

PRVI KOMPARATOR ZA KOMPARIRANJE KODIRANIH NIVELMANSKIH LAT V SLOVENIJI

dr. Florjan Vodopivec*, dr. Dušan Kogoj*,

Izvleček

Razdelbo kodiranih nivelmanskih lat digitalnih nivelirjev definirajo temna in svetla polja različnih dimenzij. Položaj teh polj ne sovпада z decimetrskim rastrom mest čitanja na Zeissovem dolžinskem komparatorju. Sodobni dolžinski etaloni in digitalna tehnologija nam omogočajo čitanje poljubne razdelbe in avtomatsko izvednotenje merskih vrednosti. Stari dobri komparator smo posodobili. Natančnost in hitrost kompariranja vseh vrst nivelmanskih lat s posodobljenim komparatorjem je primerljiva z interferenčnimi komparatorji.

KLJUČNE BESEDE:
*komparator, kodirane
nivelmanske late,
kalibriranje lat, obdelava
digitalnih slik*

Zusammenfassung

Die Teilung von kodierte Nivellierlatten der Digitalnivelliergeräte wird durch Dunkel- und Hellfelder verschiedener Ausmaßen definiert. Die Position dieser Felder stimmt nicht überein mit dem Dezimeterraster der Ablesestellen an der Zeiss-Längenmeßmaschine. Die gegenwärtigen Längenetalone und Digitaltechnologie ermöglichen uns die Ablesung von beliebigen Teilungen und eine automatische Auswertung von Meßwerten durchzuführen. Der gute alte Komparator wurde auf den neuesten Stand gebracht. Die Vergleichspräzision und -geschwindigkeit allerlei Nivellierlatten mit einem modern gestalteten Komparator läßt sich mit den Interferenzkomparatoren vergleichen.

SCHLÜSSELWORTE:
*Komparator, kodierte
Nivellierlatten,
Kalibrierung, digitale
Bilder Bearbeitung*

11

1. UVOD

Predvsem naloge inženirske geodezije pri gradnji objektov ter natančne raziskave na področju premikov tal in objektov bodo, kljub uveljavljanju novih metod višinomerstva, še dolgo zahtevale uporabo preciznega geometričnega nivelmana kot ene najnatančnejših geodetskih merskih metod. Če želimo doseči zanesljive rezultate, si preciznega nivelmana ne moremo zamisliti tudi brez kompariranih preciznih invar nivelmanskih lat. Primernost novih digitalnih nivelirjev za precizni nivelman zahteva uporabo kodiranih nivelmanskih lat. Specifična oblika razdelbe late - tako imenovana kodirana razdelba pa določa predelavo klasičnih dolžinskih komparatorjev.

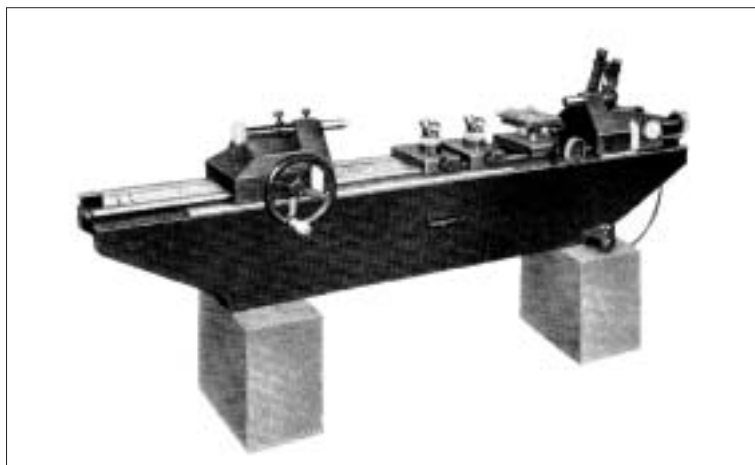
* FGG - Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Zeissov dolžinski komparator (Längemessmaschine) je vrsto let služil za kompariranje invar lat s klasično črtno razdelbo.

2. PREDELAVA DOLŽINSKEGA KOMPARATORJA CARL ZEISS

Zeissov dolžinski komparator je v osnovi masiven optično mehanski instrument, namenjen merjenju končnih mer največje dolžine tri metre (slika 1). V svetu obstajajo le štirje taki instrumenti. Eden od njih je na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

Slika 1: Zeissov dolžinski komparator



Instrument je bil prirejen za merjenje dimenzij razdelb klasičnih invar nivelmanskih lat ter tudi merskih trakov. Meritev, ki je potekala ročno, je bila dolgotrajna in zahtevna. Merjen je bil položaj črtice vsakega decimetra. Natančnost meritev je bila zelo odvisna od izkušenosti opazovalca in števila ponovitev. Dnevno sta dva operaterja lahko komparirala en par nivelmanskih lat. Uvedba kodirane razdelbe je zahtevala nujno posodobitev naprave (Kogoj, D., Vodopivec, F., 1988).

Katedra za geodezijo FGG je k sodelovanju povabila podjetje RLS Merilna tehnika, d. o. o., kjer se med drugim ukvarjajo tudi z izdelavo in predelavo namenskih merilnih naprav. Izdelane merilne naprave so namenjene merjenju dolžin oziroma raznih oblik predmetov v dveh ravninah.

Zeissov dolžinski komparator je dobil novo obliko, predvsem pa vsebino. Pri merjenju dolžin v območju treh metrov je ključnega pomena kakovost in obdelava podstavka oziroma površin vodilnega dela v sklopu podstavka. Obdelane vodilne površine morajo ustrezati ostrim tolerančnim zahtevam glede horizontalnosti, premočrtnosti in vzporednosti. Le tako jih lahko

uporabimo za zasnovano načelo merjenja. Ograde starega Zeissovega komparatorja se je izkazalo za primerno podlago. Prenovljenemu komparatorju je osnova zelo natančno mehansko obdelan in precizno horizontiran podstavek, ki je bil originalno nosilec optičnih in mehanskih delov za optični način merjenja. Na podstavek je vgrajen novi dolžinski etalon (merilni trak) ter nameščen na novo izdelani merilni voziček (Kogej, P., Janežič, R., 2000).

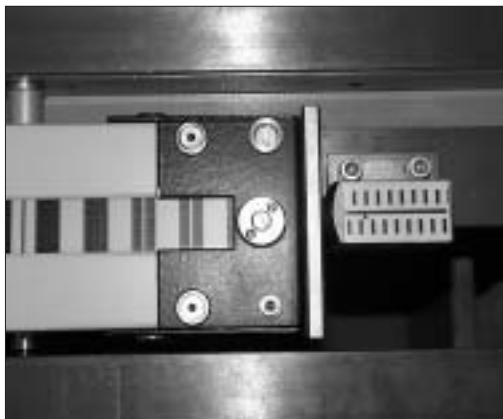


Slika 2: Merilni voziček na podstavku komparatorja in vpeta nivelmanska lata

Osnova merilnega vozička je aluminijasta plošča s krogličnimi ležaji, s katerimi se voziček kotali po podstavku. Slika 2 prikazuje razpored elementov na nosilni plošči vozička. Optični del merilnega sistema obsega standardno črno-belo CCD-kamero, telecentrični objektiv in optično prizmo, ki omogoča, da je optična os telecentričnega objektiva vzporedna z osjo gibanja vozička, in s tem nižjo konstrukcijo merilnega vozička. Poleg optičnega dela sta na zgornji strani plošče nameščena pogonski sklop in veriga za kable. Na spodnji strani je privit še nosilec čitalne glave ter dvodelno svetilo iz več svetlečih diod, ki enakomerno osvetljuje merjenec. Komparator je opremljen s samolepilnim merilnim trakom, ki predstavlja novi dolžinski etalon in čitalno glavo za merjenje premikov vozička z ločljivostjo 1 mm. Oba sta izdelek znanega britanskega proizvajalca tovrstnih etalonov Renishaw. Merilni trak je nalepljen neposredno na podstavek merilne naprave (Kogej, P., Janežič, R., 2000).

Za namestitev nivelmanskih lat je podstavek opremljen z nosilnimi konzolami, distančniki bočne lege, pritrdilnimi sponami in naslonom za kovinske pete lat. Na ta naslon je pritrjen krajši del invar merilnega traku z znano razdaljo med naslonsko površino in črtno razdelbo na traku. Taka zasnova naslona omogoča ponovljivo merjenje razdalj od istega izhodišča. Zaključki nivelmanskih lat (kovinske pete lat) se namreč razlikujejo med seboj in največkrat zaradi svoje oblike niso primerni za neposredno odčitavanje s CCD-kamero. Na sliki 3 sta prikazana naslon s črtno razdelbo in lega nivelmanske late med meritvijo.

Slika 3: Naslon za peto late s črtno razdelbo in vpeta nivelmanska lata



V osebнем računalniku, ki je sestavni del merilne naprave in s katerim krmilimo napravo, kontroliramo in ovrednotimo meritve, sta nameščeni dodatna strojna in programska oprema, in sicer:

- vhodno/izhodni vmesnik za krmiljenje motorja merilnega vozička (vklop in izklop, izbira smeri gibanja), nadzor končnih stikal in stikal za izklop v sili,
- vmesnik za zajem položaja merilnega vozička,
- vmesnik za zajem videosignala,
- programska oprema za obdelavo zajetih podatkov in ovrednotenje iskanih vrednosti.

3. POTEK MERITVE

Med potovanjem nad merjencem (razdelbo nivelmanske late) se merilni voziček vsakih 9 mm (kar je nekaj manj, kot je višina vidnega polja kamere) ustavi, umiri in kamera posname delni posnetek. Lego kamere ob posnetku določi trenutni položaj čitalne glave glede na merilni trak - etalon. Med dvema delnima posnetkoma potuje voziček s hitrostjo približno 1 cm/s.

Programska oprema obdela delne posnetke, iz njihovega zaporedja ob znanih legah sestavi celotni posnetek merjenja, omogoča shranjevanje celotnega posnetka, njegovo prikazovanje in kasnejšo analizo. Celotno snemanje razdelbe trimetrške nivelmanske late traja približno 10 minut.

3.1 Obdelava delnega posnetka



Slika 4: Delni posnetek

Na delnem posnetku na sliki 4 vidimo temno ovalno črtico, dolgo 6,3 mm in široko 1,3 mm, na svetli podlagi. Vidno območje kamere, približno 12 x 9 mm, je preslikano na 750 x 570 slikovnih elementov - pikslov. Program najprej določi vrednosti primerjalnega praga za celoten delni posnetek. Primerjalni prag je tista vrednost svetlosti, ki je aritmetična sredina med svetlostjo najpogostejših svetlih in temnih pikslov na nekem območju delnega posnetka. Vrednost praga se znotraj delnega posnetka praviloma spreminja, zato pri izračunu praga na nekem območju upoštevamo le okolico približno 90 x 70 pikslov. S tem postopkom zmanjšamo vpliv neenakomerne osvetlitve merjenja na natančnost izračuna obrisa črtice (Kogej, P., Janežič, R., 2000). Sledi izračun obrisa črtice razdelbe late - to so koordinate pikslov, kjer se svetlost piksla izenači z vrednostjo primerjalnega praga. Uporabljena je linearna interpolacija.

15

Ob natančno znani povečavi preslikave in upoštevanju lege kamere ob delnem posnetku se v naslednjem koraku pretvori obris, izražen v koordinatnem sistemu pikslov, v obris v koordinatnem sistemu merilne naprave. Uporabljeni telecentrični objektiv je dovolj kakovosten, da ni treba upoštevati tudi napak zaradi nelinearnosti povečave.

3.2 Obdelava celotnega posnetka

Shranjeni posnetek vsebuje podatke o obrisih črtic razdelbe na vsej dolžini late. Program omogoča njihov prikaz na ekranu v poljubni povečavi in nudi orodja za mersko vrednotenje obrisov. Ovrednotenje poteka v splošnem tako, da najprej z izbirnimi okni ujamemo tisti del obrisa, ki ga želimo meriti.

Iz točk znotraj izbirnih oken izračuna program regresijske premice ali krožnice, ki se točkam najboljše prilegajo. Nato določimo zveze ali merilne relacije med temi premicami ali krožnicami. Primeri merilnih relacij so: razdalja med premicama, kot med premicama, simetrala, krivinski radij ...

*Slika 5: Primer
ovrednotenja dela
celotnega posnetka*



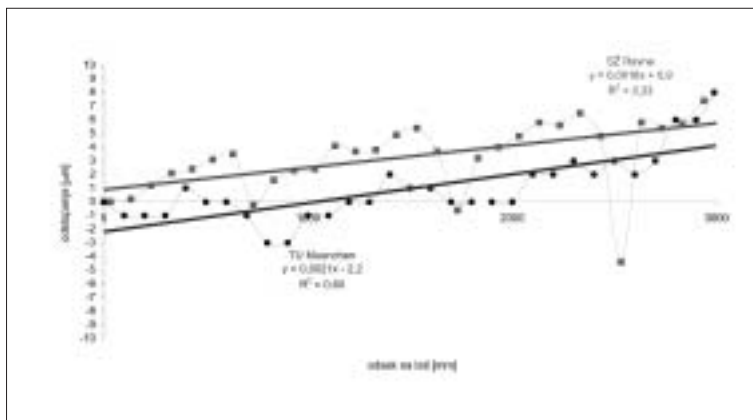
Slika 5 prikazuje primer določitve razdalje med središčinama dveh črtic razdelbe late. Vidna so tudi izbirna okna, uporabljena pri izračunu sredine označbe. Če je razdelba late poškodovana in se na njej tudi iz drugih razlogov pojavljajo temnejše lise (odkruški, praske, prah ipd.), nudi program možnost odpravljanja teh šumov. Program v tem primeru izračuna regresijsko premico iz točk v izbirnem oknu v dveh korakih. V prvem koraku so v izračunu upoštevane vse točke v oknu. Sledi izračun odstopanja vsake točke od premice in če je odstopanje večje od kritične vrednosti, je takšna točka iz izračuna premice v drugem koraku izvzeta. S takim načinom izračuna premice je meritev manj občutljiva na slučajne in grobe napake razdelbe (Kogej, P., Janežič, R., 2000).

Program nudi možnost, da izbirna okna in merilne relacije pripravimo vnaprej. Isti tako imenovani merilni predpis lahko uporabimo na vseh razdelbah kodiranih lat, ki pripadajo nivelirjem istega proizvajalca. Vemo namreč, da različni proizvajalci nivelirjev uporabljajo različne velikosti osnovne dimenzije širine polja kodirane razdelbe nivelmanskih lat. Merilni predpis na enostaven način tudi spreminjamo in prilagodimo novim vrstam merjencev oz. novim oblikam razdelb lat. Rezultati meritev po merilnem predpisu so kopirani na odložišče, v obliki, primerni za nadaljnjo analizo.

4. KALIBRIRANJE IN CERTIFICIRANJE KOMPARATORJA

Po zaključeni montaži in preskusu delovanja komparatorja smo v sodelovanju s pooblaščenim kalibracijskim laboratorijem, SZ Stroji in tehnološka oprema, d. o. o., Kalibracijski laboratorij Ravne na Koroškem,

Slika 7: Odstopanja dimenzij komparatorja od "pravih" vrednosti (interferometer)



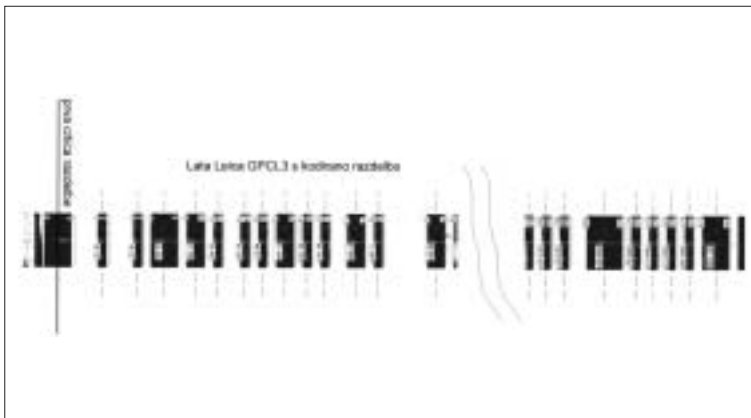
Iz slike je razvidno, da se pojavljajo določene razlike v odstopanjih na različni oddaljenosti od izhodišča. Ta razlika je verjetno posledica slučajnih vplivov na interferenčne meritve in meritve komparatorja. Obe kontroli pa definirata praktično isti linearni trend. Regresijska koeficienta se razlikujeta le za 0,0005, kar pomeni 0,5 mm na dolžini 1 m. To pa je že zanesljivo v intervalu natančnosti interferenčnih meritev. Komparator zagotavlja zahtevano ponovljivost meritev. Popravek metra komparatorja, določen na osnovi obeh kontrol, je + 2 ppm.

5. NADALJNJA OBDELAVA PODATKOV MERITEV NIVELMANSKIH LAT

Program za zajem in obdelavo slike omogoča zajetje celotne razdelbe nivelmanske late dolžine največ 3 m, vključno s sistemom za določitev popravka prve črtice razdelbe late, to je popravek pete late. Način določitve merila razdelbe late in popravek pete late zahteva izdelavo dveh različnih merilnih predpisov. Vsaka konstanta late se torej določa ločeno iz istega celotnega posnetka late.

5.1 Določitev popravka razdelbe late

Pri izračunu popravka razdelbe late se upošteva položaj vseh črtic razdelbe. Število črtic je odvisno od dolžine late in oblike razdelbe. To pomeni za nivelmanske late dolžine 3 m pri klasični lati z 0,5-centimetrsko razdelbo 597 meritev, 339 meritev pri kodirani lati Leica GPCL3 in 265 meritev pri kodirani lati Zeiss LD3. Lega posamezne črtice je na osnovi merilnega predpisa določena z oddaljenostjo simetrale temnega polja, ki definira to črtico, od simetrale začetne črtice razdelbe (slika 8). Oddaljenost je določena v milimetrih, natančnost prikaza je 1 mm. Z ovrednotenjem merilnega predpisa se merski podatki čez odložišče prenesejo v program za nadaljnjo obdelavo.

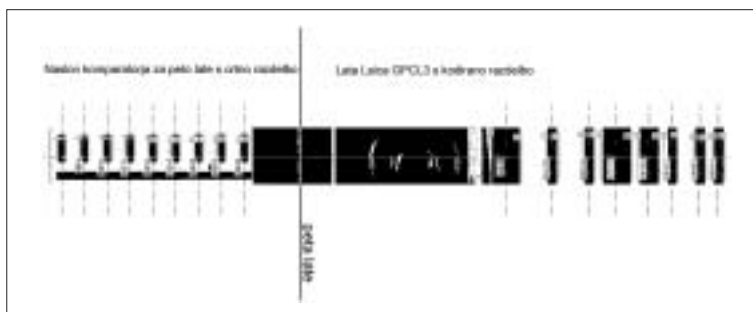


Slika 8: Ovrednotenje merilnega predpisa razdelbe late

Laboratorij, v katerem je komparator, je klimatiziran. Zagotovljena je stalna referenčna temperatura 20°C. Dodatno se s preciznimi termometri meri temperatura komparatorja in nivelmanske late. Na osnovi razlike med dejansko in referenčno temperaturo se za merske vrednosti izračuna temperaturni popravek. Upoštevan je tudi popravek metra komparatorja. Reducirane merske vrednosti se nato primerjajo z nominalnimi vrednostmi razdelbe late. Rezultat so odstopanja, na osnovi katerih se izračunata elementa regresijske premice po metodi najmanjših kvadratov. Regresijski koeficient predstavlja popravek razdelbe late. Na osnovi popravkov meritev in kovariančne matrike neznank se oceni natančnost merjenih in iskane vrednosti (slika 10).

5.2 Določitev popravka pete late

Popravek pete late je druga konstanta late. Pove nam, za koliko je položaj prve črtice razdelbe napačen glede na oddaljenost od kovinske plošče, ki predstavlja ničlo razdelbe late. Izhodišče meritev je definirano s klasično črtno razdelbo devetih črtic invar traku, prilepljenega na naslonu za lato. Iz celotnega posnetka late se z merilnim predpisom definira začetnih osem črtic razdelbe (slika 9).



Slika 9: Ovrednotenje merilnega predpisa pete late



Poleg zagotavljanja ponovljivosti ima komparator MSG001, kot smo ga poimenovali, nekaj originalnih rešitev. To so relativno majhne dimenzije, premikanje sistema za čitanje vzdolž fiksno vpete nivelmanske late ter specifična programska obdelava merskih posnetkov. Največja posebnost pa je verjetno ta, da komparator kot dolžinski etalon namesto običajnega interferometra uporablja analogni merski letev visoke ločljivosti.

7. Literatura

Kogej, P., Janežič R., Navodila za uporabo merilne naprave MSG0, RLS Merilna tehnika, Ljubljana, 2000

Kogej, D., Vodopivec, F., Določitev elementov Zeissovega komparatorja. Zbornik radova JUKEM 1988. Mjeriteljsko društvo Hrvatske, JUKEM, Split, 1988

Maurer, W., Calibration of Invar Levelling Rods and Digital Levelling Systems. Strokovno predavanje na FGG, Ljubljana, 2000

Maurer, W., Kalibrierung von Nivellierlatten, Ingeniervermessung 2000, München, 2000

Maurer, W., Schnädelbach, K., Bestimmung der Systemgenauigkeit der digitalen Nivelliere NA2000 / NA3000. Interna objava katedre za geodezijo. TU München, 1996

Maurer, W., Schnädelbach, K., Kalibrierung der optischen Bank. TU Ljubljana, TU München, November, 2000

Vodopivec, F., Kogej, D., Einer neuer Komparator für die Kalibrierung von Nivellierlatten auf der Basis eines optischen Encodersystems. AVN 8-9/2001, Wichmann Verlag, Heidelberg 2001, str. 296-302

SŽ Stroji in tehnološka oprema, d. o. o. Kalibracijski laboratorij Ravne na Koroškem, Certifikat o kalibraciji A 359/00, Ravne na Koroškem, september, 2000

Prispelo v objavo: 2001-06-16

Recenzija: Aleš Breznikar, Gregor Bilban