metoda B).

* Adresa autora: Mr Krsto Šimičić, dipl. inž., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26. Ovaj rad izrađen je u okviru istraživačkog zadatka što ga financira SIZ III.

Opažanja su obavljena u laboratorijskim i terenskim uvjetima mjerenja, s nivelirima:

Wild N3 br. 358598,

Zeiss Ni 025 br. 513287,

Zeiss Ni 004 br. 129934,

Zeiss KONI 007 br. 150460,

Zeiss — Opton Ni 2 br. 142711.

Za očitavanje položaja vijka za izoštravanje (nakon pojedinačnih izoštravanja slike predmeta) postavljanja je na vijak za izoštravanje milimetarska skala, dok je indeks za očitavanje ove skale postavljen na kućište durbina, s vanjske strane.

Razmak mjernih ravnina računamo po formuli:

$$\Delta x' = P \cdot \Delta p,$$

gdje je:

P prenosni faktor,

Δp zakret vijka za izoštravanje.

2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Opažanja su obavljena u Laboratoriju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, uz korištenje kolimatora Wild, žarišne daljine objektiva 500 mm. Vizurna marka je nitni križ kolimatora, podešenog na neizmjenjivo. Izoštravanja vizurne marke obavljena su spomenutim metodama (A i B) pri različitim uvjetima rasvjete (2V, 4V i 6V) i uz različite položaje okulara (u području dovoljno oštre slike vizurne marke). U svakoj seriji mjerenja imamo po 120 izoštravanja slike predmeta. Zakret vijka za izoštravanje, Δp , određen je kao srednja pogreška položaja vijka za izoštravanje.

Prema podacima ovih opažanja određen je optimalan položaj okulara (vidi sl. 1 u [2]). Iz rezultata mjerenja može se zaključiti da određivanje optimalnog položaja okulara ne ovisi značajnije o promjeni rasvjete (razlika je u granicama do $\pm 0,2$ dioptrije, za sve ispitivane nivelire).

Rezultati ispitivanja pokazuju da su pogreške izoštravanja, a time i paralaktički utjecaji najmanji u optimalnom položaju okulara ili u njegovoj neposrednoj blizini. Ovo vrijedi za obje metode izoštravanja i u svim uvjetima rasvjete, pri kojima se opažalo (2V, 4V i 6V), za sve ispitivane nivelire. Prema tome, treba opažati u optimalnom položaju okulara, pogotovo ako se izoštrava metodom A. Naime, izoštravanjem slike predmeta metodom najpovoljnije oštire slike (metoda A) izvan optimalnog položaja okulara, mogu nastupiti pogreške sistematskog karaktera, a da oko to ne zamjećuje. Tome je uzrok akomodacija oka, jer je oko u stanju, zbog akomodacije, vidjeti istovremeno oštro i sliku predmeta i nitni križ, iako nisu u istoj ravnini.

Pregled rezultata ispitivanja:

Nivelir	$\Delta x'$ (mm)	2V	4V	6V	P
Wild N3	$\Delta x'_{A\ sr}$	0,039	0,037	0,035	1 : 1,5
	$\Delta x'_{B\ min}$	0,042	0,029	0,028	
Zeiss Ni 025	$\Delta x'_{A\ sr}$	0,035	0,031	0,030	1 : 2,5
	$\Delta x'_{B\ min}$	0,034	0,026	0,025	
Zeiss Ni 004	$\Delta x'_{A\ sr}$	0,027	0,026	0,024	1 : 6,35
	$\Delta x'_{B\ min}$	0,028	0,022	0,016	
Zeiss — Opton Ni 2	$\Delta x'_{A\ sr}$	0,022	0,019	0,018	1 : 8,0
	$\Delta x'_{B\ min}$	0,021	0,015	0,012	
Zeiss KONI 007	$\Delta x'_{A\ sr}$	0,018	0,017	0,015	1 : 10,8
	$\Delta x'_{B\ min}$	0,017	0,013	0,012	

$\Delta x'_{A\ sr}$ određen kao aritmetička sredina rezultata izoštravanja u svim položajima okulara, pri kojima se opažalo,

$\Delta x'_{B\ min}$ nalazi se u blizini optimalnog položaja vijka za izoštravanje.

Grafički prikaz rezultata ispitivanja vidi se na slici 1.

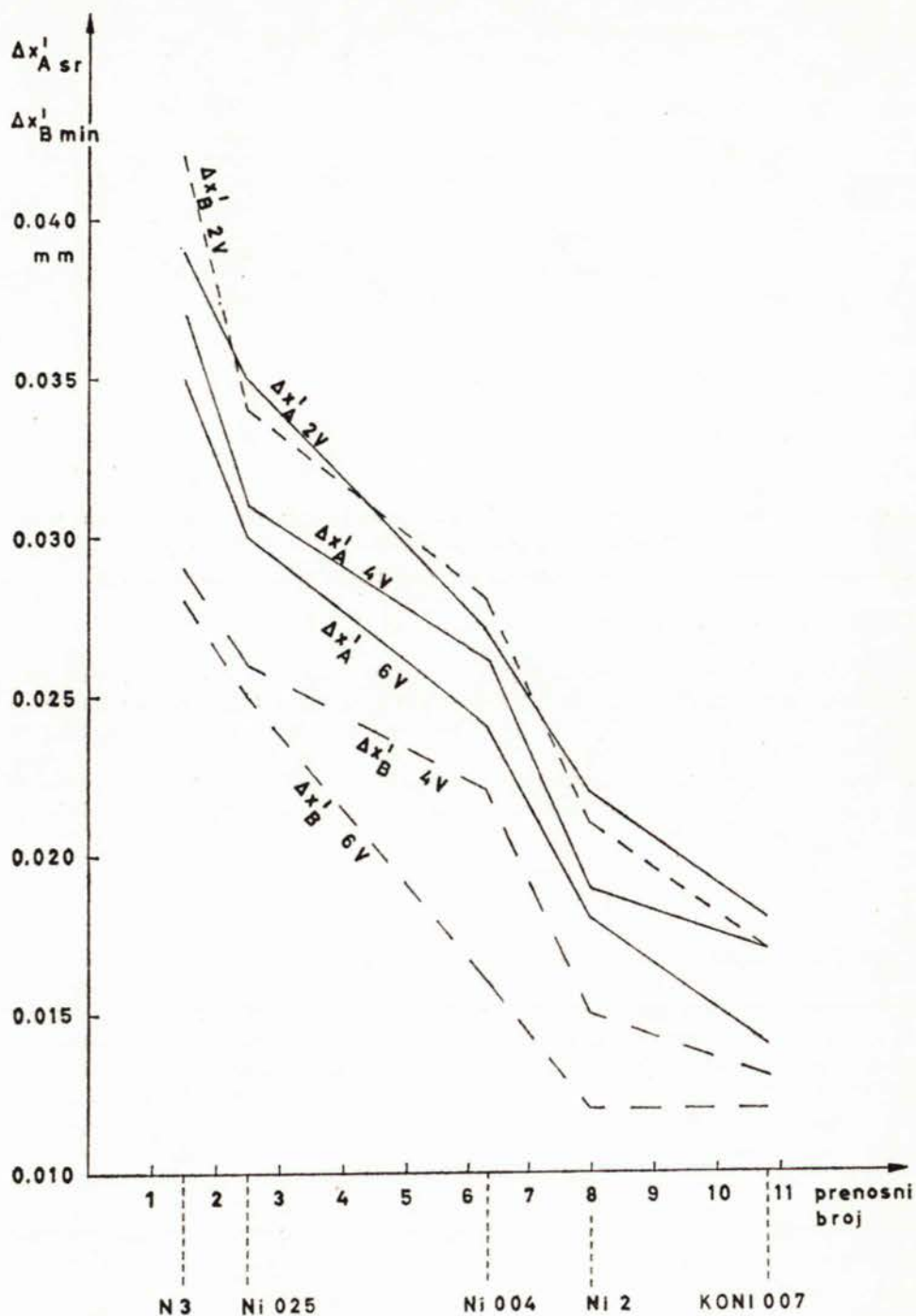
Iz pregleda rezultata ispitivanja i slike 1 se vidi da srednja pogreška izoštravanja slike predmeta opada s povećanjem rasvjete vizurne marke i s povećanjem prenosnog broja durbina (prenosni broj je nazivnik prenosnog faktora P). Osim toga moguće je da je i $\Delta x'_{A\ sr} < x'_{B\ min}$ pri rasvjeti od 2V, iz čega proizlazi da u lošijim uvjetima rasvjete metoda A može biti i točnija od metode B, a posebno ako se metodom B ne bi opažalo u optimalnom položaju okulara.

3. TERENSKA ISPITIVANJA

Točnost izoštravanja ispitivana je, određivanjem srednje pogreške izoštravanja, u povoljnim uvjetima (između 5 i 6* sati, prije izlaska Sunca) uz različite postavbe okulara (iste kao i pri laboratorijskim ispitivanjima), na udaljenostima od 10 m i 25 m. Vizurna marka je letva s podjelom na invarnoj vrpici. Metode izoštravanja, određivanje optimalnog položaja okulara i srednjih pogrešaka izoštravanja ($\Delta x'_{A}$ i $\Delta x'_{B}$) jednaka je kao i pri laboratorijskim ispitivanjima.

Iz rezultata ispitivanja može se zaključiti da optimalan položaj okulara ne ovisi o udaljenosti vizurne marke od stajališta instrumenta (vidi [4]). Usporedivši ove položaje, za pojedine ispitivane nivelire, s optimalnim položajima okulara određene u laboratoriju pri različitim uvjetima rasvjete, zaključujemo da se razlike nalaze u granicama od $\pm 0,2$ dioptrije (vidi [4]). Prema tome, optimalan položaj okulara ne ovisi značajno o promjenljivim uvjetima rasvjete i različitim udaljenostima.

* Opažanje u kolovozu 1982. godine.



Sl. 1. Srednja pogreška izoštravanja slike predmeta u ovisnosti o promjeni rasvjete vizurne marke i prenosnog broja durbina

Na temelju ispitivanja može se zaključiti da su pogreške izoštravanja najmanje pri opažanju u optimalnom položaju okulara, što je posebno izraženo za metodu B (isti zaključak izveden je i pri laboratorijskim ispitivanjima). Pogledajmo to na jednom primjeru:

Nivelir: Wild N3;

Optimalan položaj okulara: + 2,7 dioptrije.

Udaljenost: 10 m.

Vrijeme opažanja: od 5 do 5,30 sati (prije izlaska Sunca).

Položaj okulara	+2,0	+2,5	+2,7	+3,0	+3,5
$\Delta x'_A$ (mm)	0,0388	0,0352	0,0300	0,0304	0,0375
$\Delta x'_B$ (mm)	0,0425	0,0318	0,0260	0,0276	0,0336

U optimalnom položaju okulara je $\Delta x'_A > \Delta x'_B$, što znači da je pri ovom postavu okulara u povoljnim terenskim uvjetima metoda B točnija od metode A. Ovo se odnosi na sve ispitivane nivelire (i ovdje treba napomenuti da metodom A treba opažati uvijek pri optimalnom položaju okulara, zbog sistematskih utjecaja akomodacije oka).

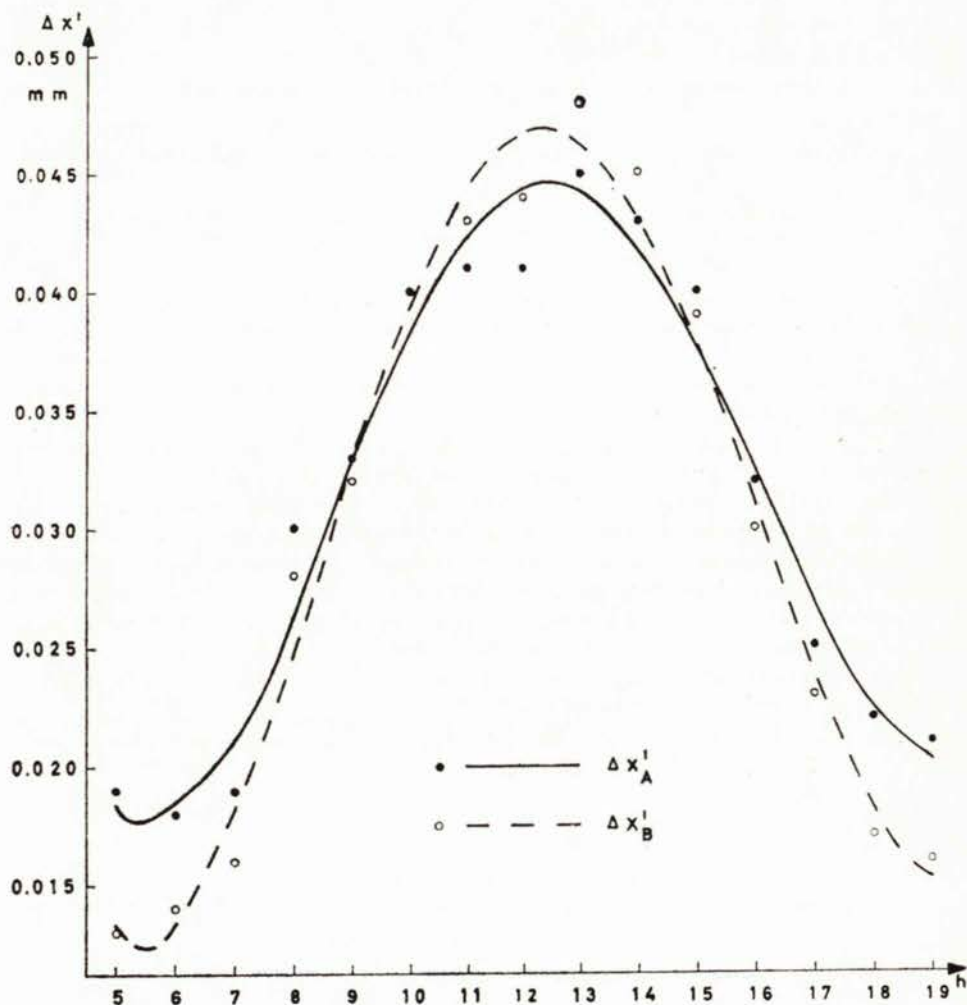
U [1], [2] i [4] konstatirano je da se točnost izoštravanja metodom B znatno smanjuje uslijed titranja slike i smanjenjem rasvjete (nepovoljni terenski uvjeti opažanja). Ovi faktori ne utječu u tolikoj mjeri na metodu izoštravanja A, što će uzrokovati da u određenim uvjetima metoda A bude i točnija od metode B.

U svrhu ovih ispitivanja obavljena su terenska mjerenja u različitoj dobi za vedrog i sunčanog dana ljeti (kolovoz 1982. godine u Barbatu na otoku Rabu), s početkom opažanja svakog punog sata (od 5 do 19 sati). Vizurna marka, letva s podjelom na invarnoj vrpici, je na udaljenosti 10 m, 25 m i 40 m od stajališta nivelira. U svakoj seriji imamo po 60 izoštravanja slike predmeta, pri optimalnom položaju okulara, metodama A i B.

Kao primjer prikazat ćemo rezultate mjerenja dobivene opažanjem s nivelrom Zeiss Ni 004, na udaljenosti 10 m:

Početak opažanja u sati	$\Delta x'_A$ (mm)	$\Delta x'_B$ (mm)
5	0,019	0,013
6	0,018	0,014
7	0,019	0,016
8	0,030	0,028
9	0,033	0,032
10	0,040	0,040
11	0,041	0,043
12	0,041	0,044
13	0,045	0,048
14	0,043	0,045
15	0,040	0,039
16	0,032	0,030
17	0,025	0,023
18	0,022	0,017
19	0,021	0,016

Prikažemo li vremenski dijagram tako, da na apscisu nanesimo vrijeme opažanja, a na ordinatu odgovarajuće srednje pogreške izoštravanja obim metodama, to ćemo dobiti stohastičku vezu između ovih veličina, a pokazalo se da ju možemo aproksimirati polinomom četvrtog stupnja (sl. 2).



Sl. 2. Grafički prikaz polinoma, izračunatih prema podacima iz tablice, pomoću stolnog računala HP 9845S, Zavoda za fotogrametriju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Slično dobivamo i na ostalim udaljenostima (25 m i 40 m) i za sve ispitivane nivelire.

Najmanje vrijednosti za $\Delta x'_A$ i $\Delta x'_B$ dobivene su do oko 8 sati i od oko 17,30 sati (vidi tablicu i sl. 2), što znači da u tom vremenskom razdoblju imamo i najmanje pogreške izoštravanja slike predmeta, a time i paralaktičkih utje-

caja. U spomenutom razdoblju je $\Delta x'_B < \Delta x'_A$. Ova ispitivanja pokazala su, da je točnost izoštravanja metodom B bila veća za približno 20% od metode A, u povoljnim uvjetima opažanja. Jednaka točnost za obje metode izoštravanja (odgovara presjecištima polinoma — sl. 2) dobivena je između 8 i 10 sati, te između 14 i 17 sati (ovisno o tipu nivelira tj. durbinu, udaljenosti i prenosnom broju durbina nivelira). U središnjem dijelu dana (između prijepodnevnog i poslijepodnevnog presjecišta polinoma — sl. 2) izoštravanje metodom A je točnije, pogotovo između 11 i 14 sati. Ovo se može objasnjavati titranjem slike predmeta, kada je izoštravanje metodom A sigurnije. Veličina prenosnog broja utječe na točnost izoštravanja (za obje metode) tako, da se povećanjem prenosnog broja (na kraćim udaljenostima je veći) povećava i točnost izoštravanja. Točnost izoštravanja se smanjuje povećanjem udaljenosti vizurne marke od stajališta instrumenta. Posljednje dvije konstatacije prikazimo na jednom primjeru:

Nivelir: Zeiss Ni 004,

Vrijeme opažanja: od 5 do 5,30 sati (prije izlaska Sunca).

Udaljenost (m)	$\Delta x'_A$ (mm)	$\Delta x'_B$ (mm)	P
10	0,019	0,013	1 : 8,0
25	0,024	0,020	1 : 7,0
40	0,027	0,023	1 : 6,5

Ovo se odnosi na rezultate ispitivanja tokom cijelog dana, za sve serije opažanja i za sve ispitivane nivelire.

4. SREDNJA POGREŠKA VIZURNOG PRAVCA USLIJED PARALAKSE NITNOG KRIŽA

Na temelju rezultata mjerenja izračunat ćemo srednju pogrešku vizurnog pravca uslijed paralakse nitnog križa, po formuli ([1], [2] i [4]):

$$m''_p = \pm \Delta \alpha''_{\max} \cdot \frac{m''_{pr}}{d_{i(mm)}}$$

gdje je:

$$\Delta \alpha''_{\max} = \frac{d_1}{2 \cdot f_2^2 \cdot \Gamma_a} \cdot \Delta X' \cdot \rho''$$

$$\frac{m''_{pr}}{d_{i(mm)}} \doteq \frac{1}{20} \text{ srednja pogreška relativne decentracije oka,}$$

- d_1 promjer izlazne pupile durbina (određen u laboratoriju),
 f_2 žarišna daljina okulara (određen na optičkoj klupi)
 Γ_a povećanje durbina kod kojeg je daljina promatranja prostim okom jednaka udaljenosti predmeta od prednje glavne ravnine teleobjektiva (određeno u laboratoriju),

$\Delta x'$ razmak mjernih ravnina (određen opažanjem),
 m''_{pr} srednja pogreška decentracije oka (određena u laboratoriju),
 $\rho'' = 206265''$.

Linearna odstupanja na mjernoj letvi računamo po formuli:

$$\Delta l_{(mm)} = \pm s_{(mm)} \cdot m''_p \cdot \frac{l}{\rho''},$$

gdje je:

s udaljenost predmeta od stajališta instrumenta.

Sada ćemo prikazati računanje srednje pogreške vizurnog pravca uslijed paralakse nitnog križa za $\Delta x'_{B \min}$ (u jutarnjim satima) i $\Delta x'_{B \max}$ (u središnjem dijelu dana), na udaljenosti od 10 m i 40 m:

Nivelir	10 m	40 m
	Δl (mm)	Δl (mm)
Wild N3	0,003—0,005	0,013—0,021
Zeiss Ni 025	0,004—0,008	0,019—0,035
Zeiss Ni 004	0,001—0,004	0,006—0,015
Zeiss KONI 007	0,002—0,004	0,008—0,020

Uz statističku sigurnost 95%, iznosi su dvaput veći.

Ovi podaci pokazuju da se srednja pogreška vizurnog pravca uslijed paralakse nitnog križa povećava s udaljenošću predmeta od stajališta nivelira, te da se paralaktički utjecaji mogu reducirati na minimalne iznose, uz potrebnu pažnju pri mjerenju i opažanja u optimalnom položaju okulara.

ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata ispitivanja možemo zaključiti:

- optimalan položaj okulara ne ovisi značajnije o promjeni rasvjete i udaljenosti vizurne marke od stajališta instrumenta (razlika je do $\pm 0,2$ dioptrije). Ipak se preporuča da ga svaki opažač određuje u povoljnim uvjetima i nikako ne za vrijeme titranja slike predmeta. Jednom postavljen okular u optimalan položaj nije preporučljivo pomicati, već treba odmoriti oko;
- pogreške izoštravanja slike predmeta, a time i paralaktički utjecaji najmanji su za opažanja pri optimalnom položaju okulara. Prema tome, treba opažati

u optimalnom položaju okulara, pogotovo kada se izoštrava metodom najpovoljnije oštine slike predmeta (metoda A), jer izvan toga područja može doći do pogrešaka sistematskog karaktera;

- pogreške izoštravanja se povećavaju smanjenjem rasvjete, manjim prenosnim brojem durbina, povećanjem udaljenosti vizurne marke od stajališta instrumenta i povećanjem amplitude titranja slike (najveća je u središnjem dijelu dana);
- u povoljnim uvjetima mjerenja metoda poništavanja paralakse (metoda B) daje manju pogrešku izoštravanja, dok je metoda najpovoljnije oštine slike (metoda A) povoljnija (točnija) pri slabijoj rasvjeti i u središnjem dijelu dana, između prijepodnevnog i poslijepodnevnog presjecišta polinoma. Osim toga, izoštravanje metodom A je brže, ekonomičnije i manje umara, ali ova se metoda mora primijeniti pri optimalnom položaju okulara;
- utjecaj paralakse nitnog križa na pogrešku vizurnog pravca može se reducirati na minimalne iznose, uz uvjet pravilnog podešavanja durbina i odgovarajuće koncentracije opažača.

LITERATURA

- [1] Benčić, D.: Prilog teoriji subjektivnih optičkih instrumenata primijenjenih u mjernoj tehnici, disertacija, Zagreb, 1979.
- [2] Benčić, D.: Ispitivanja paralaktičkih utjecaja, Geodetski list, 1984, 4—6.
- [3] Benčić, D., Šimičić, K.: Untersuchungen des Einflusses der Atmosphäre auf die Strichkreuzparallaxe, Vermessungstechnik, 1984, 4, 126—127.
- [4] Šimičić, K.: Prilog ispitivanjima paralaktičkih utjecaja na točnost mjerenja nivelirima, magistarski rad, Zagreb, 1983.

SAŽETAK

U ovom radu prikazano je ispitivanje točnosti izoštravanja slike predmeta pomoću dvije metode, pri različitim uvjetima rasvjete (u laboratoriju) i različitom stanju atmosfere u različito doba vedrog dana ljeti, s posebnim osvrtom na paralaksu nitnog križa. Na temelju podataka opažanja izračunata je srednja pogreška vizurnog pravca uslijed paralakse nitnog križa.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit ist die Fokussierungsgenauigkeit mittels zwei Methoden bei verschiedener Beleuchtung (im Labor) als auch verschiedenen Zustände der Atmosphäre während eines hellen, sonnigen Somertages mit besonderem Rückblick auf die Strichkreuzparallaxe dargestellt. Auf Grund der Messungsergebnisse wurde der mittlere Richtungsfehler wegen Strichkreuzparallaxe ermittelt.