

55 godina razvoja Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Prof. dr. sc. **Mladen Zrinjski**, član suradnik HATZ-a,
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, mzrinjski@geof.hr

Prof. dr. sc. **Đuro Barković**,
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, barkovic@geof.hr

Kristina Matika, mag. ing. geod. et geoinf.
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, kmatika@geof.hr

***Sažetak:** U radu je opisan razvoj Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu tijekom 55 godina, tj. od osnutka 1964. do danas. Poseban je osvrt dan na razvoj elektroničkog dijela Laboratorija. Detaljno je prikazano deset postupaka automatizacije geodetskih metoda mjerenja:*

- *automatizacija registriranja horizontalnih kutova pri mjerenju girusnom metodom pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i programabilnog kalkulatora HP41CX*
- *automatsko računanje vrijednosti čestica u komasacijama*
- *automatsko mjerenje duljina u bacačkim disciplinama na Univerzijadi u Zagrebu*
- *poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću ručnoga laserskog daljinomjera Leica DISTO*
- *automatizirano određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima*
- *automatizirano određivanje smjernog kuta astronomskim metodama pri neovisnoj kontroli i povećanju točnosti geodetskih mreža iznad dugih tunela*
- *automatizirano određivanje deformacija vanjskih fiksatora u medicini*
- *automatizirano određivanje paralelnosti valjaka pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i računala notebook*
- *automatizacija komparatora za nivelmanske letve pomoću inkrementalne mjerne letve*
- *automatizacija mjerenja duljina kalibracijske baze preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TCA2003 i neovisna kontrola GPS-om.*

***Ključne riječi:** elektronički geodetski instrumenti, umjeravanje, automatizacija mjerenja, Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku.*

1. Uvod

Razvoj mjernog laboratorija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu započeo je 1955. godine dolaskom profesora Dušana Benčića za asistenta iz nastavnog kolegija Niža geodezija u svrhu osuvremenjivanja nastave iz tog područja uz upoznavanje jednostavnih i brzih metoda rektifikacije instrumenata.

Mjerni laboratorij službeno je otvoren 1964. godine, uz prigodnu demonstraciju, kao posebna ustrojbeno jedinica tadašnjega Geodetskog zavoda Geodetskog fakulteta, pod nazivom Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku. Tada je Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, zahvaljujući razvoju mjernog laboratorija i nizu originalnih konstrukcija, bio među prvima u Europi u praktičnoj nastavi optike i geodetskih mjernih instrumenata. U tom smislu profesor Benčić dobio je i pismena priznanja od vrhunskih stručnjaka u tom području, i to od prof. dr. H. Zetschea sa Sveučilišta u Bonnu te od prof. dr. F. Deumlichsa sa Sveučilišta u Dresdenu.

Na prijedlog profesora Benčića, 1972. godine, umjesto predmeta Elektrotehnika uveden je predmet Fizikalne osnove geodetskih elektroničkih instrumenata. Za nastavnika je izabran geodetski stručnjak sa završenim studijem Fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Nikola Solarčić. Na taj je način započeo razvoj elektroničkog dijela Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku.

2. Razvoj optičkog dijela Laboratorija

U prvoj fazi razvoja optičkog dijela Laboratorija prišlo se izradi kolimatora kao osnovnih optičkih uređaja nužnih za djelatnost Laboratorija. Zahvaljujući intenzivnoj suradnji profesora Benčića s Tehničkom školom "Ruđer Bošković", čiji je on bio osnivač, i suradnji s optičkom industrijom "Ghetaldus", dobiveni su mehanički i optički dijelovi potrebni za konstrukciju kolimatora [1].

U drugoj fazi slijedilo je temeljenje i izvedba betonskih stupova, montaža i kontrola nosača te završno postavljanje uređaja. Tako su, uz skromna sredstva, izgrađeni i postavljeni sljedeći uređaji:

- sustav od dva kolimatora u pravcu za ispitivanje i rektifikaciju kolimacijske pogreške
- sustav kolimatora za ispitivanje limbova s reostatom za regulaciju osvjetljenja
- sustav vizurnih mjernih marki za mjerenja kutova
- precizni kolimator Wild s jahaćom libelom za ispitivanje i rektifikaciju nivelira i pogreške indeksa vertikalnog kruga teodolita

- sustav kolimatora za mjerenja kutova
- uređaj s vizurnom markom i skalom za ispitivanje pogreške nagiba horizontalne osi teodolita
- uređaj za ispitivanje optičkog viska
- komparator s mikroskopima za ispitivanje bazisne dvometarske letve
- komparator za ispitivanje mjernih vrpca
- komparator za ispitivanje nivelmanske letve na zidu.

Također, za nastavu su na Geodetskom fakultetu izrađene, prema konstrukcijama profesora Benčića u optičkoj školi, dvije optičke klupe za demonstraciju funkcije leća, posebno durbina i mikroskopa, kao i demonstracijska optička ploča za nastavu iz optike.

3. Razvoj elektroničkog dijela Laboratorija

Kao voditelj znanstvenog zadatka profesor Benčić poticao je od 1972. godine izgradnju kalibracijske baze za ispitivanje i umjeravanje optičkih i elektrooptičkih daljinomjera. Kalibracijsku bazu je, u blizini Donje Lomnice, projektirao te vodio njezinu izgradnju profesor Nikola Solarić 1982. godine. Na taj je način omogućeno u Hrvatskoj postizanje jedinstvenog mjerila pri mjerenju velikih duljina, što je od interesa za znanost i gospodarstvo. Objavljeno je niz radova o kalibracijskoj bazi



Sl. 1. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

[2], [3], [4]. Osim toga, profesor Benčić poticao je svoje suradnike da se u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta razviju uređaji za ispitivanje i umjeravanje optičkih geodetskih instrumenata te dio za ispitivanje i umjeravanje elektroničkih geodetskih instrumenata. U Laboratoriju su pod mentorstvom profesora Benčića doktorske disertacije izradili Krsto Šimičić i Gorana Novaković.

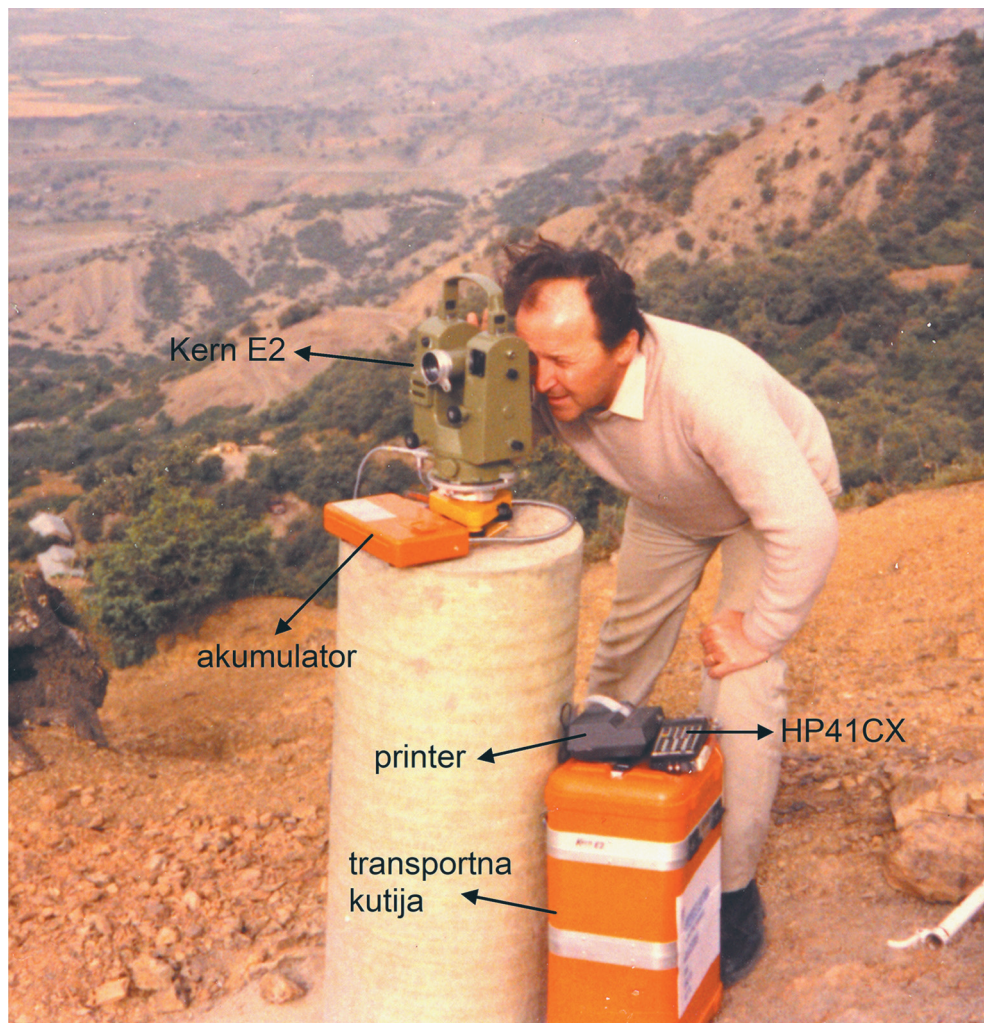
Na slici 1 prikazana je kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Stupovi baze izgrađeni su 1982., a obnovljeni 2007. godine zaslugom profesora Đure Barkovića.

Tijekom razvoja elektroničkog dijela Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku od 1972. godine, prof. dr. sc. Nikola Solarić razvio je sa suradnicima 25 automatiziranih metoda mjerenja u primijenjenoj geodeziji. U Laboratoriju su pod mentorstvom profesora Solarića doktorske disertacije izradili Đuro Barković, Drago Špoljarić i Mladen Zrinjski.

3.1 Automatizacija registriranja horizontalnih kutova pri mjerenju girusnom metodom pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i programabilnog kalkulatora HP41CX

Tvrtka Kern nije imala 1980-ih godina program za girusnu metodu mjerenja pravaca, pa je u Laboratoriju razvijen program pomoću kojeg se postiže automatska registracija mjerenja girusnom metodom. Napravljen je program za HP41CX koji informacijama na ekranu vodi opažača što treba raditi, kontrolira je li teodolit u pravilnom položaju, kontrolira je li razlika između prvog i drugog položaja teodolita u dopuštenim granicama, omogućava ponavljanje mjerenja na točkama na kojima je ta razlika izvan dopuštenog odstupanja, računa reducirane sredine te sredine (više) potpunih girusa.

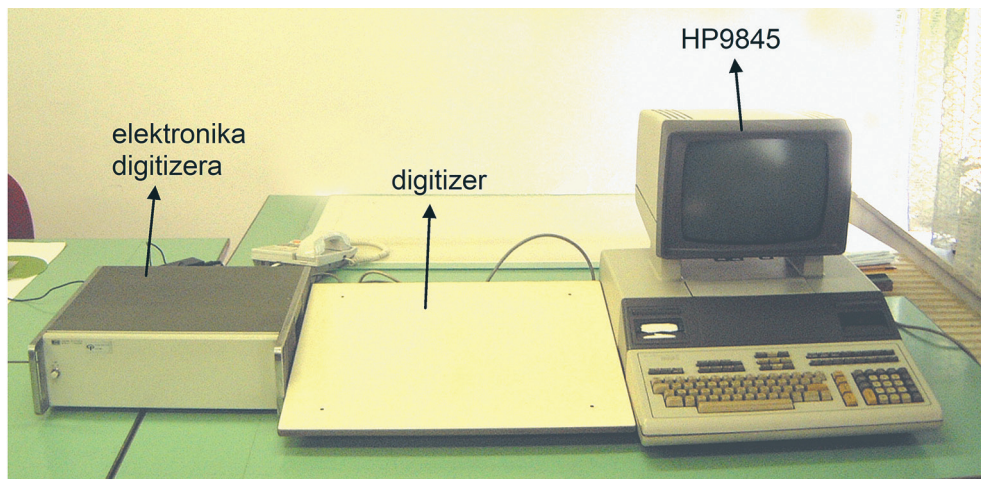
Mjerenja i rezultati mogu se ispisati na malom printeru ili pohraniti na kazetu. Opisanim programom može se opažati u više girusa, a ukupni broj pravaca u svim girusima može biti najviše 150, dok se pomoću uređaja Wild GRE3 u to doba moglo opažati ukupno najviše 50 pravaca. Automatizirana registracija horizontalnih kutova pri mjerenju girusnom metodom pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i programabilnog kalkulatora HP41CX primijenjena je u geodetskoj mreži iznad tunela Chiffa u Alžiru 1988. godine (slika 2), kada se pokazala osobito praktičnom. O toj automatizaciji objavljen je članak u Njemačkoj [5] te u domaćoj publikaciji [6].



Sl. 2. Automatizirana registracija horizontalnih kutova pri mjerenju girusnom metodom iznad tunela Chiffa u Alžiru 1988. godine

3.2 Automatsko računanje vrijednosti čestica u komasacijama

Za stolno računalo HP9845 napravljen je program pomoću kojeg se računaju vrijednosti čestica u komasacijama. Pogreške koje nastaju pri unošenju podataka lako se korigiraju, a informacije na ekranu vrlo su opširne, tako da nisu potrebne posebne pisane upute. Algoritam i program nisu objavljeni, iako se program pokazao vrlo praktičnim tijekom 15 godina primjene (1980.–1995.) u Geozavodu – Geos 91 u Zagrebu. Na slici 3 prikazan je Hewlett Packard HP9845, prvo stolno elektroničko računalo koje je Geodetski fakultet kupio 1978. godine.



Sl. 3. Hewlett Packard HP9845, prvo stolno elektroničko računalo na Geodetskom fakultetu

3.3 Automatsko mjerenje duljina u bacačkim disciplinama na Univerziji u Zagrebu

U suradnji sa Zavodom za katastar i geodetske poslove Grada Zagreba razvijena je vrlo praktična automatizacija mjerenja duljina u bacačkim disciplinama za potrebe atletskih natjecanja na Univerziji u Zagrebu 1987. godine, pomoću elektroničkog teodolita Wild T2000 i daljinomjera Di3000 (slika 4).



Sl. 4. Automatsko mjerenje duljina u bacačkim disciplinama na Univerziji u Zagrebu 1987.

Koristeći izvorno vlastito rješenje za reflektor i odgovarajući algoritam pri računanju, postignuto je brže i točnije mjerenje duljine nego što su to predlagali iz razvojnog odjela svjetski poznate tvrtke Wild. Metoda mjerenja pokazala se točnijom i bržom nego metoda primijenjena na prethodnoj Univerziji u Osaki u Japanu. O toj metodi objavljen je rad [7].

3.4 Poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću ručnoga laserskog daljinomjera Leica DISTO

Razvijena je metoda poluautomatskog određivanja profila tunela pomoću ručnoga laserskog daljinomjera Leica DISTO, posebne šablone za namještanje daljinomjera na odgovarajuće vertikalne kutove s mjernom nesigurnošću $0,1^\circ$ i računala notebook (slika 5). Računalo prema izboru nudi da se na šabloni namjesti vertikalni kut s korakom 1° ili proizvoljnim brojem stupnjeva. Poslije mjerenja duljine do stijene na tome vertikalnom kutu podatak o izmjerenoj duljini automatski se pohranjuje u računalo. Odmah nakon snimanja profila može se u tunelu na ekranu dobiti iscrtan oblik iskopanog i projektiranog profila. Sličnih uređaja bilo je i do tada, međutim prednost je tog uređaja vrlo niska cijena, a ručni laserski daljinomjer može se primijeniti i za druga mjerenja na gradilištu.

Ideju za tu metodu dao je prof. dr. sc. Miljenko Solarić, a na razvoju su sudjelovali Đuro Barković, dipl. ing. geod., i prof. dr. sc. Nikola Solarić. Na toj je temi magistarski rad obranio Đuro Barković [8]. Postignuti rezultati s tom metodom objav-



Sl. 5. Poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću laserskog daljinomjera Leica DISTO

ljeni su na međunarodnom simpoziju [9]. Metoda je primijenjena u tvrtki Hidrotehnika, gdje su napravljena tri primjerka takvog uređaja i primijenili ih u tunelima Sv. Rok i drugima.

3.5 Automatizirano određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima

Pri probnim opterećenjima građevinskih objekata automatizirano je mjerenje odstupanja od nekog pravca izazvano promjenom deformacije građevinskog objekta. Mjerenje se izvodi pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 sa serijski priključnim računalom notebook (slika 6), a poslije mjerenja dobiva se pomak mjerne značke u odnosu na prvo referentno mjerenje u horizontalnom smjeru (okomito na pravac teodolit – mjerna značka), kao i u vertikalnom smjeru. Moguće je prema izboru izvoditi više finih viziranja, a računalo prema programu automatski izbacuje grubo pogrešna mjerenja. Poslije mjerenja, u svakoj se fazi mogu na terenu dobiti grafički prikazane razlike u deformacijama u horizontalnom i vertikalnom smjeru između različitih faza probnog opterećenja. U slučaju prevelike deformacije može se prestati s povećanjem probnog opterećenja. Pri prvim probnim opažanjima u

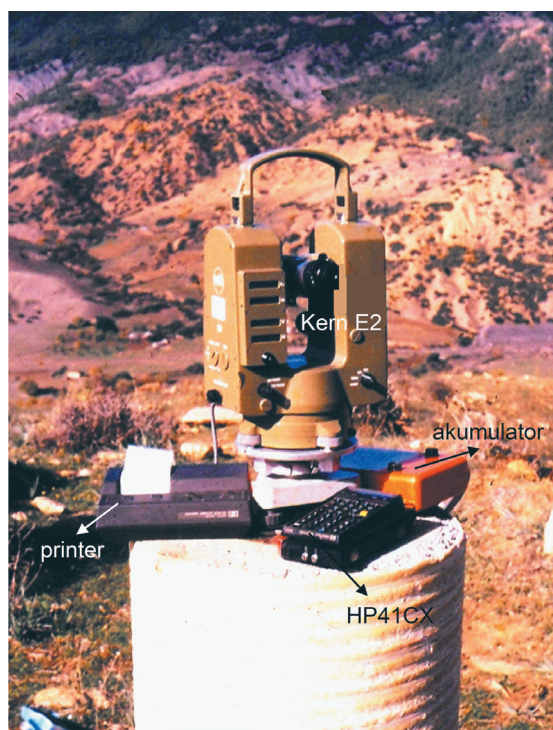


Sl. 6. Automatizirano određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima

Kaštelima, pri ispitivanju promjena deformacija utovarno-istovarnog mola, metoda se pokazala vrlo praktičnom. Na duljini 50 m, s jednim finim viziranjem, postignuto je standardno odstupanje određivanja pomaka 0,2 mm, a s više finih viziranja može se očekivati i bolje od 0,1 mm. Rezultati postignuti tom metodom objavljeni su u časopisu [10] te na međunarodnom simpoziju [11].

3.6 Automatizirano određivanje smjernog kuta astronomskim metodama pri neovisnoj kontroli i povećanju točnosti geodetskih mreža iznad dugih tunela

U Laboratoriju je razvijena automatizirana metoda određivanja smjernog kuta astronomskim metodama prema nekoj točki na Zemljinoj površini, a primijenjena je prema izvornoj ideji profesora Nikole Solarića za neovisnu kontrolu geodetskih mreža iznad dugih tunela. Određivanje astronomskoga smjernog kuta opažanjem zvijezde Sjevernjače pomoću elektroničkih teodolita Kern E2 i Leica T3000 postiže se s mjernom nesigurnošću 0,3". Tako visoka točnost određivanja smjernog kuta omogućuje neovisnu kontrolu geodetskih mreža iznad dugih tunela. Vrlo je važno što se na taj način kontroliraju i komponente otklona vertikale, jer one utječu na



Sl. 7. Instrumentarij i pribor za određivanje astronomskog azimuta na izlazu tunela Chiffa u Alžiru

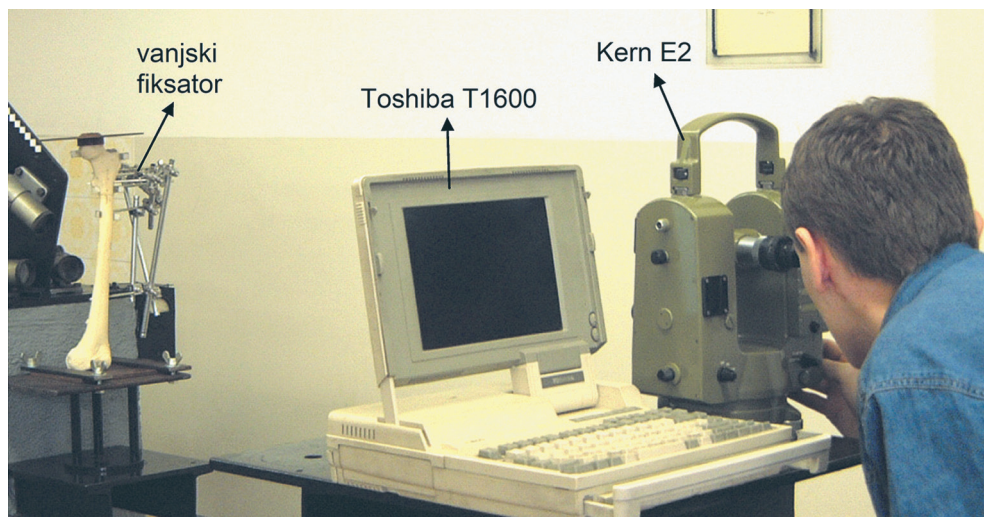
orijentaciju poligonskih vlakova na portalskim ulazima u tunel, osobito ako su vizure prema točkama za orijentaciju strme. Takva kontrola vrlo je važna i pri primjeni suvremenih GNSS uređaja najnovije generacije [12]. Na taj način geodetski stručnjaci dobivaju neovisnom metodom kontrolu točnosti geodetske mreže te s većom pouzdanošću mogu procijeniti hoće li proboj tunela biti uspješan i mirnije ga čekati. Osim toga, može se povećati točnost proboja tunela i uštediti na nepotrebnim dodatnim reprofiliranjima, naročito ako su poligonske strane na portalskim ulazima kratke i strme.

Metoda je primijenjena na 12 km dugom tunelu Chiffa u Alžiru (slika 7), na tunelu Nevesinje u Bosni i Hercegovini te na tunelu Mala Kapela (najduljem cestovnom tunelu u Hrvatskoj, duljine nešto manje od 6 km). O toj metodi objavljeni su izvorni znanstveni radovi [13], [14], [15] te radovi na međunarodnim simpozijima [16], [17].

3.7 Automatizirano određivanje deformacija vanjskih fiksatora u medicini

Razvijeno je automatizirano određivanje deformacija vanjskih fiksatora u medicini pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i računala notebook (slika 8). Pomoću te metode vrlo precizno, s vrlo malim standardnim odstupanjem 0,007 mm, određuju se deformacije medicinskih vanjskih fiksatora.

To omogućava da se praktično odredi koji tip ili podtip vanjskog fiksatora ima manje deformacije i bolji je za primjenu u medicini. Takvo automatizirano određi-

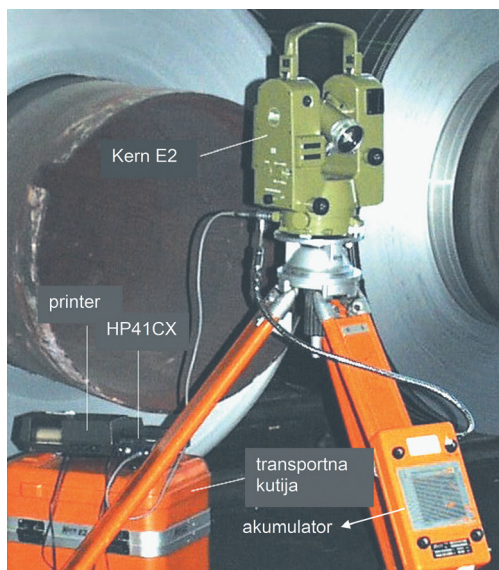


Sl. 8. Automatizirano određivanje deformacija vanjskih fiksatora u medicini

vanje primijenjeno je u magistarskom radu i doktorskoj disertaciji obranjenima u Traumatološkoj bolnici Zagreb, a radovi su objavljeni u uglednom medicinskom časopisu [18] te na međunarodnom simpoziju [19]. Na slici 8 prikazano je automatizirano određivanje deformacija vanjskih fiksatora u medicini pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i laptop računala Toshiba T1600.

3.8 Automatizirano određivanje paralelnosti valjaka pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i računala notebook

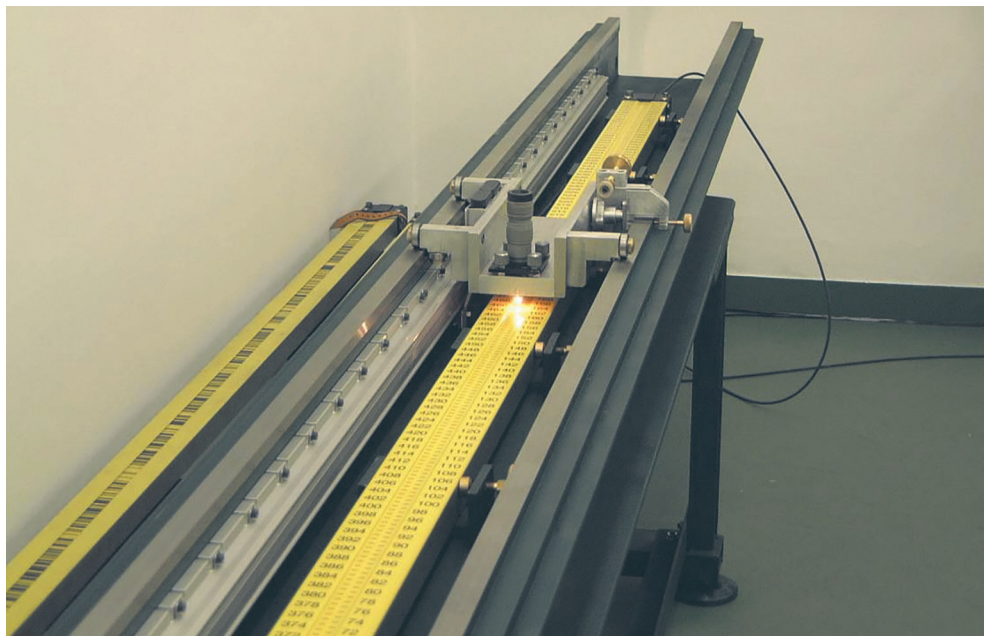
Automatizirana je metoda određivanja paralelnosti valjaka u tvorničkim halama pomoću kolimatora, elektroničkog teodolita Kern E2 ($\pm 0,5''$) i računala notebook (slika 9). Izvedena su a priori standardna odstupanja određivanja paralelnosti valjaka s teodolitom udaljenim od 2 m do 15 m od valjka, za valjke duljine od 1 m do 4 m i standardno odstupanje mjerenja duljina 1 mm i 5 mm. Osim toga, utvrđeno je da je optimalna udaljenost teodolita od valjka približno 2 m, ako se duljine mjere sa standardnim odstupanjem 1 mm. Optimalna udaljenost teodolita od valjka je približno 4 m, ako se duljine mjere sa standardnim odstupanjem 5 mm. U tvornici aluminijske TLM u Šibeniku postignuta je točnost određivanja paralelnosti valjaka u realnim, nepovoljnim tvorničkim uvjetima 0,03 mm/m, a metoda se pokazala vrlo praktičnom. Prikaz te metode objavljen je u uglednom engleskom časopisu [20] te u Njemačkoj [21]. Na slici 9 prikazano je automatizirano određivanje paralelnosti valjaka pomoću elektroničkog teodolita Kern E2 i računala notebook u tvornici aluminijske TLM u Šibeniku.



Sl. 9. Automatizirano određivanje paralelnosti valjaka u TLM Šibenik

3.9 Automatizacija komparatora za nivelmanske letve pomoću inkrementalne mjerne letve

Izrađen je novi automatizirani komparator za nivelmanske letve pomoću inkrementalne mjerne letve u okviru doktorske disertacije *Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve*, autora mr. sc. Đure Barkovića [22] (slika 10). Automatizacija komparacije riješena je na originalan način pomoću inkrementalne mjerne letve, čime se postiže vrlo visoka točnost umjeravanja [23], [24].



Sl. 10. Komparator za nivelmanske letve i mjerne vrpce

3.10 Automatizacija mjerenja duljina kalibracijske baze preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TCA2003 i neovisna kontrola GPS-om

Tijekom preciznih mjerenja duljina kalibracijske baze Geodetskog fakulteta preciznim elektroničkim tahimetrom Leica TCA2003 (slika 11a) automatski su mjereni i atmosferski parametri [25]. Izmjerena je frekvencija u daljinomjeru, određena je periodijska pogreška daljinomjera te su uzeti u obzir svi utjecaji pri mjerenju duljine baze s elektrooptičkim daljinomjerom. Duljina baze zatim je kontrolirana neovisnom metodom, mjerenjem pomoću GPS-a tijekom 8 dana/24 sata (slika 11b). Sva mjerenja obavljena su u okviru izrade doktorske disertacije *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, autora Mladena Zrinjskog, dipl. ing. geod. [26], [27].



a)



b)

Sl. 11. a) Precizni elektronički tahimetar Leica TCA2003 tijekom mjerenja na kalibracijskoj bazi, b) GPS mjerenja na kalibracijskoj bazi [27]

Postignuta točnost tim dvjema metodama bila je bolja od 1 mm na duljini kalibracijske baze 1000 m. Osim toga, utvrđeno je da se preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TCA2003, ako se atmosferski parametri mjere s dva senzora Väisälä [25], [27], postiže približno jednaka preciznost kao i Mekometrom ME5000. Precizni daljinomjer Mekometer ME5000 jedan je od najpreciznijih daljinomjera, koji se nažalost više ne proizvodi. Rezultati dobiveni tim mjerenjima objavljeni su u međunarodnom [28] i domaćem časopisu [29].

3.11 Ispitivanja i umjeravanja elektroničkih geodetskih instrumenata

Posljednjih desetak godina u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta intenzivno se provode ispitivanja i umjeravanja elektroničkih geodetskih instrumenata. Ispitivanja i umjeravanja obavljaju se prema međunarodnim (ISO) i nacionalnim normama (HRN) u skladu s grupom normi osnovne oznake 17123. Ispituju se i umjeravaju sljedeći geodetski instrumenti:

- niveliri [30]
- teodoliti [31]
- elektrooptički daljinomjeri [28], [29]
- geodetske mjerne stanice [32]
- rotirajući laseri [33]
- GNSS uređaji [34]
- terestrički laserski skeneri.

4. Zaključak

Razvoj Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu započeo je 1955. godine. U sastavu tadašnjega Geodetskog zavoda Geodetskog fakulteta, mjerni laboratorij službeno je otvoren 1964. godine kao zasebna ustrojbeno jedinica pod nazivom Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku. U Laboratoriju je u proteklih 55 godina razvijeno više od 30 različitih automatizacija mjerenja u primijenjenoj geodeziji. Također, posljednjih desetak godina u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku provode se ispitivanja i umjeravanja elektroničkih geodetskih instrumenata i odgovarajućeg pribora. Ispitivanja i umjeravanja obavljaju se prema međunarodnim i nacionalnim normama osnovne oznake ISO 17123 i HRN ISO 17123.

Literatura

- [1] Benčić, D.: Razvoj znanstveno-nastavnog područja mjerenja i mjernih instrumenata u Geodetskom zavodu Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, *Geodetski list*, **56** (2002) 1, 33-46.
- [2] Solarić, N.: Kalibracijska baza za ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, *Zbornik radova, 37. međunarodni godišnji skup KOREMA*, Zagreb, 236-241, (1992).
- [3] Solarić, N.; Solarić, M.; Benčić, D.: Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, *Geodetski list*, **46** (1992) 1, 7-27.
- [4] Solarić, N.; Solarić, M.; Špoljarić, D.: Kalibracijska baza za umjeravanje i ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera, *Spojivost i infrastruktura*, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, (1998), 83-88.
- [5] Solarić, N.: Automatisierung der Registrierung der Richtungsmessung und Stationsausgleichung mit einem elektronischen Rechner, *Vermessungstechnik*, **91** (1989) 3.
- [6] Solarić, N.: Automatizacija registracije pri mjerenju pravaca girusnom metodom pomoću elektroničkog računala HP41CX, 6. susret geodeta Hrvatske, *Zbornik radova, Geodezija u planiranju i organizaciji prostora u cilju očuvanja čovjekove okoline*, Plitvice, 99-106, (1986).
- [7] Solarić, N.; Hlad, D.: Automatsko mjerenje duljine u bacačkim disciplinama na Univerziji Zagreb 1987, *Geodetski list*, **43** (1989) 7-9, 287-294.
- [8] Barković, Đ.: *Poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću ručnog laserskog daljinomjera Leica DISTO*, magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1997).
- [9] Solarić, N.; Solarić, M.; Junašević, M.; Barković, Đ.: Automatic Determination of the Cross-section in the Tunnels by means of the Hand-held Laser Meter Leica DISTO, *Proceedings of the 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying*, Ljubljana, 53-60, (1995).
- [10] Solarić, N.; Špoljarić, D.; Vresk, M.: Automatizirano određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima, *Geodetski list*, **50** (1996) 3, 233-240.
- [11] Solarić, N.; Solarić, M.; Špoljarić, D.: Automated Method of Determining the Deformations on Construction Objects under Test Load, *Proceedings, 1st International Conference of Engineering Surveying, INGE098*, Bratislava, 197-203, (1998).
- [12] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Matika, K.: Razvoj i modernizacija GNSS-a, *Geodetski list*, **73** (2019) 1, 45-65.
- [13] Solarić, N.; Bilajbegović, A.; Solarić, M.; Špoljarić, D.: Nezavisna kontrola geodetskih mreža iznad dugih tunela pomoću astronomski određenih smjernih kutova, *Geodetski list*, **51** (1997) 1, 13-24.
- [14] Solarić, N.; Veršić, Z.; Špoljarić, D.: Independent control of GPS Networks above Long Tunnels by Means of Astronomically Determined Azimuth or Bearing Angles, *Survey Review*, **38** (2005) 298, 308-316.

- [15] Solarić, N.; Špoljarić, D.: Nezavisna astronomska kontrola vanjske geodetske mreže tunela Mala Kapela, *Geodetski list*, **59** (2005) 1, 15-30.
- [16] Solarić, N.; Biljbegović, A.; Solarić, M.; Špoljarić, D.: Independent control of geodetic networks above long tunnels by means of astronomically determined azimuths, *Proceedings, FIG Symposium, Surveying of large bridge and tunnel projects*, Copenhagen, 215-227, (1997).
- [17] Solarić, N.; Špoljarić, D.: Independent Automated Astronomic Control of the external Geodetic Network of the Tunnel "Mala Kapela", *Proceedings, Design, Construction and Operation of Long Tunnels*, Taipei, Taiwan, 1293-1303, (2005).
- [18] Boljkovac, D.; Solarić, N.; Solarić, M.: Stability estimation of the Ilizarov external frame by electronic, *Periodicum Biologorum*, **104** (2002) 3, 335-344.
- [19] Boljkovac, D.; Solarić, N.; Solarić, M.: Automatic determination of deformations at external fixator in medicine by means of electronic theodolite, *Proceedings, 9th FIG International Symposium on deformation Measurements*, Olsztyn, 354-360, (1999).
- [20] Solarić, N.; Veršić, Z.; Barković, Đ.: Semi-Automatic Determination of the Parallelism of Rollers in the Aluminium Factory TLM-Šibenik, *Survey Review*, **37** (2004) 293, 577-588.
- [21] Solarić, N.; Barković, Đ.; Zrinjski, M.: Halbautomatische Bestimmung der Punktverschiebung von der durch die Walzenständermittle durchlaufende Achse, *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, **110** (2003) 6, 224-230.
- [22] Barković, Đ.: *Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2002).
- [23] Barković, Đ.; Solarić, N.: Automatizirano mjerenje na komparatoru za nivelmanske letve pomoću inkrementalne mjerne letve, *Zbornik radova povodom 40. obljetnice Geodetskog fakulteta*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 281-292, (2002).
- [24] Barković, Đ., Solarić, N.: Automatizacija komparatora za nivelmanske letve, *Izješća o znanstveno-stručnim projektima za 2001. godinu*, Državna geodetska uprava, Zagreb, (2003), 33-44.
- [25] Solarić, N.; Barković, Đ.; Zrinjski, M.: Automatizacija mjerenja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina, *Geodetski list*, **66** (2012) 3, 165-186.
- [26] Solarić, N.; Solarić, M.; Zrinjski, M.: GPS-antena Zephyr Geodetic, *Geodetski list*, **63** (2009) 4, 329-352.
- [27] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).
- [28] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Baričević, S.: Precise Determination of Calibration Baseline Distances, *Journal of Surveying Engineering*, **145** (2019) 4, 05019005, 1-9.
- [29] Barković, Đ.; Zrinjski, M.; Baričević, S.: Automatizacija ispitivanja preciznosti elektrooptičkih daljinomjera na kalibracijskoj bazi, *Geodetski list*, **70** (2016) 4, 311-336.
- [30] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Razumović, I.: Automatizacija ispitivanja preciznosti nivelira i umjeravanja invarnih nivelmanskih letvi, *Geodetski list*, **64** (2010) 4, 279-296.
- [31] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Tir, M.: Automatizacija ispitivanja preciznosti teodolita prema normi HRN ISO 17123-3:2004, *Geodetski list*, **65** (2011) 2, 123-144.
- [32] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Čulić, D.: Precision Testing of Electronic Tacheometer according to the Standard ISO 17123-5:2005, *Conference Proceedings, Volume II – 13th International Multi-disciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013*, Albena, 351-358, (2013).
- [33] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Gudelj, M.: Ispitivanje i analiza kvalitete mjerenja rotirajućega laserskog sustava, *Geodetski list*, **73** (2019) 2, 109-128.
- [34] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Radočaj, D.; Tupek, A.: Determining and Analyzing the Quality of GNSS RTK Positioning, *Jubilee Annual 2017-2018 of the Croatian Academy of Engineering*, Croatian Academy of Engineering, Zagreb, (2018), 401-414.