

UDK 528.5:65.011.56

Pregledni rad

AUTOMATIZACIJA GEODETSKIH MJERENJA (PROBLEMI I MOGUĆNOSTI)

Dušan BENČIĆ, Zlatko LASIĆ — Zagreb*

1. UVOD

Izuzetno dinamični razvoj u posljednjih desetak godina na svim područjima geodetske instrumentalne tehnike i obrade podataka mjerenja, ne samo primjenom elektroničkih komponenata, već i njihovom minijaturizacijom, doveo je do značajnih mogućnosti uvođenja viših stupnjeva automatizacije, a koji nas vode do »inteligentnih« mjernih sistema. U takvom razvoju često nam zastaje dah, no u tom ushićenju oči su nam preširoko otvorene i gledajući neslućene mogućnosti, možemo izgubiti osjećaj za realnost i racionalnost. Uz činjenicu, da se u instrumente uvode i novi materijali, uz nove tehnologije izvedbe, stječemo pogrešno uvjerenje, da novi (posebno elektronički) mjerni instrumenti rade bespogrešno, odnosno, da mikroračunalo može sve pogreške korigirati u granicama date točnosti instrumenta. Tome pridonosi siguran digitalni pokaz rezultata s visokim razdvajanjem, te mogućnosti samokontrole, pa nam se čini, da je dovoljno samo podešavanje instrumenta i pritisak na ispravno dugme, a dalje se sve odvija automatski. Druga je opasnost primjene novih mjernih sistema i automatizacije u tome, da budemo što brži u primjeni novog, a da izgubimo iz vida ekonomičnost i svrsishodnost. Zbog toga stručnjak, kao organizator rada, njegovo znanje i sposobnost, i ubuduće će igrati dominantnu ulogu u svim mjernim procesima. To je i razlog, što će u prvom dijelu ovog prikaza biti značajnije istaknuti problemi u primjeni novih mjernih instrumenata i automatizacije.

Pođimo od prve značajne optičko-mehaničke automatizacije — primjenom kompenzatora nivelira Ni 2 iz Oberkochena sa malom prizmicom koja njiše ovješena na četiri niti. U početku takav kompenzator nije bio ni zamišljen za precizna niveliranja. Međutim, izuzetno uspješan u praktičnoj primjeni, uz znatno skraćenje, mjernog procesa i olakšanje rada opservatora, uzrokovao je nagli razvoj automatske kompenzacije, ne samo primjenom različitih konstruktivnih rješenja već i točnosti kompenzacije u iznosima $\pm 0'',1$, tako da su niveliri s kompenzatorima primjenjivani i pri nivelmanu I reda.

Izgledalo je, da niveliri s libelama više nemaju budućnosti. Međutim, na XVI. Kongresu FIG-e u Montreuxu 1981. W. E. Rumpf i H. Meurisch izvješta-

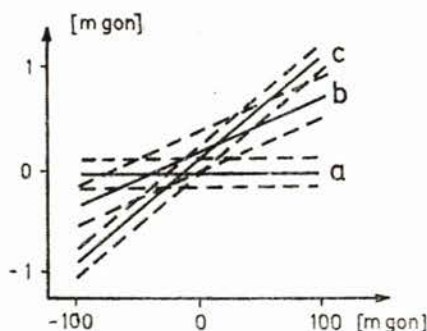
* Adresa autora: Prof. dr Dušan Benčić, mr Zlatko Lasić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

vaju o svojim laboratorijskim i terenskim ispitivanjima nivelira s kompenzatorima, posebno nivelira visoke točnosti Ni 1 iz Oberkochena [5], a primjenjivanih na radovima najviših točnosti. Kako su se u mjerenjima pojavili neobjašnjivi sistematski utjecaji, to su izvršena ispitivanja utjecaja magnetskih polja, a posebno zemaljskog magnetizma na položaj vizurne linije. Na osnovi komparativnih laboratorijskih i terenskih ispitivanja moglo se time objasniti sistematske nesuglasice u iznosima veličine do 1,5 mm/km. Autori zaključuju, da sve dok industrija ne proizvede nove tipove kompenzatora neovisnih o utjecaju magnetskih polja, to se pri nivelmanu I reda trebaju i dalje primjenjivati niveliri s libelama. To isto vrijedi i za mjerenja visokih točnosti u inženjerskoj geodeziji i industriji, gdje se osim zemaljskog magnetizma mogu pojaviti i utjecaji drugih elektromagnetskih polja.

U nivelira s libelama i hidrostatskom nivelmanu nema utjecaja magnetskih polja, no mjerni proces je dulji, što ima opet druge posljedice. Sada se radi na tome, da se konstruira nivelir s mikroprocesorom i automatskim horizontiranjem, a koji bi bio sinteza nivelira s libelom, odnosno kompenzatorom.

Magnetska polja, naravno, utječu i na njihala (kompenzacijske elemente) u teodolitima, no nisu poznata ispitivanja u tom smislu. Međutim, u svih kompenzatora postoji jedan osnovni nedostatak, a to je netočnost kompenzacije u čitavom radnom području kompenzatora, a koju nazivamo pogreškom kompenzacije.

Poznata su brojna ispitivanja nivelira u tom smislu, kao i preporuke o načinu rada i potrebnoj točnosti horizontiranja. Ispitivanja funkcije kompenzatora elektroničkih tahimetara pokazala su, da pri poprečnom nagibu u odnosu na smjer viziranja dolazi do pogrešaka koje su veće od datih točnosti mjerenja kuta. Na sl. 1 prikazane su pogreške kompenzacije sekundnog elektroničkog tahimetra TOPCON ET-1, prema [6], kompenzatora s tekućinom, analogne građe kao i u elektroničkog teodolita KERN E1 i E2. Kod elektroničkih teodolita i tahimetara koji imaju posebnu građu krugova u svrhu digitalnog očitavanja, odnosno automatske registracije kutova također postoje pogreške podje-



Sl. 1. Pogreška kompenzacije elektroničkog teodolita TOPCON ET-1 pri različitom nagibu vertikalne osi

- a) nagib osi u vizurnoj ravnini
- b) nagib osi u smjeru 25 gon u odnosu na vizurnu ravninu
- c) nagib osi u smjeru 50 gon

le kruga, koje se u nekim konstrukcijama i ne mogu izraziti na klasičan način, ali se očituju u pogrešci smjera određenog položaja alhidade. Ispitivanja prikazana u [6] pokazala su, npr. u elektroničkog tahimetra ZEISS Elta 2S sa kombiniranim kodirano-inkrementalnim krugovima, amplitudu pogreške podjele u iznosu 0,4 mgon (1 mgon = 3,24") tako da može doći do sistematske pogreške kuta i u iznosu 0,8 mgon. Pogreška se ne može smanjiti zakretanjem kruga za određeni iznos, jer ono nije moguće. Interesantno je i poučno, da dinamičko integrirano mjerenje kuta na brojnim mjestima čitavog limba, kao što je to kod elektroničkog teodolita WILD T2000 i elektroničkog tahimetra AGA Geodimtar 140 nije eliminiralo mogućnost sistematske pogreške pravca uzrokovane sistemom očitavanja, a što ne bismo očekivali, posebno čitanjem prospekta. Tako su ispitivanja elektroničkog tahimetra AGA Geodimtar 140 pokazala cikličku periodičku pogrešku smjera pri mjerenjima horizontalnog kuta sa amplitudom do 0,6 mgon [6], a uzrokovanu nesimetričnostima u djelovanjima izmjeničnih induciranih napona. Naročito nepovoljan je vremenski utjecaj na funkciju elektroničkih sklopova, odnosno vremenski hod električnih veličina, a što uzrokuje promjenu amplituda periodičkih pogrešaka. Tako je npr. pri ispitivanjima elektroničkog teodolita WILD T2000 ustanovljena sistematska pogreška smjera u maksimalnom iznosu 4 mgon/sat u ovisnosti o temperaturnim promjenama [6] (vanjska temperatura pri početku mjerenja 5°C, uz temperaturu instrumenta 20°C). Interesantno je, da su ispitivanja optičkih teodolita pokazala priličnu vremensku stabilnost ispitivanih pogrešaka podjele limba, odnosno optičkog mikrometra, te se smatra, da u posljednjoj generaciji ovih instrumenata ne prelazi veličine desetine mgon [6].

Poznati su i problemi poznavanja adicione »konstante« elektroničkih daljinomjera, koja je značajno ovisna o udaljenosti, a vrlo složenih uzroka. Tako razlikujemo periodičke kratkovalne i dugovalne cikličke pogreške u odnosu na mjerene daljine, te aperiodičke pogreške poznate pod nazivom nehomogenosti modulacijske faze, a pri kojima mjerna vrijednost duljine ovisi o geometrijsko-optičkom putu svjetlosnog vala, a to znači i o smjeru viziranja. Ispitivanja su pokazala i temperaturnu ovisnost adicione konstante, kako kod faznih, tako i najnovijih impulsnih daljinomjera, a što uzrokuje pogreške duljine veće od naznačenih točnosti.

Sve to ukazuje na *potrebu čistih* i vrlo stručnih *ispitivanja* i kalibracije suvremenih elektroničkih instrumenata s jedne strane, a s druge strane na *ne-svrshodnost programiranja* i automatske korekcije nekih pogrešaka u preciznih kutomjernih instrumenata, budući da će vremenske promjene konstanti neizbježno uzrokovati pogreške u rezultatima mjerenja.

Tu već dolazi i pitanje svrshodnosti kompenzacije instrumentalnih pogrešaka putem softvera općenito, a što se već u novije vrijeme uvodi. Problemi su, ne samo u mogućnostima pogrešaka u programu, već i popravka instrumenta, posebno pri izmjenama elektroničkih dijelova. Nakon popravka i justaže instrumenta moguće je, da međusobno nisu usklađeni softver i hardver. Npr. nakon servisnog popravka »totalne mjerne stanice« HP 3820 pokazala se pogreška smjera u iznosu 1 gon [6]. Ukoliko se radi o grubim pogreškama, one se mogu ustanoviti, no problemi nastaju, kad se radi o pogreškama koje se ne mogu otkriti jednostavnim postupcima ispitivanja.

Dobra su rješenja gdje postoji mogućnost isključenja automatizacije, kao npr. u elektroničkog teodolita KERN E2, gdje se može isključiti funkcija dvoosnog kompenzatora, no to u konstrukcijama gdje su kompenzirane instrumen-

talne pogreške primjenom softvera nije moguće. Vjerojatno će niz elemenata u bližoj budućnosti, nakon stečenih iskustava, biti bolje riješeno, budući da se stručnjaku u ovisnosti o situacijama i točnosti mjerenja mora ostaviti mogućnost odlučivanja. Pogrešno je, kad je on potpuno isključen iz tako složene procesa kao što su geodetska mjerenja. Problemi mogu biti u tom smislu to veći, što je viši stupanj automatizacije.

I tu dolazimo do osnovnog problema ne samo automatike, već i šire, informatike, a to je *uloga čovjeka*, što smo već uvodno naglasili. To je *odnos čovjeka* i stroja, instrumenta, integriranih sistema, koji višim stupnjevima automatizacije dobivaju sve samostaliju ulogu u radnom procesu. Tu dolazimo do određenih suprotnosti. Ti sistemi umanjuju ulogu čovjeka i zamjenjuju čovjeka, no upravo su zbog toga tu, da *služe čovjeku* i to na najkorisniji i najsigurniji način, a to je moguće samo onda, kad čovjek iz tih procesa nije isključen. Obrada informacija u svakom slučaju polazi od čovjeka i mora naravno biti i svrsishodna, a svi sudari s ljudskim duhom osvećuju se automatski i brzo [7].

2. MOGUĆNOST, SVRHA I PERSPEKTIVA PRIMJENE SISTEMA VISOKOG STUPNJA AUTOMATIZACIJE U GEODETSKIM MJERENJIMA

Vrlo široka problematika postavlja se uvodnim pitanjem u prvom redu kako trebaju izgledati ovi automatizirani sistemi, odnosno na kojem mjernom principu i metodi bazirani? Da li su to mjerne stanice s klasičnim principima izmjere, ili neki automatski upravljani mjerni strojevi drugih načina izmjere? Istaknuti geodetski stručnjaci više puta su ukazivali na nužnost iznalaženja novih metoda i kritizirali hodanje u razvoju po utabanim tradicionalnim putovima [1]. To je u skladu i s mislima V. Muljevića, a koje smo istakli u prethodnom članku, posebno kad se radi o automatiziranim sistemima.

Sva poboljšanja instrumentalne tehnike, kao i automatizacija izmjere bazirani su do sada na tradicionalnim principima izmjere na terenu, izuzev fotogrametrijskih metoda koje su, međutim, izmjeru terena prenijele u geodetski biro. Ideja o mogućim strojevima, koji bi se kretali po terenu i snimali, stara je pedesetak godina (PFITZER), no daleko je od ostvarenja iz praktičnih razloga [1]. No kad »stroj« za snimanje terena podignemo u zrak, tu smo već pri metodama i razvoju fotogrametrije. Ipak, mjerne platforme sa složenim mjernim instrumentima koje se kreću po terenu, vodi ili zraku, pojavile su se u geodeziji pod nazivom *inercijalnih sistema*, no u svrhu određivanja pozicije i visine udaljenih točaka, a ne neposredne izmjere. Međutim, za daljnji razvoj geodetskih metoda i izmjere od izuzetnog je značenja razvoj satelitske geodezije (od 1958.) za određivanje pozicija točaka na Zemlji. Već treća generacija opažanja satelita u geodetske svrhe s nazivom GPS (Global Positioning System) omogućava točnosti veličine centimetara, a vrijeme opažanja je znatno reducirano. Opažanja putem satelita i inercijalni sistemi primijenjeni u kombinaciji izazvat će revolucionarne promjene u metodama mjerenja i sve će više nadomještati klasične metode određivanja pozicija točaka, toliko ovisne o uvjetima mjerenja i dogledanju točaka, a svesti klasičnu izmjeru na *relativno mala područja* uz visok stupanj automatizacije.

Sistemi višeg stupnja automatizacije mogu se primijeniti u većem broju praktičnih zadataka npr.:

1. zadaci izmjere zemljišta i katastra,

2. promatranje kinematike određenih područja uslijed djelovanja čovjeka ili prirodnih sila,
3. iskolčenje i kontrola značajnih građevinskih objekata, te postrojenja,
4. određivanje položaja pokretnih objekata i ciljeva.

U ovom prikazu razmatrat ćemo samo mogućnosti automatizacije na osnovi klasičnog principa izmjere primjenom polarne metode koja se najviše razvila i za koju je poznato, da je u te svrhe najprikladnija, kad se radi o geodetskim metodama izmjere, a moguće ju je vrlo korisno primijeniti u rješavanju navedenih zadataka. Spomenimo, da postoje ideje o automatizaciji polarnog snimanja na taj način, da se s točaka cilja daljinskim upravljanjem upravlja s instrumentom bez opažača. Takav automatizirani oblik mogao bi se primijeniti svakako za prvo navedeni slučaj, ali ne bi mnogo mijenjao na načinu klasične izmjere, osim redukcije stručnjaka na instrumentu. Prema tome, očitu prednost imaju automatizirani polarni sistemi sa signalizacijom čitavog polja ciljnih točaka i potpuno automatskim radom instrumenta. Pri ispitivanju i kontroli objekata takvi automatizirani polarni geodetski sistemi mogu se primijeniti svrsishodno, a posebno pri ispitivanjima pomaka zemljine kore uslijed djelovanja geodinamičkih sila, vode, gravitacije i sl.

Poznato je npr. da se pri kontroli objekta ili postrojenja mogu primijeniti automatizirane električne metode, no u pravilu s manjom relativnom točnošću od geodetskih metoda. Također je poznato, da se za primjenu geodetskih poslova treba objekt što bolje predočiti sistemom točaka kojih položaj treba odrediti i kontrolirati kako međusobno, tako i u odnosu na čvrste točke s kojih se opaža instrumentom.

Automatizacija višeg stupnja racionalna je općenito u slučajevima kada se mjerenja moraju ponavljati kao npr. u slučajevima 2. i 3. To će biti dakle, u slučajevima lagano pokretnih točaka, te svakako u slučaju 4., kad se radi o brzo pokretnim ciljevima.

Automatizacija visokog stupnja ima *naročite prednosti* kada je, npr. u posebno ugroženim područjima, vremenska perioda ponavljanja mjerenja mala i kada se čestim ponavljanjima može jasno predvidjeti opasnost, odnosno ugroženost ljudskih života i imovine. U tom slučaju vrlo je značajno, što takav sistem može automatski emitirati i alarmne signale.

Danas već imamo na raspolaganju geodetske mjerne sisteme koji omogućavaju kontinuirani tok podataka od automatske registracije do izrade planova i karata, odnosno registra točaka, a baziranih na modularnoj građi. Postoje i elektronički tahimetri koji automatski prate pokretnu točku cilja (npr. AGA Geodimeter, 1983.). No za *automatsko viziranje* durbinom nismo do sada imali uređaja koji bi se uspješno primijenio. Tvornica ASKANIA — Berlin proizvela je, doduše, elektroničko oko (1958.), ali ono je samo zamjenilo oko, ali ne i ulogu čovjeka pri viziranju, te se i unatoč postignutih povoljnih rezultata nije iz više razloga afirmiralo. No to i nije bilo automatsko viziranje. Jer nije u pitanju samo zamjena uloge oka opažača, što i samo po sebi nije jednostavno, već potpuna automatizacija procesa.

Međutim, u novije vrijeme, posebno na Geodetskom instituta Univerziteta u Hannoveru ekipa stručnjaka vrlo intenzivno radi na rješavanju tog problema, te o tome imamo i informacije u stručnom tisku sa opisanim prototipovima sistema [3] i [4].

2.1. Grada sistema

Osnovni princip u građi automatskog mjernog sistema je u modularnoj građi, koja se u primjeni sistema do sada afirmirala. To znači, da do složenog i skupog automatskog sistema trebamo doći kombinacijom modula — jedinica, koristeći instrumente koje već imamo na tržištu uz, naravno, odgovarajuće dopune na viši stupanj automatizacije.

Hardver polarnog automatskog mjernog sistema treba sadržavati:

— elektronički tahimetar s automatskom registracijom s motorima za automatsko okretanje oko osovina, te elektroničko računalo za upravljanje, kao osnovne dijelove, a prema zadatku i druge module, kao npr.:

- sat, koji je najčešće u računalu, u svrhu prekida rada računanja u određenim vremenskim intervalima, kako bi se prema utvrđenom redoslijedu izvodila pojedinačna mjerenja,
- automatski crtač za prvi grafički prikaz,
- modul za memoriju podataka,
- meteorološke mjerne instrumente s priključkom na računalo, s telemetričkom vezom udaljenih točaka,
- telemetričku vezu za prenos podataka na cilj,
- izvor energije za rad sistema uz osiguranje kontinuiranog pogona bez prekida.

Ovim modulima treba pridodati odgovarajuću programsku podršku.

2.2. Automatsko viziranje i funkcija sistema

Temeljna razlika automatskih sistema visokog stupnja automatizacije u odnosu na dosadašnje automatske sisteme je u primjeni automatskog viziranja točaka, dakle, bez uloge opažača.

Problem automatskog viziranja točaka nešto je drugačiji nego pred desetak godina, kada se računalo na dulje vizure i u tom slučaju na značajno veće utjecaje vrlo promjenljivih stanja atmosfere, posebno rasvjete i refrakcije. U složenim promjenljivim uvjetima pri dugim vizurama vrlo je teško zamijeniti oko opažača izuzetnih fizioloških svojstava kao što su adaptacija i fiziološki kontrast. Veći je problem i postavljanja i održavanja signaliziranih točaka. Kako se sada u novim uvjetima razvoja metoda mjerenja i mjerne tehnike, automatsko viziranje svodi na relativno kratke vizure, to je zamjena oka opažača moguća, no to zahtijeva dodatne module durbinu i tahimetru za automatsko viziranje. Time i sam problem nije riješen, jer *samo tehničko rješenje* automatskog »raspoznavanja« ciljne točke zatim viziranja *nije dovoljno* za praktičnu primjenu automatskog polarnog mjernog sistema. To bi bila tek *prva razvojna stepenica*.

Vanjske smetnje, kao što su dulji ili kraći prekid vizure, pojava prašine, magle i dima, utjecaji promjenljivih atmosferskih uvjeta, eventualni nestanak ciljne »marke«, ili nestanak struje i sl., izbacile bi brzo sistem izvan pogona.

U *drugoj razvojnoj* stepenici mora se, dakle, sistemu putem softvera dati sva ona *iskustva* koja ima u tim slučajevima opažač. Ova razvojna stepenica daje prema tome sistemu jedan *oblik »inteligencije«* i tako dolazimo do »inteligentnih mjernih sistema« budućnosti. «Inteligentni mjerni sistem« mora razlikovati kratkotrajne (npr. oblak prašine) od dugotrajnih smetnji. Potpuno

drugačije mora sistem reagirati na jače promjene refrakcije koje mogu pomaknuti ciljnu točku iz zadanog pravca, u odnosu na mogućnost, da je ciljna točka npr. udaljena ili čak uništena.

Posebni je problem pronalaženje markiranih točaka cilja. »Inteligentni sistem« današnjih mogućnosti neće automatski pronaći točke, *ako nema osnovne podatke* o položaju točaka date u programu mikroprocesora. To znači da u memoriju moraju biti unijete, ili koordinate točaka (što znači, da su već prethodno izvršena mjerenja i računanja, ili horizontalni i vertikalni kut svake točke u odnosu na referentni pravac, a to znači, da opažač mora izvršiti tzv. *nulto mjerenje*.

No i to nije dovoljno, «inteligentni sistem» treba znati analizirati izvršena mjerenja. Ukoliko se radi o mogućim pomacima ciljnih točaka, sistem bi se trebao u ponovljenim mjerenjima koncentrirati na ona područja gdje su pomaci veći, te i ubrzati, u tom slučaju, slijed reduciranih opažanja na uže područje, sve do signalizacije alarma u kritičnom slučaju.

Očito je, da problemi visokog stupnja svrsishodne automatizacije geodetskih mjerenja nisu tako jednostavni i da nisu dovoljna samo tehnička rješenja, a koja su i sama po sebi složena.

Treća razvojna stepenica je razvoj specifičnih programa, kao što su programi za iskolčenje točaka, za analize pomaka i deformacija, programi specifičnih izmjera itd.

Promatrano u cjelini, sistem visokog stupnja automatizacije mora imati slijedeće automatske tokove [4]:

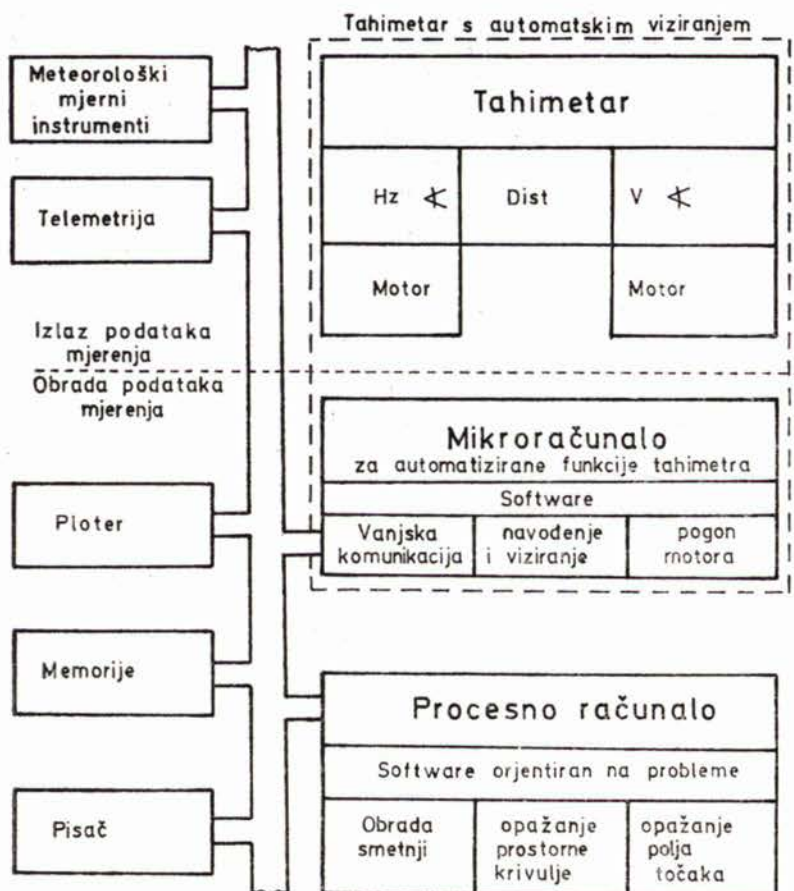
- izbor trenutka mjerenja
- izbor vizurne točke,
- navođenje instrumenta, odnosno durbina na točku i viziranje,
- mjerenje,
- registracija mjernih podataka,
- interpretacija mjernih podataka,
- određivanje daljnjeg toka mjerenja.

Za automatsko pokretanje oko obje karakteristične osovine ugrađuju se servomotori upravljani pomoću mikroprocesora.

Na sl. 2 prikazana je modularna građa »inteligentnog« polarnog mjernog sistema prema H. Kahmenu. Automatsko viziranje moguće je realizirati različitim konstrukcijama. Navedimo one koje su aktualne u sadašnjem razvoju.

2.2.1. Viziranje detekcijom maksimalnog intenziteta povratnog signala

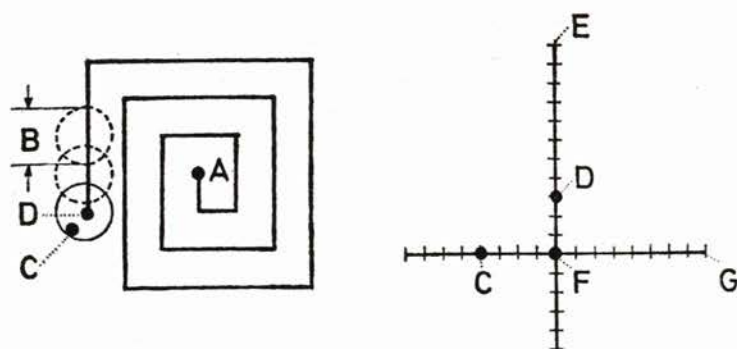
Mikroprocesor pomiče pomoću motora os durbina elektroničkog daljinomjera. U prvoj fazi upravlja os oko točke cilja putanjom pravokutnog spiralnog oblika (sl. 3), uz stalno mjerenje intenziteta povratnog signala. Idući od središnje točke A, ispituje na taj način područje ciljne točke (prizma kao reflektor) sve dok ne registrira povratni signal reflektora (analogija s grubim optičkim viziranjem). U drugoj fazi pomiče se os naizmjenično u smjeru horizontale ili vertikale, sve dok se ne registrira maksimalni intenzitet povratnog signala (analogija s finim optičkim viziranjem) i informacija prenosi u ra-



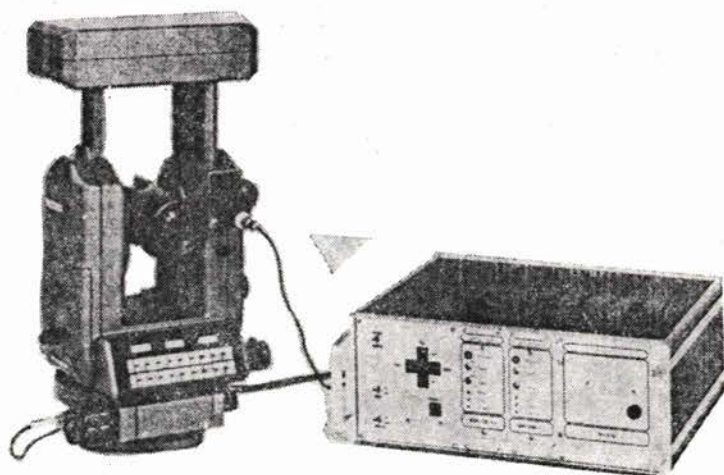
Sl. 2. Moduli »inteligentnog« polarnog mjernog sistema

čunalo, tako da mikroprocesor može nastaviti daljnjim nalogom za mjerenje. Ukoliko u prvoj fazi pri traženju u ograničenom području nije uočen povratni signal, procesor će poslati računalu informaciju o pogrešci i nastaviti s daljnjim mjerenjem.

Kako je područje viziranja ograničeno, moguće je, u do sada realiziranim kontstrukcijama, opažati polje točaka sa pomakom do nekoliko cm/min. (GEO-ROBOT [3]). Točnost viziranja nije visoka. Ovaj sistem je primijenjen u realizaciji GEOROBOT-a u svrhu ispitivanja promjene udaljenosti točaka s vanjskom točnosti mjerenja udaljenosti od 3 do 4 km cca ± 6 mm, uz mogućnosti mjerenja ispitnog polja sa više od 100 točaka. Georobot su realizirali H. Kahmen i suradnici na Geodetskom institutu Univerziteta u Hannoveru sa slijedećim osnovnim modulima: AGA GEODIMETER 710, WILD DI 4L, Mikroprocesor Z 80 i računalo HP 9845. Pozitivni rezultati mjerenja sa prototipom Georobota rezultirali su i industrijskom proizvodnjom ovog sistema (sl. 4).



Sl. 3. Automatsko viziranje pri laganom pomaku ciljne točke. A — točka starta; B — promjer stošca snopa zraka; C — traženi reflektor; D — završna točka prve faze grubog viziranja; E — vertikalni smjer traženja maksimuma; F — vertikalni maksimum; G — horizontalni smjer traženja maksimuma; H — horizontalni maksimum (reflektor)



Sl. 4. — Modularni sustav GEOROBOT tvornice WILD (moduli: teodolit T 2000 sa daljinomjer DI 5 i računalo IBM-PC-XT)

2.2.2. Viziranje vibracijom

Fotoelektrični detektor se sastoji od fotoćelije i vibrirajućeg okvira koji se nalazi u ravnini slike vizurnog objekta, a upravljanog pomoću vibratora. Kada je okvir pozicioniran tako, da titra oko realne slike intenzitet signala primljenog s fotoćelije će varirati. Taj signal dolazi u frekventni diskriminator koji u slučaju asimetrije, radi nepoklapnja s referentnom frekvencijom, daje izlaznu istosmjernu struju s definiranim polaritetom, a koja pokreće servomotor i time vibrirajući okvir. Kada je okvir pozicionaran simetrično oko realne slike (izvršeno fino viziranje) diskriminator daje nulti izlaz i servo motor prestaje s radom. Za grubo viziranje, nalazi se u sklopu sistema uređaj za automatsko navođenje vibrirajućeg okvira do realne slike koja radi na osnovi

elektroničnog signala amplitude i polariteta ovisnim o razmaku okvira i realne slike. Električna energija potrebna, da se okvir dovede u poziciju kad je taj razmak zanemariv i kad funkciju preuzima fino mjerenje, mjera je za veličinu pomaka koja se registrira digitalno na pokazivaču. Mjerno područje automatskog viziranja je vrlo malo, ali je točnost izuzetno visoka.

Uređaji za automatsko viziranje vibracijom realizirani su i u serijskoj proizvodnji, ali za industrijska mjerenja u svrhu mjerenja vrlo malih kutnih odstupanja pomoću autokolimatora. Tako npr. Hilger WATTS (Engleska) proizvodi automatske autokolimatore:

	Mjerno područje	Direktno očitavanje	Točnost za čitavo mjerno područje
TA 80	$\pm 15''$	0,"1	0,"25
TA 81	$\pm 30''$	0,"1	0,"5
TA 82	$\pm 150''$	0,"5	2,"5

Uočljivo je, što je mjerno područje veće, točnost mjerenja je manja.

Za viziranje se koristi posebno osvijetljena pukotina (razrez), ugrađena u sustemu autokolimatora. Isti sistem moguće je koristiti i za običan durbin za viziranje na sličan objekt, ali je naravno doseg malen i mjerno područje malo, a uređaj skup, jer se mora zahvatiti šire u konstrukciju instrumenta.

Međutim, sam princip automatskog viziranja vibracijom je izuzetan i moguće je, da će realizirati uz druga tehnička rješenja grubog viziranja i za geodetska mjerenja.

2.2.3. Viziranje izjednačavanjem jakosti signala simetrično raspoređenih fotodioda

Ciljna točka se markira jakim svjetlosnim signalom, npr. u najjednostavnijem slučaju živinom lampom u žarišnoj ravnini optičkog sistema. Iza okulara tahimetra postavlja se modul s fotodiodama raspoređenim u četiri kvadranta, a u obliku segmenta kruga. Četiri diode raspoređene su simetrično a nalaze se na zajedničkoj silicijskoj pločici. Čitav sistem dioda zamjenjuje oko opažača, no sa samo 4 receptora, a radi na sličnom principu kao i npr. detektor nagiba vertikalne osi KERN E2. Sa 100 Hz modulirani svjetlosni snop cilja pada na detektor. Ako je intenzitet svjetlosnog signala na jednom segmentu fotodiode veći negoli na drugom, to nakon pojačanja i obrade servomotor zakreće durbin dok više nema registrirane razlike jakosti signala tj. kada je slika izvora — svjetlosna mrlja u središtu, tzv. nul-točki detektora.

Točnost automatskog viziranja nije visoka, jer tako jednostavan detektor s 4 receptora ne može zamijeniti kvalitetu oka opažača s foveolom na kojoj se u središnjem dijelu na površini 0,1 mm nalazi oko 2500 receptora.

Može se primjeniti za ispitivanje pozicije i određivanje kursa brzopokretnih objekata, za sada do udaljenosti 800 m. U slijedećoj verziji povećat će se značajno doseg primjenom reflektora na cilju s automatskim navođenjem. Informacija za navođenje reflektora dobit će se iz izmjerenog položaja cilja i smjera kretanja [4].

Novi razvojni putovi digitalnog snimanja slike i digitalne obrade signala u skoroj budućnosti donijeti će nova konstruktivna rješenja.

Ovdje se moramo vratiti na revolucionarne promjene u geodetskim mjerenjima koje će nastati uvođenjem i primjenom GPS-sistema (Global Positioning System) s novim programom opažanja umjetnih satelita. Već se sada nalaze u predviđenim putanjama u udaljenosti 20 000 km od Zemlje 9 prototipa satelita, a od njih 6 i za geodetska mjerenja. Do 1990. godine predviđa se 18 satelita s vremenom kruženja 12 sati, tako da će se svugdje bar 4 satelita nalaziti iznad horizonta za opažanje u svrhu određivanja pozicije točaka u geocentričkim koordinatama. Pri tzv. diferencijalnim opažanjima određivanjem međusobnog relativnog položaja točaka eliminacijom niza sistematskih pogrešaka postižu se već točnosti unutar centimetra [2]. To znači, da će se ubuduće referentne točke izmjere određivati neposredno, bez potrebe međusobne optičke vidljivosti točaka, bez potrebe postavljanja točaka na teško pristupačna mjesta, na vrhove brda i planina, a što će iz temelja promijeniti načine postavljanja geodetskih mreža. Time bi i osnovni koncept: trigonometrička mreža — poligonska mreža — detaljne točke otpao. GPS-prijemnike moguće je postaviti na karakteristične točke, te uz automatizaciju mjerenja prenositi podatke bežičnim putem do centralnih mjesta automatske obrade podataka. To spominjemo zbog toga, jer je i na taj način moguće ubuduće provesti automatsku kontrolu kritičkih pomaka zemljine kore ili građevinskih objekata, što bi ili zamijenilo, ili dopunilo klasičnu automatiziranu metodu polarnog snimanja za koju su potrebne vizuelne veze točaka. Ispitivanja već idu tako daleko, da se analizira i mogućnost određivanja detaljnih točaka centimetarske točnosti putem GPS-prijemnika (Remondi B. W.: Performing Centimeter-Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase; Initial Results, Rockville, 1985).

Razvijena je već druga grupa GPS-prijemnika npr. T1 — 4100 (Texas Instruments, cca 400.000 DM), Wild - MAGNAVOX WM 101 (cca 330.000.- DM). Prijemnici su još vrlo skupi, no sigurno je, da će brojnijom proizvodnjom i znatno pojeftiniti. Na tom području očekuje se dalji razvoj s visokim stupnjem automatizacije.

Što se tiče opažanja satelita spomenimo i razvoj velikih laserskih teleskopa koji rade na impulsnom režimu, a mjere udaljenosti centimetarskom točnosti. Npr. MTLRS ima promjer objektiva 40 cm i masu s laserom 150 kg. S takvim teleskopima izvode se i terestrička mjerenja pri određivanju duljina baza preko 100 km. Laserski impulsni daljinomjer za udaljenosti do 14 km proizvela je tvornica WILD pod nazivom DI 3000. Uz standardnu devijaciju $\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km})$ i trajanje mjerenja samo 0,8 s. može se posebno primijeniti za mjerenje udaljenosti pokretnih ciljeva uz automatsku registraciju podataka. Sa modelom DIOR 3002 moguće je mjeriti udaljenosti do 250 m bez reflektora na cilju centimetarskom točnosti.

Na kraju spomenimo i brojna nastojanja automatizacije geometrijskog nivelmana. Poznato je, da u tom području postoje posebni problemi zbog samog principa mjerenja visinske razlike na osnovi neovisnih očitavanja dvije mjerne letve. Iz tog razloga prijedlog za razvoj tzv. digitalne letve (H. Zetsche, 1966.) nije se realizirao u praktičnoj primjeni. Sa različitim uspjehom primijenjena je i laserska tehnologija no nestabilnost laserske zrake nije omogućila visoke točnosti. W. Caspary i suradnici (Ein Beitrag zur Automatisierung des geometrischen Nivellements, ZfV 8/1986.) predlažu djelomičnu automatizaciju daljinskim upravljanjem vizurne marke na letvi uz digitalno očitavanje. Okretanjem dugmeta na instrumentu, slično kao i pri okretanju dugmeta optičkog mikrometra dovodi se vizurna marka u nit nitnog križa durbina. U tu svrhu nivelir

ima dodatnu elektroničku jedinicu s odašiljačem i prijemnikom. Okretanjem dugmeta odašilje se digitalni signal koji upravlja motorom za pomak glave s vizurnom markom. Na letvi više nema klasične podjele, već posebni analogno — digitalni sustav s nizom vrlo preciznih kuglica promjera 13 mm. Nakon izvršenog viziranja pomakom marke na letvi (usporedimo to s davno konstruiranim Heronovim dioptrinom!) na pokazivačima letve i nivelira dobivamo digitalno očitavanje letve, što je moguće i automatski registrirati.

Međutim, za automatizaciju mjerenja visinskih razlika znatno je pogodnije trigonometrijsko mjerenje visinskih razlika, budući da se visinska razlika određuje na osnovi jednog viziranja i očitavanja. No točnost mjerenja ovom metodom bila je znatno ograničena zbog utjecaja atmosferske refrakcije. Razvoj novih tehnologija na tom području unosi značajne promjene. U SAD se pojavljuje RPLS (Rapid Precision Levelling System) gdje se zamjenjuje precizni geometrijski nivelman sa trigonometričkim sustavom uz eliminaciju utjecaja refrakcije. Stručnjaci tvornice WILD Heerbrugg najavljuju novu seriju tzv. »disperzijskih instrumenata« najviših točnosti uz eliminaciju atmosferskih utjecaja refrakcije, a što će znatno utjecati na daljnji razvoj instrumentalne tehnike i automatizacije mjerenja.

Pri automatizaciji metoda mjerenja neće ubuduće biti pri ruci samo elektroničko terensko računalo i registrator već priručni kovčeg s osobnim računalom i ekranom, pa će se brojna računanja i obrada podataka izvršiti na samom terenu, što će znatno smanjiti broj naknadnih izlazaka na teren. Kako se s računalom u kovčegu ne može neposredno rukovati, to će se na teodolitu predvidjeti sustav — terminal za vezu s računalom i obratno putem tastature i malim ekranom za pregled poslanih odnosno primljenih informacija. Naravno, da će se računalo moći koristiti i neovisno od teodolita, a njegov ekran za pregled podataka mjerenja. Prije rada na terenu upisat će se u memoriju računala svi potrebni podaci za rad od potrebnih koordinata do grafičkog prikaza, na ekranu s potrebnim informacijama, a sve nove informacije na osnovi mjerenja i obrade putem računala, prenijeti će se u informacijski sustav u uredu.

3. ZAKLJUČCI

Izuzetno dinamički razvoj geodetskih mjernih instrumenata, posebno na području elektronike, te razvoja automatizacije sve do pojave »inteligentnih« mjernih sistema, donio je stručnjacima ne samo neslućene mogućnosti u primjenama novih metoda i tehnike mjerenja, već i stavio pred njih izuzetne zadatke. Uloga i funkcija stručnjaka se ne pojednostavljuje, suprotno, ona postaje složenija u izboru i iznad svega u racionalnoj i ekonomičnoj primjeni novih automatiziranih sistema, kao i u pravilnom programiranju njihovog rada, a posebno kontroli.

Razvojem suvremenih elektroničkih geodetskih instrumenata može se uzeti da su slučajne pogreške mjerenja i nadalje smanjene, ali da su instrumentalne sistematske pogreške često i povećane, te da ih je načinom mjerenja teže uočiti, negoli pri konvencionalnim instrumentima. Korekcija sistematskih pogrešaka automatiziranih funkcija nije u potpunosti moguća zbog njihove vremenske promjenljivosti. I pri automatiziranim sistemima izuzetnu ulogu igra stručnjak, njegovo iskustvo i znanje.

Suvremene instrumente, zbog nepoznavanja ponašanja sistematskih pogrešaka neophodno je češće podvrgnuti kontroli, a posebno njihove automatizirane funkcije. Instrumenti, kod kojih je »sve« automatizirano, kako često čitamo u propektima, možemo bez većih analiza primijeniti samo za manje točna mjerenja. »Inteligentni« mjerni sistemi imaju budućnost, no stručnjak će odlučivati o racionalnosti i širini njihove primjene, kao i njihovoj kompoziciji na osnovi modularne građe. Ni u funkciji »savršenih« automatiziranih sistema ne može se zamijeniti djelovanje, kritičnost i invencija ljudskog duha.

Ovim razmišljanjima približavamo se budućim ostvarenjima koja je teško predvidjeti, jer je snaga otkrića čovjeka izvan snage naših predodžbi.

LITERATURA

- [1] Draheim, H.: Die elektronische Tachymetrie als geodätisches Messverfahren, Elektronische Tachymetrie, 12 Vorträge Oberkochener Geo-Instrumenten-Kursus, 1970. str. 9 do 16.
- [2] Gurtner, W., Beutler, G.: Die Rolle der Satellitengeodäsie in der Vermessung, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1986, 8, 336—340.
- [3] Kahmen, H., Suhre, H.: Ein lernfähiges tehymetrisches Vermessungssystem zur Überwachung kinematischer Vorgänge ohne Beobachter, ZfV 1983, 8, 345—351.
- [4] Kahmen, H., Schwäble, R., Suhre, H.: Ein »intelligents« polares Vermessungssystem für die Beobachtung statischer Punktfelder und kinematischer Vorgänge ZfV, 1984, 11, 553—563.
- [5] Rumpf, W. E., Meurisch, H.: Systematische Änderungen der Ziellinie eines Präzisions — Kompenzator — Nivelliers — insbesondere des Zeiss Ni 1 durch magnetische Gleich — und Wechelfelder, Referat XVI. Kongres ZIG-e, Montreux, 1981 Knj, 5, 1—16.
- [6] Scherer, M.: Brauchen wir heute noch Geräteuntersuchungen? ZfV 1986, 2, 49—57.
- [7] Zemanek, H.: Geodäsie und Computer, ZfV 1982, 12, 549—560.

SAŽETAK

U ovom radu prikazani su problemi, mogućnosti i perspektiva daljnjeg razvoja automatizacije geodetskih mjerenja. Posebno je istaknuta uloga stručnjaka, te značenje češće kontrole suvremenih instrumenata.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Absatz sind die Probleme, die Möglichkeit und die Perspektive der weiteren Entwicklung der Automatisierung der geodätischen Messungen dargestellt. Besonders ist die Rolle des Fachmanns, als auch die Wichtigkeit der Kontrolle der modernen Instrumente betont.