

UDK 528.08:528.5.08:378.652(497.5)"71"  
Stručni članak

# Razvoj znanstveno-nastavnog područja mjerenja i mjernih instrumenata u Geodetskom zavodu Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Dušan BENCĀĆ – Zagreb\*

*SAŽETAK.* Pregledno je prikazan razvoj znanstvenog područja mjerenja i mjernih instrumenata u Geodetskom zavodu, s naglaskom na značenje nastave u tom području i razvoju mjernog laboratorija kao istraživačke i ispitne jedinice.

*Ključne riječi:* mjerni laboratorij, mjerna tehnika.

## 1. Uvod

Područje mjerenja i mjernih instrumenata značajno je područje posebno tehničkih struka i razvoja tog područja te ima osobito značenje za struku.

Zbog brojne zajedničke problematike razvila se zasebna interdisciplinarna znanost o mjerenjima – *metrologija* ili *mjeriteljstvo* kao specijalizirani dio pojedinih prirodoslovnih i tehničkih znanosti, koje se bave metodama mjerenja fizikalnih veličina, razvojem i izradbom mjernih uređaja, reprodukcijom i pohranjivanjem mjernih jedinica i njihovih etalona te svima ostalim istraživanjima koja omogućavaju preciznije mjerenje i usavršavanje mjernih postupaka, računanja i obradbe rezultata mjerenja.

Mjerenje je osnovica ljudskih djelatnosti, a svaki znanstvenoistraživački rad u području prirodoslovnih i tehničkih znanosti temelji se na mjerenjima.

Metrologija se stupnjuje, a pokazatelj stupnjevanja je netočnost mjernog rezultata i preciznost mjerenja iskazana mjernom nesigurnošću, koja se očituje u ponovljivosti mjerenja. Različite razine netočnosti čine *metrološku piramidu*, kojoj je osnovica mjerenja na najnižem stupnju, a na vrhu su mjerenja najveće preciznosti.

Za svaku razinu točnosti potrebna je komparacija mjerila i mjernih instrumenata za koju svrhu se koriste, za pojedinu fizikalnu veličinu etaloni odgovarajuće točno-

\*Prof. dr. sc. Dušan Benčić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb.

sti, a razlikujemo primarne, sekundarne i radne etalone. Takvim prijenosom i vezom govorimo o mjernom jedinstvu, a u stručnoj terminologiji o *sljedivosti* kao neprekinutom lancu usporedbi s konačnim osloncem na odgovarajući međunarodni etalon.

Geodezija je znanost koja se u općem i temeljnom smislu bavi izmjerom Zemlje i njezinih dijelova, uz prikaz na planovima i kartama, pa joj je osnovna djelatnost *mjerenje*. U širem smislu geodeti-mjeritelji određuju *mjerenjem* oblik, dimenzije i položaj objekata u prostoru, deformacije djelovanjem vanjskih sila, kao i promjene nastale djelovanjem utjecajnih veličina (npr. temperature, vremenskog trajanja itd). Očito je da na nastavnoj i znanstvenoj ustanovi – Geodetskom fakultetu značajno područje mjerenja i mjernih instrumenata i njihov razvoj.

## 2. Razvoj nastave i mjernog laboratorija

Za razvoj nastave na području mjerenja i mjernih instrumenata u Geodetskom zavodu od posebnog je značenja bila suradnja naših nastavnika sa srodnim stručnim institucijama. Tu posebno ističem našu dugogodišnju suradnju s Laboratorijem za precizna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB), zatim suradnju s Optičkom školom, koja je nakon izgradnje novih zgrada na Žitnjaku prerasla u centar za optiku, preciznu mehaniku i elektroniku, danas tehničku školu “Ruder Bošković” u Zagrebu, te suradnju s optičkom industrijom “Ghetaldus”, gdje sam bio nastavnik, odnosno suradnik i savjetnik.

Nakon mojega dolaska za asistenta na nastavnom kolegiju Niža geodezija 1955. godine započeli smo s razvojem mjernog laboratorija, prvotno u svrhu suvremene nastave za vježbe studenata, uz upoznavanje brzih i jednostavnih metoda rektifikacije.

U prvoj fazi razvoja pristupilo se konstrukciji kolimatora kao osnovnih optičkih uređaja laboratorija. U optičkoj industriji Zagreb postojale su osnovne konstrukcije mehaničkih i optičkih dijelova.

U drugoj fazi slijedilo je fundiranje i izvedba betonskih stupova, kontrola nosača i završno postavljanje uređaja uz pomoć nastavnika i učenika Optičke škole. 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,
- precizni kolimator Wild s jahaćom libelom za ispitivanje i rektifikaciju nivelira i pogreške indeksa vertikalnoga kruga teodolita,
- sustav kolimatora za vježbe mjerenja kutova,
- uređaj s vizirnom markom i skalom za ispitivanje pogreške horizontalne osi teodolita,
- uređaj za ispitivanje optičkog viska,
- komparator s mikroskopima za bazisne dvometarske letve,
- komparator za mjerne vrpce.



Za nastavu na Geodetskom fakultetu u optičkoj školi, prema našim konstrukcijama, izrađene su dvije optičke klupe za demonstraciju funkcije leća, posebno dalekozora i mikroskopa, kao i demonstracijska optička ploča za nastavu iz optike. Precizni kolimator i invarske šipke duljine 2 m i 3 m povoljno su nabavljene posredstvom tvornice WILD, Heerbrugg.

Mjerni laboratorij otvoren je 1964. godine uz prigodnu demonstraciju, a poslije je formiran kao posebna jedinica Geodetskog zavoda s nazivom: Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku.

Tada smo u razvoju mjernog laboratorija, uz niz originalnih konstrukcija, bili među prvima u Europi u praktičnoj nastavi optike i mjernih instrumenata u geodeziji.

U tom smislu poslije smo dobili i pismena priznanja od vrhunskih stručnjaka na tom području, i to od prof. dr. sc. H. Zetschea sa Sveučilišta u Bonnu i prof. dr. sc. F. Deumlichsa sa Sveučilišta u Dresdenu.

O uspješnom razvoju našeg mjernog laboratorija i njegovu značenju imao sam referat na IV. kongresu geodetskih inženjera i geometara u Sarajevu 1968. godine, pod naslovom: Laboratorijske metode ispitivanja i rektifikacije geodetskog instrumentarija (Benčić 1968).

S razvojem mjernog laboratorija dolazi i do promjene u načinu izvođenja vježbi iz geodetskih instrumenata kao i do izmjena u nastavnom planu. Logično je, a to ovdje posebno naglašavam, da do izmjena u nastavnom planu dolazi slijedom razvoja područja, a ne kopiranjem tuđih planova.

Godine 1962. izabran sam za docenta iz predmeta Niža geodezija. No zbog promjene načina održavanja vježbi u novom nastavnom planu uskoro se uvodi zasebni nastavni predmet Geodetski instrumenti s praktikumom s 4+2 sata u I. semestru i 0+3 u III. semestru redovitog studija. Sustav vježbi u praktikumu razrađen je na osnovi iskustva u studiju fizike na Prirodoslovo-matematičkom fakultetu, gdje u nizu praktikuma svaki student samostalno izvodi vježbu sastavljanjem uređaja i mjerenjima po principu kružnih vježbi s promjenom grupa na pojedinoj vježbi svakoga tjedna. To je značajna razlika u odnosu na geodetske vježbe u grupama, gdje čitava grupa, a ne pojedinac, izvodi određeni zadatak.

Nakon što je tadašnji asistent N. Solarić diplomirao na studiju fizike na PMF-u 1969. godine, povjerena su mu 1972. godine predavanja iz predmeta Elektrotehnika, umjesto honorarnog nastavnika s Elektrotehničkog fakulteta. To je bio novi značajan korak u razvoju nastave iz područja mjernih instrumenata. Prof. dr. sc. Vladimir Muljević, ugledni profesor Elektrotehničkog fakulteta, kao član komisije pri izboru N. Solarića, rekao mi je tada: "To je najbolji izbor, jer će geodetski stručnjak najkvalitetnije predavati primjenu elektronike u geodeziji, jer nijedan nastavnik Elektrotehničkog fakulteta nema interesa, uz svoje obveze, da se specijalizira za geodetske instrumente".

Ističem, da je u 1960-im godinama došlo do snažnog razvoja tehnologije i primjene elektronike u mjernim instrumentima i uređajima. Pojavio se laser, GaAs-dioda, razvila se integracijska tehnika, kao i teodolit s kodiranom podjelom i registracijom podataka (CODE-TEODOLIT, Fennel). Prof. dr. sc. H. Zetsche konstruirao je prvi digitalni teodolit na inkrementalnom principu na Geodetskom institutu u Bonnu i dolazi do izvedbe teodolita DIGIGON (Breihaupt, Kassel, 1965). Osim toga pojav-

ljuje se tahimetar s registracijom na perforirane vrpce (Kern 1965), a pojava elektrooptičkog daljinomjera WILD DI 10 (1968) početak je elektroničke tahimetrije.

Sretna je okolnost što je N. Solarić uz svoj redoviti rad imao interes i volju za naporan izvanredni studij fizike, tako da smo u to vrijeme imali gotovog stručnjaka, a to je trebalo biti i u *planu razvoja nastave* tako značajnog područja. Pravodobno se tada, novim nastavnim planom 1973/74. uvodi značajni stručni nastavni kolegij Fizikalne osnove elektroničkih instrumenata u I. semestar (3+1) i predavanja se povjeravaju N. Solariću. Iste se godine nastava iz mjernih instrumenata u predmetu Geodetski instrumenti izvodi u II. semestru (4+2) i u III. semestru Praktikum iz geodetskih instrumenata (0+3), a u IV. semestru izborni Praktikum.

U 1976. godini plan je promijenjen, pa su se Geodetski instrumenti predavali u I. semestru (2+0) (optika) i u II. semestru (2+2). Tako su se temeljne fizikalne osnove mjernih instrumenata predavale u I. semestru redovitog studija. U tako povoljnom rasporedu izvodila se nastava iz nastavnog područja mjerenja i mjernih instrumenata niz godina, slijedeći uspješno vrlo burni tehnološki razvoj. Bila je to značajna specifičnost našeg fakulteta, da su se dijelovi fizike značajni za funkciju geodetskih instrumenata predavali u *okviru stručnih predmeta*, i to sa stalnim nastavnicima. Takve prednosti u stručnoj nastavi bile su ističane i u našim razgovorima s kolegama profesorima u Europi.

S obzirom na to iskustvo i uspješnu nastavu nije razumljivo zašto su novim nastavnim planom ti nastavni kolegiji iz mjernih instrumenata ukinuti, a programom nastave prebačeni u predmete Praktična geodezija i Fizika?

Prvo bih naveo misli prof. dr. sc. L. Fialowskoga, istaknutog znanstvenika u području optike, geodezije, geofizike i astronomije, s velikim brojem znanstvenih djela objavljenih u Mađarskoj, Njemačkoj, Engleskoj, SAD-u, Poljskoj i bivšem SSSR-u. U uvodnom dijelu svojeg posljednog životnog djela *Surveying instruments and their operational principles*, sa 738 stranica, objavljenog 1991. godine (Fialkovsky 1991), da je razvoj geodezije kao jedne od najstarijih grana znanosti usko povezan s razvojem mjernih instrumenata. Međutim, kontinuirani razvoj i povećan opseg mjernih instrumenata imao je za posljedicu da se široko područje spoznaja u tom području odvajalo od matične znanosti, te se na velikom broju sveučilišta uvela nastava iz geodetskih instrumenata kao poseban kolegij.

Istaknuo bih da geodetska znanost postaje sve više interdisciplinarna, a da ne govorimo o mjerenjima, tj. širokom području metrologije. Geodeti su u prvom redu stručnjaci za mjerenja, tj. *mjeritelji*, i to u primjeni mjerenja ne samo u geodeziji, već i šire u tehničkim područjima. Spomenut ću samo npr. radove prof. dr. sc. N. Solarića pri mjerenjima u industriji: "Automatsko precizno određivanje visinskih razlika pomoću elektroničkog teodolita i programabilnog kalkulatora" (na praktičnom zadatku u tvornici "Končar" dobivena je mjerna nesigurnost 0,004 mm), "Automatizacija kontrole pravocrtnosti dugih osovine pomoću elektroničkog teodolita" (za osovine duge do 8 m postignuta je nesigurnost 0,03 mm) ili npr. moju suradnju u razvoju kontrole i usporedbenih mjerenja u strojarstvu iz koje je kao rezultat objavljeno više radova u Geodetskom listu (Benčić, Dusman 1996, 1997), (Benčić 1998a, b, c).

Čuli smo i u predavanju našeg uvaženog profesora dr. N. Frančule o budućnosti geodezije s naglaskom na šire područje rada u mjerenjima kao temelju naše struke.



Zaključujem da raznolikost izobrazbe i budućeg rada našeg stručnjaka moramo iskazati i nastavnim planom (ne samo programom), a ne da se zatvaramo u uže područje nastavnog programa geodezije, u ovom slučaju Praktične geodezije, što bismo mogli učiniti još za čitav niz predmeta, naravno loše.

Drugo, uvođenjem nastavnog predmeta Fizika vraćamo se 30 godina unatrag, kada smo imali nastavni predmet Elektronika, a što je bilo po mojem mišljenju i bolje, jer je danas *elektronika* najznačajnije područje fizike za proučavanje funkcije mjernih instrumenata. Vraćamo se time ubuduće i honorarnoj nastavi, a o tome je bila riječ. Naglasio bih da smo imali honorarnu nastavu Geofizike s predavanjima eksperta kao što je bio prof. dr. sc. S. Baturić, a da je naš stalni nastavnik prof. dr. sc. S. Klak znatno unaprijedio to područje ili npr. područje, informatičkih znanosti, koje se značajno razvilo kad je prof. dr. sc. N. Frančula sa suradnicima preuzeo tu nastavu.

Tu se postavlja još jedno vrlo značajno pitanje, a to je *planiranje razvoja nastavno-ga kadra*, u prvom redu naših mladih znanstvenih suradnika i asistenata. Kao što rekoh, geodezija postaje sve više interdisciplinarna znanost. Treba isključiti honorarnu suradnju, naše mlade kadrove uključiti u studije u prvom redu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu i Fakultetu elektrotehnike i računarstva. To se mora *stimulirati* pa i zahtijevati za pojedina radna mjesta, što do sada nije bio slučaj. Mladim i ambicioznim kadrovima rekao bih, na osnovi naših iskustava, da je takva specijalizacija vrlo interesantna i otvara perspektivu ne samo vlastita razvoja već i fakulteta, što nam mora biti uvijek prvi zadatak, a isto tako i perspektivu vrlo značajne suradnje izvan Fakulteta.

Nastavni planovi i programi, posebno na tehničkom području moraju se ionako stalno mijenjati, slijedeći tehnološki razvoj. Stečeno iskustvo treba koristiti u daljnjem radu na još boljoj i suvremenijoj nastavi i razvoju mladih vlastitih kadrova.

Kao što je rečeno, osnovna je namjena mjernog laboratorija nastavna, tj. omogućavanje suvremene nastave. Osim toga razvijao se i u ispitne svrhe posebno u predviđenom servisu geodetskih instrumenata. Na taj način postavljena je i osnovica za daljnji razvoj laboratorija kao znanstvenoistraživačke jedinice.

Kao nastavnik predmeta Fizikalne osnove elektroničkih instrumenata prof. dr. sc. N. Solarić razvija elektronički dio laboratorija nabavom različitih uređaja i opreme, npr. osciloskopa, digitalnog voltmetra, frekvencimetra, RC generatora, AA2 za automatsko mjerenje temperature, a svojom suradnjom s tvornicom KERN dobiva od tvornice na poklon računalo i druge uređaje u vrijednosti od 21 000 DEM (Solarić 1991).

Značajan razvoj Laboratorija postignut je suradnjom s optičkom industrijom "Ghealdus" na osnovi sporazuma o suradnji na razvoju optičkih mjernih metoda kojim su Laboratoriju predani na održavanje i optički mjerni instrumenti industrije. Daljnje mogućnosti opreme ostvarene su s Interesnom zajednicom za znanstveni rad (SIZ-III) za razdoblje od 1976. do 1980. godine, kada su postavljeni i novi uređaji i razvijene metode ispitivanja, kao što su:

- *velika specijalna dvotračna optička klupa*, duljine  $2 \times 4$  m, za ispitivanje vizurne linije dalekozora i odgovarajućih ekscentriciteta, kao i za ispitivanje nivelira uz primjenu Seltmannova zrcala-kompenzatora. Uz vodilice za zrcalo izrađeni su i specijalni uređaji za viziranje s pomičnom markom i mjernim satom uz očitavanje

mikrometričkog pomaka. O tim uređajima objavljen je rad Geodetska vizurna linija i pogreška vizurnog pravca u Zborniku radova Geodetskog fakulteta (Benčić, Lasić, Novaković, Rašpica, Šimičić 1981),

– *kolimator s pomičnom markom* s mogućnošću ispitivanja teodolita u čitavom mjernom području dalekozora.

Godine 1979. naš mjerni laboratorij posjetio je prof. dr. sc. H. Zetsche, konstruktor prvoga digitalnog teodolita i svjetski stručnjak za elektroničke geodetske instrumente. U svojem pismu, koje mi je poslao nakon povratka u Bonn, ugledni je profesor napisao da mu je bio doživljaj posjetiti naš laboratorij u kojem je ostvareno mnogo originalnih ideja za ispitivanje i justažu geodetskih instrumenata.

Na to smo priznanje, koje je stalno izloženo u laboratoriju, osobito ponosni.

Slično je priznanje u svojem pismu poslao i uvaženi prof. dr. sc. F. Deumlich sa Sveučilišta u Dresdenu.

Osim suradnje s optičkom industrijom "Ghetaldus" značajna suradnja razvila se s Laboratorijem za precizna mjerenja Fakulteta za strojarstvo i brodogradnju (FSB), na poziv uglednog profesora dr. I. Hercigonje, osnivača Laboratorija. Ta suradnja nastavila se posebno s njegovim nasljednikom prof. dr. sc. Federicom Dusmanom, i to na zajedničkim istraživanjima koja su rezultirala s nizom objavljenih radova u Geodetskom listu, što sam već spomenuo. Zajednički smo razvili metode usporedbenih mjerenja primijenjenih u mjernim laboratorijima u strojarstvu na osnovi mjerne ponovljivosti i obnovljivosti, a prvi put su pokazane mogućnosti njihove primjene u geodetskim terenskim mjerenjima, posebno za kontrolu preciznosti mjerenja pri višestrukim mjerenjima, kao i za kontrolu stabilnosti mjernih uređaja u laboratoriju. Od 1967., u okviru te suradnje, gotovo 30 godina predavao sam na poslijediplomskom studiju Tehnologija i organizacija strojarke proizvodnje na kolegiju Primjenjena optika, odnosno poslije Optički sistemi u mjerneoj tehnici. Tu je suradnju i predavanja nastavio prof. dr. sc. N. Solarić.

To je najbolji primjer dobre zajedničke suradnje u srodnim područjima mjerenja i mjernih laboratorija. Osim toga obećana nam je i pomoć Laboratorija za precizna mjerenja FSB-a pri formiranju i radu našega mjernog laboratorija kao verificirane ispitne jedinice za geodetske instrumente i mjerila. Pritome posebno ističem da Laboratorij FSB-a nije zastao u razvoju, pa je danas, posebno zaslugom profesora F. Dusmana, ne samo suvremeno opremljeni laboratorij, već i ovlaštenu Laboratorij Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo Hrvatske, štoviše i ispitna jedinica u kojoj se nalaze primarni etaloni za mjerenje duljina u strojarstvu u našoj državi na principu sljedivosti. Primarni je etalon za duljine interferencijski komparator CARL ZEISS tip 91133 do 100 mm, a za veće duljine laserski mjerni sustav HP 5528A.

Naravno, moramo učiniti usporedbu. Mjerenja u strojarstvu samo su jedan sektor u praktičnoj djelatnosti inženjera, dok su mjerenja u geodeziji osnova svih geodetskih radova. Zar nije logično da i u geodetskoj struci imamo suvremeno opremljeni mjerni laboratorij? (Moja je preporuka da prof. N. Solarić organizira posjet naših zainteresiranih nastavnika Laboratoriju FSB-a).

Na tim spoznajama naš se rad na razvoju mjernog područja i laboratorija ostvarivao u dva smjera:



- razvoj ispitne osnovice za umjeravanje daljinomjera pri mjerenjima velikih duljina u geodeziji,
- razvoj mjernog laboratorija kao istraživačke i ispitne jedinice.

Jedan od osnovnih zadataka u razvoju područja mjerenja u geodeziji bio je uspostava mjernog jedinstva pri mjerenju duljina, odnosno sljedivosti, u prvom redu realizacijom osnovice za mjerenje elektrooptičkih daljinomjera, što znači uspostava *primarnog etalona za mjerenje velikih duljina*.

Realizaciji osnovice prethodio je višegodišnji studij koji je obuhvaćao izbor lokacije, analizu izgrađenih osnovica u svijetu te projekt osnovice za izvedbu i raspored stupova kako bi se moglo ispitati sve pogreške daljinomjera. Najviše zasluga za realizaciju tog iznimnog pothvata imao je prof. dr. sc. N. Solarić, koji je izradio projekt 1981. godine te vodio i nadzirao sve izvedbene radove. Izabrana je najpovoljnija lokacija na nasipu odteretnoga kanala Sava-Odra pokraj Donje Lomnice i Lukavca uzimajući u obzir sve okolnosti i prednosti kao što su blizina Zagrebu, prohodnost, neizgrađenost područja i mogućnost održavanja. Dozvolu za gradnju na nasipu dobili smo od tadašnjeg Općeg vodoprivrednog poduzeća zahvaljujući susretljivosti naših kolega inženjera kulturne tehnike, posebno direktora R. Škegre, dipl. ing. Uza sve te sretne okolnosti, a radilo se o velikoj investiciji, mogao sam i osobno pomoći kolegi N. Solariću u dobivanju potrebnih materijalnih sredstava, budući da sam tada bio dekan Geodetskog fakulteta. Osnovica je izgrađena 1982. (ove je godine, dakle, 20-godišnjica) s ukupno 25 stupova na duljini 3000 m i spada među najveće na svijetu (Solarić i dr. 1992). Danas možemo utvrditi da je osnovica stabilna i, što je najvažnije, pravilno projektirana.

Prvi dio osnovice u duljini 600 m izmjeren je 1983. godine invarnim žicama s relativnom nesigurnošću  $1 \cdot 10^{-6}$  (Novaković, Džapo, Lasić 1985), a već 1984. izmjerena je čitava osnovica preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Mekometer ME 3000 s istom nesigurnošću. Mjerenje osnovice izvedeno je i Mekometrom ME 5000 (1988. i 1996. godine) s mjernom nesigurnošću  $0,8 \cdot 10^{-7}$ . Pritom je primijenjen originalni postupak izjednačenja mjerenja i ocjene mjerne nesigurnosti, a rad će uskoro biti objavljen u Engleskoj u časopisu Survey Review.

Prof. dr. sc. N. Solarić i prof. dr. sc. K. Schnädelbach sa suradnicima s Tehničkog sveučilišta u Münchenu izvršili su 1996. godine usporedbu i povezivanje naše osnovice s osnovicom u Münchenu, tako da su mjerili preciznim elektrooptičkim daljinomjerom ME 5000, uz financijsku pomoć Državne geodetske uprave (Maurer, Schnädelbach, Solarić, Novaković 2001).

Povezivanjem Münchenske i zagrebačke osnovice, te i s ostalim osnovicama u svijetu, taj geodetski etalon u Zagrebu za mjerenje velikih duljina dobio je međunarodni atest kao *primarni etalon za Hrvatsku*. U tome je posebno značenje zagrebačke ispitne osnovice, a o značenju te činjenice i tih istraživačkih radova mnogi geodeti nisu ni svjesni.

Izborom za nastavnika za predmet Fizikalne osnove elektroničkih instrumenata prof. dr. sc. N. Solarić postao je članom i Geodetskog zavoda 1973. godine, što je omogućilo neposrednu suradnju u razvoju mjernih metoda i posebno njegovu angažiranost na razvoju automatizacije pri mjerenjima u praktičnoj geodeziji i šire, pri mjerenjima u industriji, što sam već istaknuo. Spomenuo bih i razradbu različitih automatskih obrada podataka, posebno poslije mjerenja na ispitnoj osnovici. O sve-

mu tome objavljeni su značajni znanstveni radovi i izvješća u domaćim i stranim časopisima.

Ovdje moram istaknuti, iako u ovom radu iznosim razvoj mjernog područja u Geodetskom zavodu, značajne radove prof. dr. sc. N. Solarića kao nastavnika Zavoda za višu geodeziju, odjela za astronomiju, na razvoju mjerne tehnike i *automatizacije u području geodetske astronomije*, posebno povećanje točnosti registracije vremena pri opažanju nebeskih tijela, te metoda automatskog određivanja azimuta kao i geografske širine i duljine pri čemu je imao i izuzetnu suradnju s tvornicom KERN (LEICA) iz Švicarske. Tvornica KERN prihvatila je njegovu metodu automatizacije, iako je imala na izboru metodu iz vlastita razvojnog odjela i metodu sa Sveučilišta u Beču.

Doktorska disertacija prof. N. Solarića pod naslovom Fotoelektrični uređaj za registraciju vremena prolaza zvijezda, objavljena je u Zborniku radova Geodetskog fakulteta (Solarić 1980).

### 3. Razvoj mjernog laboratorija kao znanstvenoistraživačke i ispitne jedinice

U razdoblju od 1976. do 1986. godine laboratorij je već bio djelomično opremljen i za znanstvena istraživanja. Tako je, npr. konstrukcijom kolimatora s pomičnom markom bilo moguće određivanje prijenosnog faktora dalekozora i time mjerenje razmaka slike objekta i nitnoga križa, a time je omogućeno i ispitivanje utjecaja paralaksa na točnost mjerenja, što je bio i dio mogega disertacijskog rada pod naslovom Prilog teoriji subjektivnih optičkih instrumenata primijenjenih u mjernoj tehnici (Benčić 1980). Tim je ispitivanjima otkriven i ispravan optimalan optički položaj okulara i način njegova određivanja, što ih je vrlo savjesno i strpljivo mnogobrojnim mjerenjima izveo prof. dr. sc. K. Šimičić, a to je bio ključ koji je otvorio mogućnosti za značajna daljnja istraživanja u laboratoriju i na terenu.

Ovdje ističem da je značajan daljnji razvoj mjerne tehnike i mjernih metoda u laboratoriju proizašao iz magistarskih i doktorskih radova mojih suradnika kojima sam bio mentor. Ističem značajna istraživanja prof. dr. sc. K. Šimičića i doc. dr. sc. G. Novaković.

Profesor K. Šimičić u svojoj doktorskoj disertaciji pod naslovom Prilog ispitivanjima funkcije durbina geodetskih instrumenata (Šimičić 1986) izveo je mjerenja u laboratoriju i na terenu uz izuzetno opsežan program u svrhu analize utjecaja promjenjivih vanjskih faktora na točnost mjerenja, uz mjerenja u tijeku čitavog dana, na različitim daljinama ciljne marke i na različitim terenima. U laboratoriju je posebno ispitivan utjecaj promjenjiva osvjetljenja uz viziranje na kolimator s reostatom i luksmetrom (JU 117) za mjerenje osvjetljenja. Vrlo je zanimljiva bila komparacija između laboratorijskih i terenskih mjerenja čime su bile omogućene ne samo praktične preporuke za optimalna razdoblja za mjerenja na terenu, već i preporuke za najbolji način izoštravanja slike u različitim uvjetima kako bi utjecaj paralakse bio minimalan. Rezultati su na osnovi visoke statističke sigurnosti bili vrlo poučni i novi, te smo već prethodnim priopćenjem s naslovom Untersuchungen des Einflusses des Zustandes der Atmosphäre auf die Strichkreuzparallaxe referirali o tome na simpoziju Geodätische und Katographische Tage, 1983. godine u Dresdenu



(Benčić, Šimičić 1983). Uspješnost tog referata pokazuje izbor za objavljivanje u skraćenom obliku u redakciji prof. dr. F. Deumlichu u časopisu "Vermessungstechnik" (Benčić, Šimičić 1984). O ispitivanjima u mjernom laboratoriju i njihovim rezultatima prof. dr. sc. K. Šimičić je objavio nekoliko radova u inostranim časopisima (Šimičić 1992, 1996, 1999).

Za razvoj mjerenja i mjernih metoda u laboratoriju, uz komparativnu analizu primjene laboratorijskih metoda za ispitivanje i rektifikaciju mjernih instrumenata, posebno su značajni magistarski i doktorski rad G. Novaković, to više što su ispitivane funkcije tako osjetljivih elemenata kao što su kompenzatori.

U doktorskoj disertaciji pod naslovom Ispitivanje funkcije kompenzatora geodetskih instrumenata (Novaković 1996) posebno su ispitivane mjerne nesigurnosti primijenjenih laboratorijskih metoda korištenjem pomoćnih mjernih uređaja, od kojih su neki izrađeni specijalno za ta istraživanja. Zahvaljujući njima, neke poznate metode ispitivanja pogreška kompenzatora nivelira modificirane su, što je rezultiralo povećanjem njihove točnosti i brzine izvođenja ispitivanja. Osim toga ustanovljene su metode za ispitivanje funkcije kompenzatora teodolita, koje do tada nisu korištene.

Pri postupku s ciljevima na konačnoj udaljenosti posebno treba istaknuti pseudokolimacijsku metodu, za koju su izvedeni i primjenjeni posebni uređaji s ciljnom markom u obliku koncentričnih kružnica, smještenom na tubusu objektiva durbi- na i pomičnog ravnog zrcala na njihalu (Seltmannova zrcala).

Za postupak s ciljem u neizmjernosti primijenjen je kolimator uz posebnu adaptaciju mikrometarskog uređaja za mjerenje pomaka ciljne marke.

U tim je ispitivanjima od velikog značenja bilo korištenje vrlo stabilne optičke klupe s kliznom stazom, kod koje se povećava mjerno područje primjenom Seltmannova zrcala. Posebno valja istaknuti ispitivanje visinske pogreške nivelira s dvije klizne staze, uz visoku preciznost mjerenja, primjenom pomoćnih vizurnih marki. Za mjerenje pomaka marki korištene su mjerne ure s podatkom jednog mikrometra, a ispitane su u Laboratoriju za precizna mjerenja FSB-a.

U svojim istraživanjima, zbog velikog broja ponavljanja i mjerenja u duljem vremenskom razdoblju, G. Novaković primijenila je i razvila sustav kontrole preciznosti mjerenja statističkim metodama na osnovi kriterija ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja koji su *prvi put* primijenjeni u geodetskim mjerenjima. O tome je i objavila rad u časopisu "Allgemeine Vermessungs-Nachrichten" (Novaković, Ivković 1999).

Godine 1996. završena je osnovna faza u razvoju laboratorija kao znanstveno-istraživačke jedinice te su uz komparativnu analizu točnosti bili ispitani i provjereni svi mjerni uređaji u laboratoriju, posebno u istraživanjima G. Novaković.

Tada je bilo vrijeme da se uz automatizaciju postupka osposobe komparatori za mjerne vrpce i nivelmanske letve i pokrene postupak za registraciju laboratorija kao ovlaštene ispitne jedinice kod Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo. O značenju te registracije kao i ustrojstvu metrološke djelatnosti objavljen je pregledni članak u Geodetskom listu Značenje metrološke djelatnosti i njen razvoj u Republici Hrvatskoj (Benčić, Solarić, Lasić 1993).

U zaključku tada pišemo:

“Istaknimo da je već donijet Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima koji se u RH primjenjuje od 8. listopada 1991. godine. Njime su propisane vrste mjerila za koje je obavezno ispitivanje te rokovi u kojima se provode periodijski pregledi. Nužno je, da geodetska djelatnost ima ovlaštenu laboratorij za pregled i umjeravanje geodetskih instrumenata i pribora. Iako se već dulje vrijeme radi na opremanju Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku na Geodetskom fakultetu u Zagrebu, zbog pomankanja financijskih sredstava projekt nije dovršen. Želja nam je stvoriti suvremeno opremljen geodetski laboratorij uz suradnju Fakulteta i svih geodetskih institucija u zajedničkom interesu. U protivnom će obvezni pregled i kontrolu geodetskih instrumenata u budućnosti obavljati ovlaštenu laboratoriji drugih struka.”

Toj konstataciji dodao bih napomenu da je naknadno u Narodnim novinama br. 11/1994 tiskan Zakon o mjerne djelatnosti, a u Narodnim novinama br. 93/1994 izašle su Naredbe o vrstama mjerila za koje se provodi mjeriteljski nadzor, a u Narodnim novinama br. 50/1996 Naredbe o razdobljima za ponovno ovjeravanje mjerila.

Kada bi se strogo primijenio Zakon, geodetski poslovi bili bi blokirani.

Uz razvoj mjernog laboratorija u ispitnu jedinicu potrebna su nova interesantna istraživanja, u koja bi se trebali uključiti posebno mlađi kadrovi. Npr. postoje nove međunarodne norme za ispitivanje i provjeru geodetskih instrumenata i pribora: ISO 12857-1, -2, -3 od 1997. godine, ali uz postupke na terenu. Analogno tome trebalo bi ispitati takve provjere u laboratoriju uz komparativnu analizu mjernih nesigurnosti, posebno uz primjenu kriterija mjerne ponovljivosti i obnovljivosti, budući da su ispitivanja u laboratoriju jednostavnija, brža, a time i ekonomičnija. Istraživanja bi mogla rezultirati i prijedlogom za dopunu međunarodnih normi.

No umjesto takve perspektive daljnjeg razvoja laboratorija od 1996. dolazi do zastoja zbog niza nepogodnih okolnosti. Čak su u laboratoriju stavljene izvan funkcije dvotračne optičke klupe! Jedini stručni laborant bio je premješten na drugo radno mjesto! Dr. G. Novaković, postavši docentom morala je prijeći u Zavod za inženjersku geodeziju i napustiti Geodetski zavod pa time prestaje biti član Laboratorija. Novim nastavnim planom ukida se kolegij Fizikalne osnove elektroničkih instrumenata, *značajno vezanim uz razvoj Laboratorija*, a prof. dr. sc. N. Solarić, godinama moj najbliži suradnik u razvoju, više nije ni član Geodetskog zavoda! Osim toga znanstveno-istraživački projekt koji vodi prof. dr. N. Solarić: *Geodetske metode mjerenja i njihove automatizacije, izuzetno značajan za razvoj mjerenja i mjernih metoda*, u proteklim godinama dobiva minimalna financijska sredstva, vrlo skromna u odnosu na ostale projekte Fakulteta.

Upravo zbog takva stanja, koje je sigurno privremeno, iznio sam malo šire značenje znanstveno-nastavnog područja mjerenja i mjernih instrumenata i dosadašnji razvoj i mogućnosti što nije dovoljno poznato.

Očito je, uz subjektivne slabosti, da je sadašnje stanje uzrokovano *neodgovarajućom organizacijom* Laboratorija, a rasulo kadrova koje i zbog toga nastaje (a kadrovi se stvaraju godinama) za malu jedinicu uzrokuje dugoročni zastoj u razvoju. Vrlo je važno da se nastavnici koji odlaze u mirovinu angažiraju i dalje kao stalni suradnici u znanstveno-istraživačkom radu.



Za usporedbu organizacije ponovo ću uzeti Laboratorij za precizna mjerenja FSB-a, koji je u sastavu *Zavoda za automatiku i mjernu tehniku* znanstveno-nastavna jedinica s nekoliko nastavnika i laboranata. Nastavni su kolegiji: Mjerna tehnika, Mjerenje oblika i dimenzije, Tehnološke kontrole, Mjerenja dinamičkih veličina. U laboratoriju se izvode mnogobrojni diplomski i magistarski radovi, te doktorske disertacije.

Kao što je istaknuto Laboratorij FSB-a ovlaštena je ispitna jedinica sa suvremenom opremom i klimatizacijom dijela prostorija.

No danas postoje i u našoj struci istaknuti mjerni laboratoriji u Evropi. Spomenut ću one koje sam osobno posjetio. Npr. Mjerni laboratorij u ETH-u Zürich s mnogobrojnim mjernim uređajima, posebno komparatorom za nivelmanske letve duljine 8 m uz primjenu laserskog interferometra HP 5526 A i Mjerni laboratorij u TU München pod vodstvom prof. dr. sc. K. Schnädelbacha koji u sastavu ima i radionice za izradbu mjernih uređaja.

#### 4. Organizacija mjernog laboratorija i perspektiva

Za daljnji razvoj mjernog laboratorija Državnoj geodetskoj upravi RH predloženo je da sufinancira značajne znanstvenoistraživačke projekte za razvoj geodetskog mjeriteljstva i normatizacije. Prof. dr. sc. N. Solarić podnio je prijedlog istraživanja pod naslovom: *Razvoj programa i uređaja za automatiziranu obradu pri ispitivanju instrumenata prema ISO normama (prihvaćenima u Hrvatskoj) za potrebe osnovnih geodetskih radova i za katastar nekretnina*. U okviru tog projekta su Automatizacija komparatora za umjeravanje nivelmanskih letava i Automatizacija komparatora za umjeravanje čeličnih vrpca, uz izvedbu klimatizacije prostorije za precizna mjerenja.

Ta su istraživanja s izvedbom uređaja od *izuzetnog značenja* za geodetsku struku, a po tome i za državnu izmjeru, jer će osigurati sljedivost mjerenja duljina i visinskih razlika *propisanu zakonima*, koji su već navedeni. Uz već ostvarenu osnovicu za mjerenje duljina kao primarnog etalona, ti će komparatori biti samo nužna nadopuna u osiguravanju mjernog jedinstva, odnosno mjerenja i geodetskih mjerila na svim razinama točnosti u Republici Hrvatskoj, analogno *realiziranom u strojarstvu*.

Ravnatelj Državne geodetske uprave obećao je financijsku podršku primarno za izvedbu uređaja koji će nakon toga biti *stalno u funkciji* kojoj je namijenjen. To znači, da za svaki takav uređaj mora biti stalno zadužena stručna osoba, što zahtijeva odgovarajuću *organizaciju mjernog laboratorija*. Zaključak je bio pravilan i logičan, to više što je i dosadašnje iskustvo pokazalo kako pojedini uređaji laboratorija u koje su bila uložena značajna financijska sredstva mogu biti izvan funkcije. Prema tome laboratorij mora biti organizacijska jedinica koja je obvezna upotrebljavati uređaje za sve zadatke, neovisno o pojedincu, posebno u svrhu umjeravanja i kontrole te za nastavnu i istraživačku djelatnost (diplomski i magistarski radovi, doktorske disertacije). Treba istaknuti da i Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo zahtijeva svojim propisima odgovarajuću organizacijsku strukturu ispitne jedinice.

Razgovarao sam potom s dekanom Geodetskog fakulteta i predstojnikom Geodetskog zavoda koji su dali podršku svrsihodnoj reorganizaciji laboratorija.

Na osnovi tih razgovora razrađen je prijedlog organizacije mjernog laboratorija uzevši u obzir dosadašnji razvoj. U osnovnim crtama:

- laboratorij za mjerenja treba biti znanstvenoistraživačka i ispitna jedinica s posebnom namjenom i statusom, koja je i pomoćna nastavna jedinica,
- članovi laboratorija stalni su suradnici i laboranti zaduženi za rad u Laboratoriju u svrhu izvršenja svih zadataka,
- stalni suradnici su nastavnici Fakulteta imenovani od Fakultetskog vijeća na prijedlog pojedinih zavoda Fakulteta. Oni imaju odgovarajuća zaduženja po sektoru rada odnosno za određena ispitna područja i određene mjerne uređaje i odgovorni su za njihovo održavanje, upotrebu i primjenu kao i izvršavanje svih zadataka u svom području. Stalni suradnici izabiru odgovornog voditelja laboratorija, kojeg povrđuje Fakultetsko vijeće.
- voditelj laboratorija brine se o organizaciji rada i izvršavanju zadataka, o ispravnosti uređaja i radu laboranata. Saziva sjednice laboratorija radi dogovora o izvršavanju zadataka i planiranju rada i razvoja i o tome podnosi izvještaje Fakultetskom vijeću. U svojem radu pridržava se Statuta Geodetskog fakulteta i propisa Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo.

Ugodna je vijest, da je znanstveno-istraživački projekt prof. dr. N. Solarića sa suradnicima nedavno dobio financijska sredstva za djelomičnu opremu izvedbe komparatora nivelmanskih letava i radovi su već u tijeku. Sredstva je dodijelilo Ministarstvo znanosti i tehnologije RH, pa će vjerojatno uz potporu i Državne geodetske uprave izvedba tako značajnih uređaja biti dovršena. Na izvedbi i istraživačkom radu posebno je zadužen mlađi kolega asistent mr. sc. Đuro Barković i on bi taj uređaj trebao staviti u funkciju i rad.

Time će u mjernom laboratoriju biti postavljeni svi osnovni uređaji za ispitivanje mjerila i instrumenata za mjerenje duljina uz automatsku registraciju mjerenih veličina.

## 5. Zaključak

Uz početne uspjehe i sve probleme razvoja priključili smo se svjetskom trendu razvoja mjernog laboratorija u struci, a to treba slijediti i nastavna djelatnost na tom području. Uz suradnju i financijsku pomoć Državne geodetske uprave i znanstvenih institucija osigurana je uspješna perspektiva daljnjeg razvoja.

Ovaj rad o razvoju znanstveno-nastavnog područja mjerenja i mjernih instrumenata napisan je prigodom 80. godine mojeg života i 50-godišnjice rada i suradnje na Geodetskom fakultetu, kako bi se upoznala naša djelatnost na razvoju tog područja. Ovom prilikom zahvaljujem dekanu, Fakultetskom vijeću i mojim suradnicima na čestitkama i iskazanoj pažnji.

Neka ovaj rad bude i dužna pažnja k tome i duboka zahvala mojim suradnicima za zalaganje i strpljiv istraživački rad, bez kojeg nema znanstvenih rezultata. Poseb-



nu zahvalnost, na značajnom doprinosu razvoju moram iskazati prof. dr. sc. Nikoli Solariću.

Mladim kadrovima želim da se priključe radu na ovom značajnom istraživačkom području naše struke na kojem su u svijetu izradene mnogobrojne doktorske disertacije.

## Literatura

- Benčić, D. (1968): Laboratorijske metode ispitivanja i rektifikacije geodetskog instrumentarija. IV. kongres geodetskih inženjera i geometara u Sarajevu 1968. godine, 1–46.
- Benčić, D. (1980): Prilog teoriji subjektivnih optičkih instrumenata primijenjenih u mjerne tehnici. Zbornik Geodetskog fakuleta Niz B – disertacije, svezak br. 5.
- Benčić, D. (1998a): Pojam, značenje i iskazivanje mjerne nesigurnosti. Geodetski list, 1, 23–34.
- Benčić, D. (1998b): Proračun sastavnica nesigurnosti i sastavljanje standardne nesigurnosti. Geodetski list, 2, 89–98.
- Benčić, D. (1998c): Određivanje proširene nesigurnosti. Geodetski list, 3, 181–188.
- Benčić, D., Dusman, F. (1996): Analiza višestrukih mjerenja. Geodetski list, 4, 255–286.
- Benčić, D., Dusman, F. (1997): Kontrola preciznosti mjerenja mjernih instrumenata i uređaja. Geodetski list, 1, 25–40.
- Benčić, D., Lasić, Z., Novaković, G., Rašpica, M., Šimičić, K. (1981): Geodetska vizurna linija i pogreška vizurnog pravca. Zbornik radova Geodetskog fakulteta, Niz A, br. 32.
- Benčić, D., Solarić, N., Lasić, Z. (1993): Značenje metrološke djelatnosti i njen razvoj u Republici Hrvatskoj. Geodetski list, 4, 293–304.
- Benčić, D., Šimičić, K. (1983): Untersuchungen des Einflusses des Zustandes der Atmosphäre auf die Strichkreuzparallaxe. Techn. Univ. Dresden, Geodätische und kartographische Tage, Dresden, AG1, 18–21.
- Benčić, D., Šimičić, K. (1983): Untersuchungen des Einflusses der Atmosphäre auf die Strichkreuzparallaxe. Vermessungstechnik, 4, 126–127.
- Fialowsky, L. (1991): Surveying instruments and theirs operational principles. Akademiai Kiado, Budapest.
- Maurer, W., Schnädelbach, K., Solarić, N., Novaković, G. (2001): Povezivanje Münchenske i zagrebačke baze za ispitivanje i umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera. Geodetski list, 3, 177–194.
- Novaković, G. (1996): Ispitivanje funkcije kompenzatora geodetskih instrumenata. Doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta Zagreb, Zagreb.
- Novaković, G., Džapo, M., Lasić, Z. (1985): Prvo mjerenje duljine kalibracijske baze Geodetskog fakulteta u Zagrebu invarskim žicama. Geodetski list, 10–12, 291–295.
- Novaković, G., Ivković, M. (1999): Control of measurement precision by application of the repeatability criterion. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 3, 95–99.
- Solarić, N. (1980): Fotoelektrični uređaj za registraciju prolaza zvijezda. Doktorska disertacija, Zbornik radova, Geodetski fakultet, Niz B – disertacije, svezak br. 6, Zagreb.

- Solarić, N., Špoljarić, D. (1992): Poklon firme Leica Aarau (bivša firma Kern). Geodetski list, 4–6, 207.
- Šimičić, K. (1986): Prilog ispitivanjima funkcije durbina geodetskih instrumenata. Doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Šimičić, K. (1992): Abhängigkeit der Meßgenauigkeit mit Fernrohren an geodätischen Instrumenten von der Okularlage. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 7, 297–304.
- Šimičić K. (1996): Einfluss der Beleuchtungsänderung auf die Genauigkeit der Richtungsmessung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 10, 384–387.
- Šimičić, K. (1999): Richtungsfehler durch Sichthindernisse. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 8–9, 300–302.

## **The Development of the Scientific and Teaching Area of Measurement and Measuring Instruments in the Geodetic Institute of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb**

*ABSTRACT: The paper gives a concise overview of the development of the scientific area of measurement and measuring instruments in the Geodetic Institute, emphasizing the significance of teaching activity in this area and in the development of the measuring laboratory as a research and testing unit.*

*Key Words: measuring laboratory, measuring technique.*

*Primljeno: 2001-12-18*