

METODE IZOŠTRAVANJA SLIKE MJERNOG DURBINA

Dušan BENCIC — Zagreb

Durbin ima značajnu ulogu u mjernim procesima. Povećanjem vidnog kuta, a to znači i veličine slike na mrežnici oka, gdje se nalaze vidni receptori, mi možemo uočiti više detalja, nego li kod promatranja prostim okom. Primjenom durbina moguća su, stoga, mjerenja na većim udaljenostima i veće točnosti mjerenja, naravno uz određene uvjete opažanja.

Optički sistem durbina sastoji se, kao što je poznato, iz dva osnovna dijela — objektiv i okulara. Kod mjernog durbina nalazi se ispred okulara i posebna staklena pločica sa nitnim križem.

Objektiv durbina služi za stvaranje realne slike mjernog objekta u ravni nitnog križa, gdje vršimo mjerenje.

Okular, kao sabirni sistem, djeluje kao lupa, kojom promatramo nitni križ.

Prema tome za mjerenje durbinom potrebno je:

- postići potrebnu oštrinu nitnog križa
- izvršiti preslikavanje mjernog objekta u ravninu nitnog križa.

U ovim operacijama izoštravanja nije svejedno na koji način i sa kakvom točnošću se postupak izoštravanja vrši.

Izoštravanje nitnog križa translacijom okulara nazivamo dioptriranjem. To je posve subjektivna operacija, jer je položaj okulara ovisan i o refrakcionom stanju oka opažača.

Za oko normalne refrakcije moguće je postići oštrinu slike za svaki položaj predmeta, tj. nitnog križa, unutar žarišne daljine okulara, sve dok oko može akomodirati.

Međutim, akomodirano oko nije poželjno kod mjerenja. Pri akomodiranom oku leća oka je labilna, a kako i promjena rasvjete smanjuje širinu akomodacije, to jednom izoštrani nitni križ, može naknadno opet izgledati neoštro, pa je potrebno i naknadno podešavanje, što se ne preporuča.

Ispitivanja su pokazala, da je točnost mjerenja ovisna o položaju okulara, jer među ostalim, i točnost dovođenja slike mjernog predmeta u ravninu nitnog križa, ovisi o položaju okulara (*P. Engi*).

Dioptriranje stoga uvijek treba izvoditi pomicanjem okulara prema unutra (uvijanjem), sve dok se ne pojavi oštra slika nitnog križa.

Slijedeća operacija podešavanja durbina za mjerenja je izoštravanje slike mjernog objekta i poništavanje paralakse. Durbin je po svojoj osnovnoj konstrukciji afokalan sistem. To znači, da paralelni snopovi zraka svijetlosti i izlaze iz durbina kao paralelni snopovi. Kažemo, da je u tom slučaju durbin podešen ili izoštren na neizmjereno. U tom slučaju žarišta objektivna i okulara padaju u zajedničku točku.

Međutim, pri mjerenjima durbinom na terenu opažamo predmete na različitim konačnim udaljenostima. Iz geometrijske optike je poznato, da svakoj ravnini predmeta odgovara samo jedna pridružena ili konjugirana ravnina slike. Ako je predmet bliži objektivu durbina i slika će biti sve dalje od objektivna.

Nalazi li se zastor na kojem tražimo sliku predmeta izvan konjugirane ravnine, slika je *neoštra*.

Stoga i postupak dovođenja zastora, u našem slučaju nitnog križa, u ravninu slike, ili ravninu slike u ravninu zastora, nazivamo *izoštravanjem slike*.

Često se ovaj postupak naziva i fokusiranjem. Kako izraz dolazi od riječi fokus ili žarište, to je očito, da on ne odgovara za općeniti naziv operacije koju smo opisali. Fokusiranjem bismo mogli nazvati izoštravanje slike u žarišnoj ravnini (kraće: u fokusu), a to znači, samo kad izoštravamo sliku vrlo dalekog predmeta. Tada durbin dovodimo u afokalan sastav. Fokusiranje je, dakle, samo specijalan slučaj izoštravanja.

No šira diskusija o tome već spada u terminološku rubriku ovog lista.

Postoje različite mogućnosti za izoštravanje slike durbina. Dva osnovna načina su: vanjsko i unutrašnje izoštravanje.

Karakteristika je vanjskog izoštravanja u promjeni razmaka objektivna i okulara — durbin mijenja mehaničku **dužinu**.

Postoje dvije mogućnosti vanjskog izoštravanja — pomak objektivne cijevi sa objektivom i pomak okularne cijevi sa nitnim križem i okularom zajedno.

Vrlo su rijetke konstrukcije durbina sa pomakom objektivne cijevi (npr. stara konstrukcija Hammer-Fennelovog tahimetra s Porrovim durbinom).

Kod modernih konstrukcija durbina odbačen je sistem vanjskog izoštravanja zbog niza nedostataka, koji su poznati.

Do značajnog preokreta u konstrukcijama geodetskih instrumenata došlo je primjenom novih ideja velikog konstruktora H. Wilda, posebno, kada je on došao u tvornicu ZEISS u Jeni 1908.

Tada je konstruiran i prvi durbin s teleobjektivom i tzv. unutrašnjim izoštravanjem.

Karakteristika konstrukcije teleobjektiva je primjena sabirne leće, odnosno sabirnog sistema, i rastresne leće, odnosno rastresnog sistema, na razmaku, ali takovom, da objektiv ima realno žarište. Time je uz kraću mehaničku građu postignuta velika žarišna daljina objektivna, što uvjetuje i veće povećanje, a što je pri konstrukciji geodetskih durbina vrlo važno.

Izoštavanje se vrši pomakom negativnog dijela objektiva u unutrašnjosti cijevi durbina, pa po tome i naziv unutrašnje izoštavanje. Pomakom leće mijenjamo razmak, a to znači i žarišnu daljinu objektiva, što omogućava pomak konjugirane ravnine slike, a time i njeno dovođenje u ravninu nitnog križa.

Sada je razmak između nitnog križa i prednjeg dijela objektiva konstantan, a to znači i mehanička dužina durbina je konstantna, što je svakako prednost ove konstrukcije.

Ovakova konstrukcija se u potpunosti afirmirala, te se uz različite varijante primjenjuje i danas kod većine konstrukcija durbina.

Interesantno je, da je za unutrašnje izoštavanje primijenjena u nekim konstrukcijama i sabirna leća. Takav slučaj imamo npr. kod durbina nivelira sa automatskim horizontiranjem ZEISS Ni 2, Oberkochen.

Naime, kod izoštavanja slike bližih predmeta mora se negativna leća primicati bliže nitnom križu. Međutim, kod specijalnih konstrukcija durbina, kao što je slučaj i sa spomenutim durbinom nivelira, nema dovoljno mjesta za ovaj pomak (ispred nitnog križa kod durbina ZEISS Ni 2 nalazi se prema objektivnoj strani kompenzator). Objektiv durbina je i u ovom slučaju građen kao teleobjektiv, ali je iza njega bliže kompenzatoru dodana još jedna sabirna leća. Pri izoštavanju bližih predmeta, sabirna se leća pomiče u suprotnom smislu, a to znači, prema objektivu, gdje za taj pomak ima dovoljno mjesta.

Međutim, konstrukcije instrumenata podvrgnute su neprekidnim promjenama. Kada nam se čini, da je neki konstrukcioni problem riješen na najbolji način, pojavljuje se nova konstrukcija sa nesumnjivim prednostima. Takav je slučaj i kod konstrukcije sistema za izoštavanje slike durbina.

Radi se o specijalnoj konstrukciji primijenjenoj kod preciznog nivelira Ni-A3, tvornice MOM — Budimpešta, sa automatskim horizontiranjem vizurne linije.

Objektiv durbina nije građen kao teleobjektiv, pa nema ni leće za izoštavanje slike. Ipak, razmak između objektiva i nitnog križa je *konstantan*.

Zrake svjetlosti, koje dolaze sa predmeta prolaze kroz objektiv, koji se nalazi u srednjem dijelu, odbijaju se na kutnom zrcalu od 90° , a zatim i na ravnom zrcalu kompenzatora K i ponovno na kutnom zrcalu, tako da objektiv stvara realnu sliku u ravnini nitnog križa N (sl. 1).

Nakon toga dolazi do ponovnog preslikavanja pomoću projekcionog sistema i prizme za totalnu refleksiju u ravnini drugog nitnog križa ispred okulara. Takovim preslikavanjem slika je uspravna — durbin je terestrički.

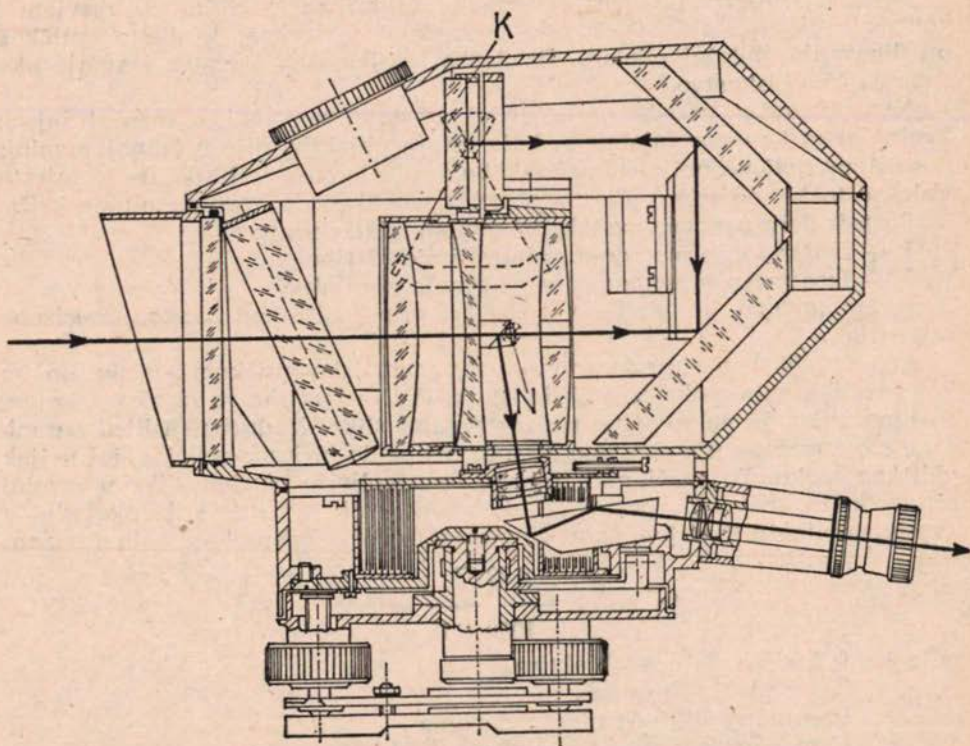
Što je najznačajnije — za izoštavanje slike koristi se *kutno zrcalo od 90°* .

Translacijom kutnog zrcala smanjuje se ili povećava dužina optičkog puta, pa je time moguće dovesti sliku u ravninu nitnog križa N pri različitim udaljenostima predmeta. Time je *položaj samog nitnog križa konstantan*.

Po optičkom principu način izoštavanja se može smatrati vanjskim. U ovom slučaju radi se o optičkom produženju, a ne mehaničkom produženju durbina. Po mehaničkoj konstrukciji izoštavanje je unutrašnje.

Dakle, imamo vrlo interesantnu konstrukciju sa nizom prednosti:

- Pločica sa nitnim križem u obliku klina N priljepljena je na prizmicu, odnosno leću objektiva, tako da se nalazi u glavnoj ravni slike objektiva. Time se objektiv i pločica nitnog križa pomiču istovremeno za iste iznose, pa uslijed toga nema promjena u položaju vizurne linije, uslijed nekih vanjskih utjecaja.
- Za različite udaljenosti predmeta analaktička točka ostaje u nepromijenjenom položaju, što nije slučaj kod durbina s teleobjektivom. Na drugom nitnom križu ispred okulara nalaze se samo paralelne crtice, koje ograničavaju područje kompenzacije.



Slika 1. — Konstruktivna shema preciznog nivelira MOM Ni-A3 sa izoštavanjem slike translacijom kutnog zrcala

Kao optički mikrometar za očitavanje mjere letve služi planparalelna ploča ispred objektiva durbina.

Kako durbin ima običan objektiv, to se analaktička točka nalazi ispred objektiva, pa se pojavljuje adiciona konstanta kod mjerenja udaljenosti pomoću niti u iznosu 370 mm.

Na osnovu konstruktivnih rješenja za izoštravanje slike durbina translacijom pojedinih optičkih elemenata, mogli bismo durbine podijeliti na:

— durbini sa translacijom objektiva

— durbini sa translacijom jednog dijela objektiva.

U ovoj konstrukciji možemo imati translaciju sabirne ili rastresene leće objektiva. Najčešće je primijenjena konstrukcija teleobjektiva sa pomakom negativnog dijela.

— durbini sa translacijom kutnog zrcala

— durbini sa translacijom nitnog križa sa okularom, odnosno translacijom okularne cijevi.

Osnovna svrha izoštravanja kod mjernih durbina nije samo dobivanje zadovoljavajuće oštine slike, već i dovođenje realne slike mjernog objekta u samu ravninu nitnog križa.

Točnost izoštravanja ovisi o mnogim faktorima, kao što su rasvjeta i kontrast mjernog objekta, stanje u zračnim slojevima, kvaliteta optičkog preslikavanja, položaj okulara, fiziološka i psihološka svojstva i stanje oka opažača, kao i iskustvo.

Npr., pogreške preslikavanja uvijek postoje, makar i u manjoj mjeri. Realna slika i ravnog predmeta, koju stvara objektiv, nije u jednoj ravnini; postoji zakrivljeno polje slike. Svakako kod mjerenja je bitno, da je mjesto vizirane točke, odnosno, mjesto očitavanja preslikano u ravninu nitnog križa.

Postoje dvije osnovne metode pri samom izoštravanju:

1 — Izoštravanje metodom najpovoljnije oštine

2 — Izoštravanje metodom poništavanja paralakse.

Druga metoda je točnija i treba je primijeniti kod svakog preciznog mjerenja.

Ako preslikavanje promatramo u geometrijsko-optičkom smislu, to se kod preslikavanja točke pojavljuje tzv. kružić rasipa, ako se zastor na kojem tražimo sliku ne nalazi u Gaussovoj ravnini slike. Međutim, uslijed ograničene moći razdvajanja oka, ono kružiće rasipa do izvjesne veličine, još uvijek vidi kao točku. To znači, ako tražimo najpovoljniju oštrinu slike u ravnini nitnog križa, uvijek će postojati odstupanja ovih ravnina, koja oko nije u stanju zamijeniti. Izvodom se može pokazati, da je odstupanje ovih ravnina:

$$\Delta x' = \pm \frac{0,29 f_1^2}{1000 \Gamma D} \alpha'$$

gdje je: f_1 žarišna daljina objektiva

Γ povećanje durbina

D promjer ulaznog otvora durbina

α' moć razdvajanja oka, izražena u minutama

Tako npr., za durbin povećanja 25x, žarišne daljine objektiva 200 mm, promjera ulaznog otvora 35 mm, ako usvojimo za nenapregnuto promatranje $\alpha' = 3,4'$, pogreška u izoštravanju može iznositi: $\pm 0,046$ mm. Ovakova pojava paralakse nitnog križa uzrokovat će pogreške u mjerenju.

Iznos odstupanja čini nam se naoko malen. Kako bismo ocijenili, koliko to može utjecati, npr. na točnost mjerenog pravca, to primijenimo formulu za maksimalnu pogrešku mjerenog pravca, ne ulazeći ovdje u njen izvod:

$$\Delta \alpha''_{\max} = \pm \frac{D}{2 f_1} \rho'' \Delta x'$$

$$\Delta x' = \pm 0,046\ 4'',1$$

Za naš durbín maksimalna pogreška pravca može, dakle, iznositi

$$\Delta \alpha'' = \pm 4'',1$$

Svakako ovu maksimalnu pogrešku možemo očekivati samo s vrlo malom vjerojatnošću. Ipak, kod preciznih mjerenja pogreške će biti veće od točnosti mjerenja, što ne smijemo dozvoliti.

Kod mjerenja na terenu ionako postoji složen splet različitih upliva na točnost naših mjerenja. Stoga je nužno ukloniti bar poznate izvore pogrešaka.

Uzmimo još jedan primjer.

Poslužit ću se jednom napomenom iz vrijednog djela naše starije stručne literature: Kostić-Svečnikov, Nivelman, Beograd 1936., u kojem na str. 315 stoji:

»Nikad ne treba dirati odnosno pomerati okularno sočivo i okularnu cev (a kod instrumenata novog tipa unutarne-negativno sočivo za fokusiranje) između čitanja na zadnjoj i čitanja na prednjoj letvi«.

Objektiv durbina preciznog nivelira neka ima žarišnu daljinu 336 mm. Ako je udaljenost jedne mjerne letve 30 m, i ako dozvolimo da je razlika između dužina vizura 0,5 m, to će se, ukoliko ne izoštravamo pri očitavanju druge letve, a smatramo, da je pri čitanju prve letve slika bila u ravnini nitnog križa, pojaviti pomak realne slike u iznosu 0,062 mm (Račun vidi: Benčić, Geodetski instrumenti I. dio, Optika, str. 203, Zagreb 1971.).

Ako je objektiv preciznog nivelira žarišne daljine 336 mm sa promjerom ulaznog otvora $D = 50$ mm, to prema gornjoj formuli dobivamo maksimalnu pogrešku pravca: $\pm 2,8''$, što daleko prelazi točnosti horizontiranja.

Stoga postoji jedino pravilo, da izoštravanje slike treba uvijek izvršiti i to što točnije.

Paralaksa nitnog križa uvijek je vrlo opasna pogreška kod preciznih mjerenja.

Kod preciznih mjerenja uvijek ćemo primijeniti metodu poništavanja paralakse, tj. da pomakom oka ispred okulara promatramo eventualni relativni pomak slike prema nitnom križu.

Razlog povećanoj točnosti u izoštravanju ovom metodom je u većoj oštirini ko incidencije oka.

Oštrina ko incidencije je samo jedan vid oštirine vida. Mjerimo je vidnim kutem pod kojim još oko može razlikovati odvojenost dviju crta. Oštrina ko incidencije je oko 3 do 10 puta veća od moći razdvajanja oka. To se objašnjava činjenicom, da pri ko incidenciji crta sudjeluje mnogo veći broj vidnih elemenata mrežnice.

Točnost izoštravanja slike metodom poništavanja paralakse u spomenutom je odnosu veća prema metodi najpovoljnije oštirine slike, ali to naravno, ovisi i o ostalim vanjskim uvjetima, naročito o stanju u atmosferi.

Točnost poništavanja paralakse može znatno umanjiti titranje slike u vidnom polju durbina do kojeg dolazi uslijed miješanja zračnih slojeva kroz koje prolazi vizura.

Pri većim amplitudama može prednost ove metode i potpuno otpasti.

Stručnjak mora sam ocijeniti da li je precizno mjerenje u određenim uvjetima uopće moguće.