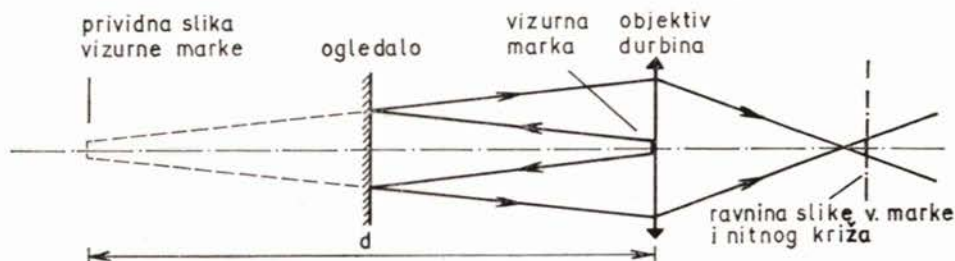


PRIMJENA PSEUDO — AUTOKOLIMACIONE METODE KOD ISPITIVANJA I JUSTAŽE GEODETSKIH INSTRUMENTATA

Gorana NOVAKOVIĆ — Zagreb*

1. UVOD

Postupak kod kojeg se slika točke optičkim putem preslikava u samu točku, odnosno predmet u ravninu predmeta, naziva se autokolimacija. Takvo preslikavanje može se postići stavljanjem ravnog zrcala — reflektora ispred objektiva durbina okomito na njegovu optičku os. Da bi se to moglo promatrati potrebno je osvijetliti nitni križ durbina. Ova metoda ima vrlo široku primjenu u mjernoj tehnici (npr. upotreba autokolimacionih durbina). U autokolimaciji sličnom postupku dolazi do poklapanja slike vizurne marke i nitnog križa u ravnini slike objektiva durbina. Pri tom je vizurna marka smještena u blizini vizurne osi durbina na udaljenosti od nekoliko dm ispred nitnog križa (sl. 1). Takav postupak naziva se pseudo-autokolimacija.



Sl. 1. Princip pseudo-autokolimacije

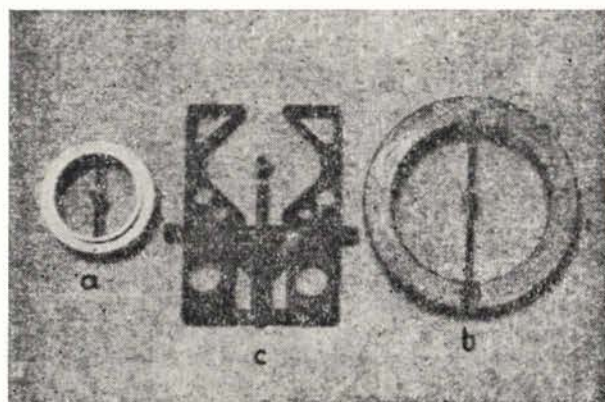
Kod primjene ove metode nisu potrebni posebni uređaji za rasvjetu nitnog križa. Potrebno je ravno zrcalo — reflektor i vizurna marka, pa će njihov opis, postavljanje i uvjeti funkcioniranja biti u nastavku izneseni.

2. IZVEDBA VIZURNIH MARKI

Vizurne marke, kod pseudo-autokolimacione metode, služe za označavanje cilja u optičkoj osi durbina instrumenta koji se ispituje. Izrađuju se ili kao

* Adresa autora: Gorana Novaković, dipl. inž., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26

pomične, pri čemu je moguće taj pomak izmjeriti, ili se pomoću jednog nosača mogu utisnuti ili pritegnuti na tubus objektiva durbina te točno centrirati. Vizurna marka može biti i ekscentrična u odnosu na optičku os objektiva. Potrebno je samo da se ona preslika na vizurnu liniju durbina. Kako se to postiže vidi 3.2. Ako se koriste nepomične vizurne marke, potrebno je da instrument koji se ispituje ima mikrometar sa planparalelnom pločom. Neke izvedbe ovakvih marki vidljive su iz slike 2.



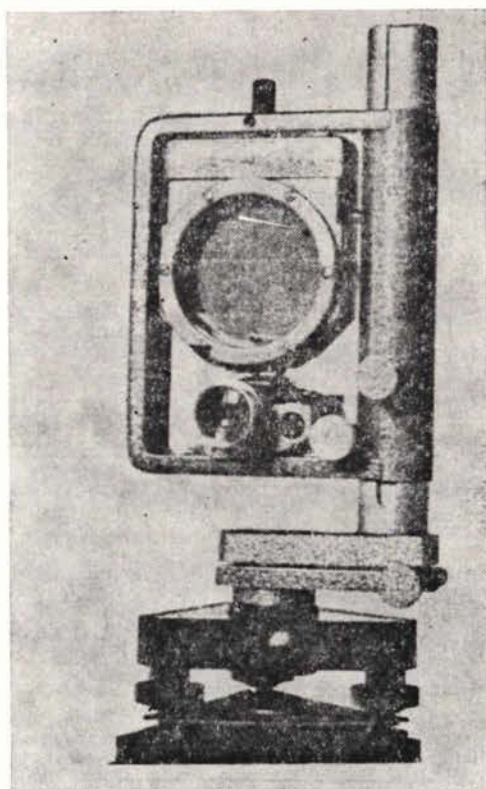
Sl. 2. Neke izvedbe vizurnih marki

Nosači vizurnih marki dadu se konstruirati za određeni tip instrumenta (prema slici 2a. za Zeiss — Ni 0030 ili prema slici 2b. za Zeiss — Ni 004), ili se mogu tako izvesti da su prilagodljivi za instrumente koji su najčešće u upotrebi. Prikazana izvedba na slici 2c. prilagodljiva je za promjere objektiva od 31,2 do 52,6 mm.

3. RAVNO ZRCALO — REFLEKTOR

Položaj slike nitnog križa ovisan je o položaju ravnog zrcala, pa će svaka promjena nagiba ravnog zrcala prouzrokovati promjenu položaja slike nitnog križa. Radi toga neophodno je da zrcalo bude strogo vertikalno. Tom zahtjevu najbolje odgovara okretno zrcalo na njihalu prema konstrukciji Seltmanna, sl. 3 i 4.

Nožište okretnog zrcala opremljeno je Zeissovom produžetkom 1 tako da se ono može, zajedno s Zeissovim podnožnim pločama postaviti na stativ ili stup. Za fini pomak okretnog zrcala služi vijak 3. Uzduž nosača 2 smješten je okvir 4, koji se pomoću zupčanika 5 može vertikalno pomicati unutar područja od 15 cm. Dozna libela 6 čvrsto je spojena sa okvirom 4, a pored nje nalazi se mali durbin koji služi za orijentaciju zrcala okomito na vizurnu os ispitivanog instrumenta. Unutar okvira ugrađeno je za 180° okretljivo kućište zrcala 8, koje se daje učvrstiti graničnicima 9. Stvarni funkcionalni element sastoji se iz jedne kao površinsko zrcalo izvedene plan ploče 10, koja obješena kao fizikalno njihalo može, između dvije neozrcaljene plan ploče 11 i 12, njihati unutar područja kompenzacije od cca $\mp 20'$, a daje se pomoću zračnog jastuka trenutno prigušiti. Njihalno zrcalo 10 tako je obješeno



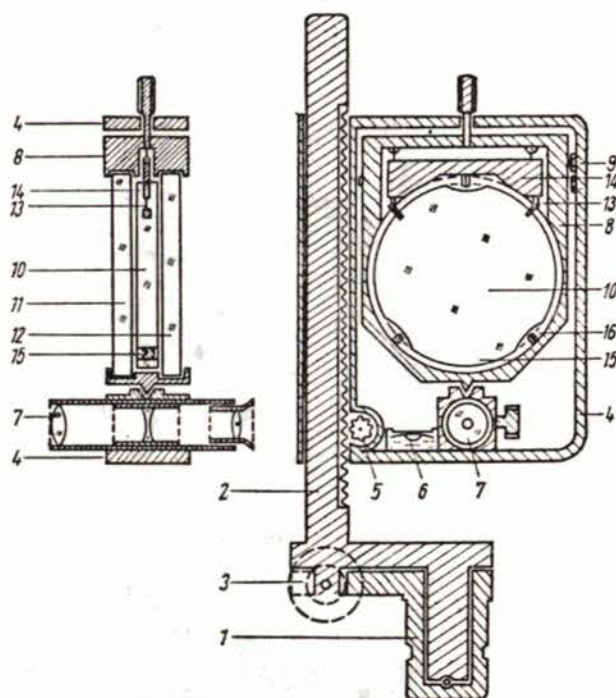
Sl. 3. Seltmannovo zrcalo

da je područje kretanja za fini ovjes 13 ograničeno, pomoću međunjihala 14, na izvjesni minimum ($<1'$). Vijak 15, koji je ugrađen u njihalo služi za njegovo točno postavljanje u vertikalu, a tri graničnika 16 štite ga protiv oštećenja koje bi moglo nastati zbog udara ili potresanja. Detaljnije o pogreškama i ostvarljivim točnostima mjerenja okretnim Seltmannovim zrcalom vidi [3].

3.1. Postavljanje i rukovanje okretnim zrcalom

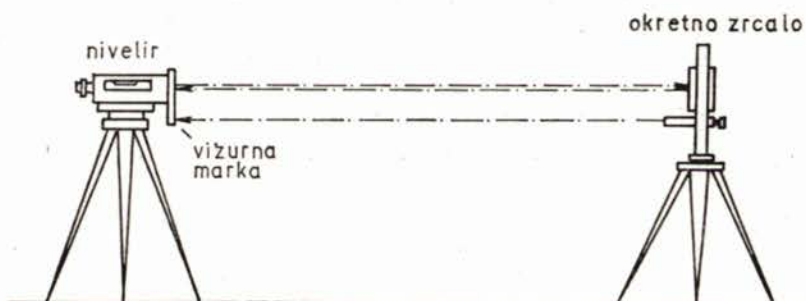
Postavljanje okretnog zrcala i instrumenta koji se ispituje (u ovom slučaju nivelira) vidljivo je iz slike 5.

Na tubus objektiva instrumenta pričvrsti se nosač vizurne marke, a na polovini udaljenosti za justiranje postavi se okretno zrcalo. Približno na sredinu plohe zrcala usmjeri se vizurna os nivelira, a mali durbin okretnog zrcala ka sredini ruba nosača vizurne marke. Kod postavljanja instrumenta i okretnog zrcala na stativu ili stupove potrebno je paziti da njihova visinska razlika ne prelazi područje vertikalnog pomaka okretnog zrcala (≈ 15 cm). U tom, za justiranje prvom položaju zrcala, uvizira se vizurna marka. Kod dobro justiranog zrcala (moguće na $\approx 1''$) vizurna os je sada dovoljno točno horizontalna za najveći dio potrebnih korekcija (odstupanje kod 40 m udaljenosti cilja iznosi oko 0,2 mm). Za preciznije horizontiranje vizurne osi, okreće se zrcalo za 180° u drugi položaj i eventualno odstupanje nitnog kri-



Sl.4. Shema Seltmannovog zrcala

ža od vizurne marke, koje može nastati zbog nevertikalnosti zrcala ili nepravilnog brušenja zrcalne plohe, se zakretanjem mikrometra instrumenta ili pomakom vizurne marke može izmjeriti i uzeti sredina očitavanja. Prema udaljenosti na kojoj se vrši justiranje, uzimaju se u obzir refrakcija i Zemljina zakrivljenost.



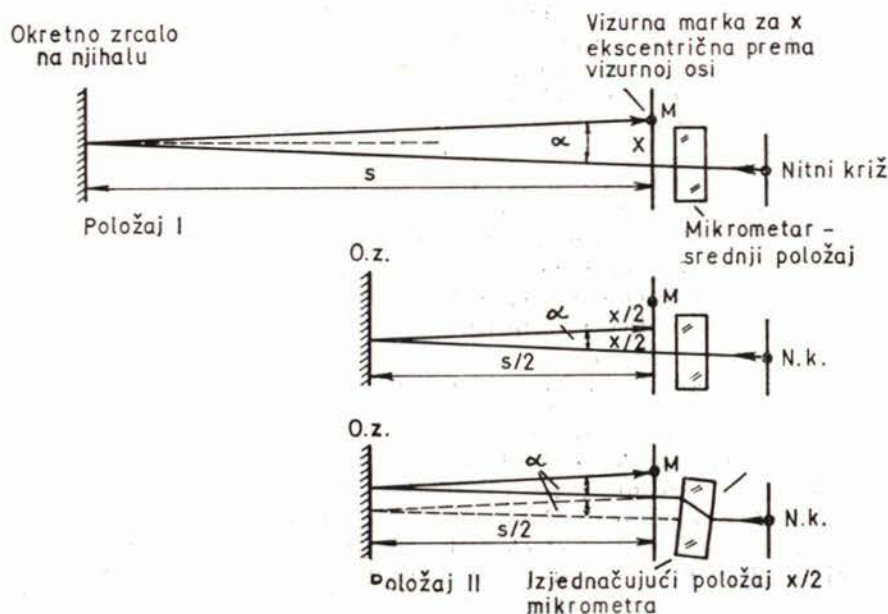
Sl. 5. Postavljanje instrumenta i okretnog zrcala

3.2. Funkcionalni preduvjeti

Kao što je već rečeno pseudo-autokolimacija nastaje kada se slika vizurne marke i nitni križ durbina poklope u ravnini slike objektiva. Da se to postig-

ne potrebno je vizurnu marku dovesti u vizurnu liniju durbina, i to pomakom marke (ako je pomična) ili mikrometrom instrumenta.

Na sl. 6 prikazan je postupak justiranja sa mikrometrom. Položaj mikrometra kod kojeg se centar vizurne marke nalazi na vizurnoj liniji, naziva se izjednačujući ili nul položaj, a ostaje za instrument koji se ispituje i njegovu vizurnu marku konstantan, sve dok vizurna marka i nitni križ ostaju u nepromjenjenom položaju. Analogan postupak vrši se i sa pokretnom vizurnom markom.



Sl. 6. Uspostavljanje izjednačujućeg položaja mikrometra

4. PRIMJERI PRIMJENE PSEUDO-AUTOKOLIMACIONE METODE

Zahvaljujući jednostavnosti i brzini rukovanja, te velikoj točnosti Seltmanovog zrcala, pseudo-autokolimaciona metoda ima vrlo korisnu primjenu pri ispitivanju i justazi geodetskih instrumenata. Neke od ovih primjena bit će u nastavku ukratko iznesene.

4.1. Ispitivanje utjecaja hoda negativnog člana objektivna na oblik geodetske vizurne linije

Oštrina slike, za različite udaljenosti predmeta postiže se uglavnom na dva načina: kod starijih instrumenata izvlačenjem okularne cijevi durbina (vanjsko izoštravanje), a kod novijih, koji imaju durbine sa teleobjektivom, pomicanjem negativnog člana objektivna (unutrašnje izoštravanje). U slučaju da se glavna točka negativnog člana objektivna pomiče duž pravca koji prolazi pre-

sjecištem niti nitnog križa, vizurna linija bila bi pravac. Ukoliko presjecište nitnog križa odstupa od tog pravca, dakle u općenitom slučaju, vizurna linija bit će grana hiperbole čija zakrivljenost ovisi o veličini tog odstupanja. Prilikom izoštravanja slučajno ili sistematsko odstupanje od idealnog vođenja po pravcu glavne točke negativnog člana objektiva uzrokuje pomak slike u ravnini nitnog križa, a time i nepravilnost oblika vizurne linije. Prema tome, poprečni pomak negativnog člana objektiva uzrokuje pogrešku pravca (smjera). Ovaj utjecaj naročito je izražen kod kratkih udaljenosti cilja do 10 m, dok je kod udaljenosti od 60—70 m već zanemarljiv. Primjenom pseudo-autokolimacione metode znatno se pojednostavnilo ispitivanje ovog utjecaja. Vidjet ćemo to na primjeru ispitivanja kod nivelira. Instrument sa vizurnom markom pričvršćenom na durbin, postavi se na stup ili stativ. Na određenim udaljenostima kod kojih se želi ispitati ovaj utjecaj, postavi se stativ sa okretnim zrcalom (razmak instrument — zrcalo je polovina udaljenosti cilja). Budući da zrcalo na svakom stajalištu poprma isti vertikalni položaj, a instrument osim samog izoštravanja ostaje nepromjenjen, trebao bi, kod bezpogrešnog vođenja pomične leće, položaj slike vizurne marke u ravnini nitnog križa ostati nepromjenjen u odnosu na nitni križ. U protivnom, uočena odstupanja rezultat su nepravilnog hoda pomične leće i zakrivljenosti geodetske vizurne linije. Mjerenjem ovog odstupanja na određenim udaljenostima cilja, moguće je ovaj utjecaj i grafički prikazati.

4.2. Ispitivanje i rektifikacija glavnog uvjeta kod nivelira sa libelama

Vizurnu marku pričvršćenu na tubus objektiva moguće je centrirati sa točnošću od $\mp 0,05$ mm. Ta točnost dovoljna je kod ispitivanja nivelira manje točnosti čija je srednja pogreška obostranog niveliranja po km ± 5 do ± 6 mm. Okretno ogledalo i instrument namjeste se kako je naprijed navedeno (vidi 3.1.). Navrhuni se nivelaciona libela a zatim se elevacionim vijkom, ako ga nivelir ima, pomiče durbin dok se ne poklope horizontalna nit nitnog križa i centar vizurne marke. Eventualni otklon libele ispravi se njenim korekcionim vijcima. Kod nivelira bez elevacionog vijka odstupanje nitnog križa od vizurne marke ukloni se pomakom nitnog križa. Ovdje nije potrebno okretati zrcalo u drugi položaj. Kako justiranje libele preciznih nivelira sa optičkim mikrometrom zahtijeva veliku točnost, prije ispitivanja glavnog uvjeta nivelira, potrebno je odrediti ekscentricitet vizurne marke (sl. 6). Kod izjednačujućeg položaja mikrometra očitavanje na njemu bit će a_0 . Uz zadržavanje tog položaja mikrometra, elevacionim vijkom nivelira postavi se horizontalna nit nitnog križa na sredinu vizurne marke. Zatim se zrcalo okrene za 180° u drugi položaj i izvrši viziranje pomoću mikrometra. Očitavanje na mikrometru bit će a_1 . U istom položaju zrcala postavi se na mikrometru očitavanje $(a_0 + a_1)/2$, a elevacionim vijkom horizontalna nit nitnog križa ponovno na sredinu vizurne marke. Okrene se sada zrcalo u prvi položaj i izvrši viziranje pomoću mikrometra. Očitavanje treba biti

$$a_0 + \frac{a_0 - a_1}{2}.$$

Libela se sada justira svojim korekcionim vijcima.

4.3. Ispitivanje instrumentalnih pogrešaka nivelira sa automatskim horizontiranjem vizurne osi

U Laboratoriju Geodetskog zavoda Geodetskog fakulteta u Zagrebu upravo se, u okviru teme »Razvoj instrumentalne i mjerne tehnike u geodeziji«, različitim metodama ispituju instrumentalne pogreške nivelira sa automatskim horizontiranjem vizurne osi. Jedna od tih metoda je i pseudo-autokolimaciona. Kao Seltmannovo okretno zrcalo primjenjuje se kompenzator nivelira Zeiss-Jena Ni 002. Pričvršćen je na jedno kućište na kojem se nalazi cijevna libela, tako da dovođenjem vertikalne osi zrcala u vertikalni položaj ovo može slobodno visiti unutar svog područja kompenzacije od $\pm 10'$. Kućište je pričvršćeno na podnožnu ploču tako da se može postaviti na stativ. Vršne li se ispitivanja u laboratoriju gdje su mjerenja preciznija, potrebno je njihalo postaviti na stabilniju podlogu (na pr. betonski stup). U Laboratoriju Geodetskog fakulteta konstruiran je jedan vrlo stabilan uređaj za ispitivanje mjernog durbina- optička klupa sa kliznom stazom uzduž koje se pomiče postolje na koje se mogu postaviti razni uređaji za ispitivanje, među kojima i zrcalo-kompenzator na njihalu. U ovisnosti o mjernoj udaljenosti od instrumenta do vizurne marke, izračuna se očitavanje na linealu klizne staze na koje se zatim postavlja zrcalo. Postavljanjem zrcala na optičku klupu izbjegnuta je nestabilnost stativa a i njegovo postavljanje na određenu udaljenost je brže i točnije.

U nedostatku mogućnosti vertikalnog pomaka zrcala moraju se kod ispitivanja, instrument i zrcalo postaviti približno na istu visinu.

Vizurne marke su pomične, a za očitavanje pomaka služi mjerna ura. Izrađene su u obliku koncentričnih kružnica, a pribor posebno izvedenih prstenova služi za njihovu adaptaciju na različite promjere cijevi objektiva durbina.

Osim ispitivanja utjecaja hoda negativnog člana objektiva na oblik geodetske vizurne linije na način kako je naprijed navedeno, u Laboratoriju se ispituju i slijedeće instrumentalne pogreške:

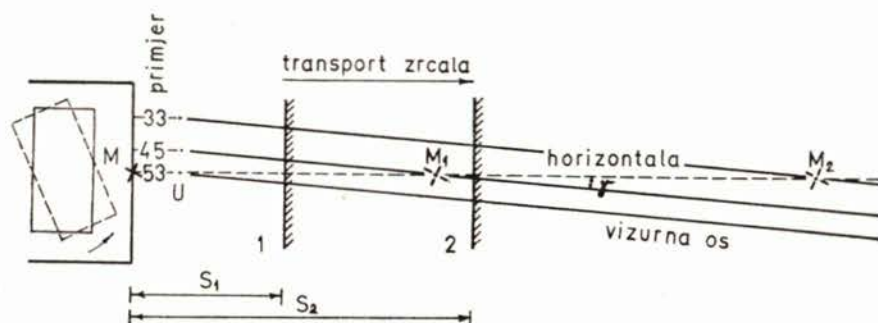
— pogreška stabilizacije kompenzatora — kompenzator se nakon otklona ne vraća u početni položaj.

Ova pogreška određuje se iz dovoljnog broja opažanja na vizurnu marku. Čitanja se vrše kod mirnog i uspoređuju sa očitanjima kod otklonjenog kompenzatora. Otklon se postiže ili udarom prsta po instrumentu prije svakog očitavanja ili se nivelir naginje i vraća u prvobitni položaj egzaminatorom.

— pogreška vizurne osi — kut geodetske vizurne osi prema horizontali kada je vertikalna os u prostoru vertikalna. Duljine vizura realiziraju se različitim udaljenostima zrcala i instrumenta. U tu svrhu postoji mogućnost »transporta« zrcala ili instrumenta (sl. 7).

Pogreška vizurne osi dobije se pomoću razlika očitavanja mikrometara. Ako su o_1 i o_2 očitavanja na mikrometru kod udaljenosti zrcala s_1 i s_2 , tada je pogreška vizurne osi jednaka:

$$\gamma'' = \frac{1}{2} \frac{o_2 - o_1}{s_2 - s_1} \cdot \rho''.$$



Sl. 7. Određivanje pogreške vizurne osi

— pogreška kompenzacije — promjena pogreške vizurne osi uslijed promjene nagiba instrumenta.

Kod ispitivanja ove pogreške naginje se nivelir (npr. egzaminatorom ili podnožnim vijkom) za određeni iznos, uvizira marka i izvrši očitavanje na mjernejoj uri (ako je vizurna marka pomična) ili na mikrometru instrumenta. Razlika dovoljnog broja ovih očitavanja i očitavanja izvršenih u slučaju kada je vertikalna os nivelira vertikalna, dat će pogrešku kompenzacije. Ispitivanja se vrše zasebno kod »uzdužnog« i »poprečnog« nagiba instrumenta.

Naginjanje se vrši do granice područja kompenzacije kompenzatora ispitivanog nivelira.

5. ZAKLJUČAK

Pseudo-autokolimaciona metoda se, radi svoje jednostavnosti, brzine i visoke točnosti, pokazala vrlo pogodnom za ispitivanje i justažu geodetskih instrumenata.

Za razliku od autokolimacione metode, za čiju primjenu je potreban poseban uređaj za osvjetljenje nitnog križa, ovom metodom se, radi jednostavnog postavljanja Seltmannovog zrcala na stativ i bez potrebe za osvjetljenjem nitnog križa, mogu ispitivanja vrlo uspješno izvoditi kako u laboratoriju tako i na terenu.

Zbog svoje visoke točnosti, ovom metodom se, osim ispitivanja i uklanjanja nastalih pogrešaka instrumenta mogu ispitati i one pogreške koje preostaju zbog same konstrukcije i izvedbe instrumenta, pa se kao popravke mogu uzeti kod rezultata vrlo preciznih radova.

LITERATURA

- [1] Benčić, D.: Geodetski instrumenti II dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1973.
 [2] Gresch, E.: Instrumentenbedingte Fehler beim arbeiten mit Kompensatornivelieren, Nationalkomitee für Geodäsie und Geophysik der Deutschen Demokratischen Republik bei der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, III/15, Dissertation, Berlin 1969.

- [3] Seltmann, G.: Wendespiegel mit automatischer Feineinstellung in die Vertikale zur Justierung geodätischer Instrumente durch Autokollimation, Vermessungstechnik, TU Dresden, März 1965, Heft 10, 385-388.
- [4] Werner, H.: Anwendung des Wendespiegels nach Seltmann bei Instrumentenuntersuchungen, Vermessungstechnik, TU Dresden, Juli 1965, Heft 6, 205-208.

SAŽETAK

U ovom radu prikazana je primjena pseudo-autokolimacione metode kod ispitivanja i justaže geodetskih instrumenata. Uz opis i rukovanje pomoćnim uređajima, navedeno je i nekoliko primjera primjene ove metode.

ABSTRACT

In this paper it is presented the use of the pseudo-autocollimation method in the examination and adjustment of the geodetic instruments. In addition to the description and handling of the necessary devices there is given some examples of application of this method.