

AVTOMATIZIRANI NIVELMAN - REALNOST ALI UTOPIJA?

Koler Božo
FAGG, Jamova 2, 61000 Ljubljana

IZVLEČEK

Tehnični razvoj v zadnjih dveh desetletjih je omogočil načrtovanje in izdelavo povsem novih instrumentov. Medtem ko je pri merjenju kotov in dolžin dosežena že dokaj visoka stopnja avtomatizacije, se je princip nivelmana od začetka stoletja komaj kaj spremenil. Tako so v članku predstavljene metode in razvoj posameznih sistemov za avtomatsko zajemanje podatkov pri geometričnem nivelmanu.

ZUSAMMENFASSUNG

Die technische Entwicklung der letzten beiden Jahrzehnten führte zu völlig neuen, bzw. stark veränderten Instrumentenkonstruktionen. Während bei der Winkel- und Streckenmessung aus instrumenteller Sicht ein erheblicher Automatisierungsfortschritt erkennbar ist, hat sich das geometrische Nivellement seit Beginn dieses Jahrhunderts im Prinzip kaum geändert. Im Aufsatz sind Methoden und Entwicklung einzelne Systeme für die Automatische Datenerfassung beim geometrischen Nivellement beschreiben.

1. UVOD

Razvoj moderne tehnologije in uporaba elektronike, kot sestavni del geodetskih instrumentov, je pripeljala do avtomatiziranja številnih merskih postopkov v geodeziji. Tako nam danes geodetski instrumenti nove generacije omogočajo bistven prihranek pri času, ki ga potrebujemo za izvedbo določenega merskega postopka. Zmanjšalo se je tudi število oseb, ki jih potrebujemo pri izvedbi določenih del in ne nazadnje se je povečala natančnost same izmere. Tehnični razvoj v zadnjih dveh desetletjih je povzročil velike spremembe v konstrukciji instrumentov. Prednosti avtomatiziranih merskih postopkov so očitne - od možnosti hitreše obdelave izmerjenih količin do razbremenitve operaterja. Kljub izrednemu razvoju geodetskih instrumentov, ki je potekal v zadnjih desetletjih pa lahko ugotovimo, da je ta razvoj "obšel" postopek geometričnega nivelmana. Tako je problem avtomatskega zajemanja podatkov najslabše rešen ravno pri niveliranju. Vsa stvar sploh ni presenetljiva, saj je ta problem pri niveliranju tudi najteže rešljiv in izvedljiv. Danes ni več problem zajeti podatke, ki jih izmerimo na enem mestu (dolžino, vertikalni in horizontalni kot -

elektronski tahimeter). Problem pa nastane, ko moramo z enim registratorjem zajeti podatke, ki se nahajajo na več mestih (odčitek na mikrometru nivelirja in odčitek na nivelmanski lati).

V zadnjih letih so v Zvezni republikli Nemčiji objavili več člankov, ki obravnavajo problem avtomatskega zajemanja podatkov pri geometričnem nivelmanu in predstavljajo najrazličnejše merske sisteme za avtomatsko zajemanje podatkov pri geometričnem nivelmanu. Vendar kljub vsem naporom in znanju, ki je bilo vloženo v rešitev tega problema, do sedaj niso uspeli razviti takšen merski sistem, ki bi ga lahko uporabili v praksi. To še posebej velja za uporabo merskih sistemov za avtomatsko zajemanje podatkov pri preciznem nivelmanu. Glede na to, da v bližnji prihodnosti ne moremo pričakovati, da bi drugi merski postopki (inercialni sistem, GPS) dosegli natančnost določitve višin točk, kot jo lahko dosežemo s preciznim nivelmanom so pri razvoju avtomatskega sistema za zajemanje podatkov niveliranja ohranili osnovni merski pos-

topek, ki ga poznamo pri geometričnem nivelmanu.

2. POSTOPEN RAZVOJ METODE NIVELIRANJA DO AVTOMATSKEGA ZAJEMANJA PODATKOV

Prvi začetki segajo v leto 1950, ko je tovarna Zeiss Oberkochen izdelala prvi kompenzacijski nivelir NI 2. Tako so leta 1953 opravili raziskavo o razliki v hitrosti niveliranja, če skupina za niveliranje (operater, dva pomočnika in zapisnikar) uporablja kompenzacijski nivelir ali nivelir z nivelacijsko libelo. Razmerje, ki so ga dobili je znašalo 1,7 km/h : 0,8 km/h v prid kompenzacijskemu nivelirju (srednja dolžina vizure je znašala 30 m). Takrat so merski postopek razdelili na posamezne stopnje in ocenili čas, ki ga potrebujemo za izvedbo

posamezne stopnje. Rezultati so bili sledeči:

postavitev late.....15s
 postavitvev in grobo horizontiranje instrumenta.....30s
 viziranje in odčitavanje:90s nivelir z libelo
 30s kompenzacijski nivelir
 prehod na naslednje stojišče (60 - 80m)60s
 skupen čas za eno stojišče (4 viziranja):
 7,5 min nivelir z libelo
 3,5 min kompenzacijski nivelir

Glede na zgornje rezultate vidimo, da se hitrost niveliranja z uporabo kompenzacijskega nivelirja, namesto nivelirja z nivelacijsko libelo, podvoji. Kljub temu, da so te ocene preveč optimistične, pa so danes kompenzacijski nivelirji izpodrinili nivelirje z nivelacijsko libelo. Podobno stanje lahko opazimo pri uporabi zavarovalne libele na višinskem krogu teodolita,

Merski postopek	Transport	Postavitev instrumenta	Viziranje
Inercialni sistem	Motoriziran	Centriranje	Odpade
Geometrični nivelman	Peš/Motoriz.	Postav. stativa horizontiranje	Običajno
Trigonometrični nivelman	Peš/Motoriz.	Postav. stativa horizontiranje	Običajno
Trigonometrično višinomerstvo	Peš/Motoriz.	Centriranje horizontiranje	Običajno
Satelitske metode	Motoriziran	Centriranje	Odpade
Barometrično višinomerstvo	Motoriziran Peš	Centriranje	Odpade

TAB1

Merski postopek	Odčitavanje	Zajemanje podatkov
Inercialni sistem	Avtomatsko	Avtomatsko
Geometrični nivelman	Običajno, delno avtom. in avtom.	Prenosni računalnik, delno avtomatsko, avtomatsko
Trigonometrični nivelman	Avtomatsko	Avtomatsko
Trigonometrično višinerstvo	Avtomatsko	Avtomatsko
Satelitske metode	Avtomatsko	Avtomatsko
Barometrično višinerstvo	Avtomatsko	Avtomatsko

TAB2

kajti tudi tu se je libela morala umakniti kompenzatorju.

Naslednja stopnja, ki je leta 1974 povzročila večje zanimanje strokovnjakov, je transport lat in nivelirja. Takrat se je porodila povsem preprosta ideja, da če zamenjamo pešačenje z motoriziranim transportom, moramo pridobiti na času. Iz te ideje so razvili motoriziran nivelman.

Naslednja stopnja razvoja nivelmana se je dotaknila problema zajemanja podatkov (od odčitavanja na nivelmanski lati do obdelave izmerjenih količin). Tako so okoli leta 1980 namesto zapisnikov začeli uporabljati prenosne računalnike. Ti sicer niso prispevali k hitrejšemu delu na terenu, vendar so omogočili hitrejšo in lažjo obdelavo podatkov. Poleg tega so s programiranimi kontrolami eliminirali grobe napake pri odčitavanju na nivelmanski lati in prenosu podatkov izmere.

V tabeli 1 je podana primerjava dosežene stopnje razvoja avtomatizacije posameznih metod višinerstva.

V tabeli 2 je predstavljena stopnja avtomatizacije pri odčitavanju in zajemanju izmerjenih količin.

Naslednja stopnja avtomatizacije geometričnega nivelmana se je dotaknila problema viziranja in odčitavanja na nivelmanski lati. Ostane seveda še problem avtomatskega postavljanja in horizontiranja instrumenta, vendar velja ta problem za nepomembnega oziroma ga trenutno ni možno realizirati.

3. ELEKTRONSKI NIVELIR ZEISS RENI 002 A

Preden predstavim merska sistema za avtomatsko zajemanje izmerjenih količin pri

niveliranju je prav, da predstavim novi elektronski nivelir Zeiss Reni 002 A. Tovarna Carl Zeiss iz Jene je ta nivelir prvič predstavila strokovni javnosti leta 1988. Zeiss Reni 002 A predstavlja vmesno stopnjo med klasičnim zajemanjem in avtomatskim zajemanjem izmerjenih količin.

To je elektronski nivelir z možnostjo polavtomatske registracije in računske obdelave izmerjenih količin. Po mehanski in optični konstrukciji ter po zunanjem videzu je podoben preciznemu nivelirju Zeiss Ni 002. Na obeh straneh nivelirja je tastatura, preko katere upravljamo računalnik, ki je vgrajen v nivelir in vstavljamo podatke.

Pri niveliranju uporabljamo invarske nivelmanske late s centimetersko ali polcentimetersko razdelbo. Podatek o velikosti intervala na nivelmanski lati vstavimo preko tastature v računalnik, s katerim je opremljen nivelir. Daljnogled nivelirja usmerimo proti nivelmanski lati s pomočjo vizirja, v katerem vidimo dve sliki late. Daljnogled je usmerjen proti nivelmanski lati takrat, ko nam sliki nivelmanskih lat v vizirju koincidirata. S fokusiranjem daljnogleda si izostrimo sliko late in naravnamo klin nitnega križa s pomočjo mikrometerskega vijaka na črtico razdelbe nivelmanske late. Na nivelmanski lati odčitamo vrednost celih intervalov, ki jih preko tastature posredujemo računalniku, ki je vgrajen v nivelir. Odčitek na mikrometru se odčita elektronsko. Vgrajen procesor v nivelirju združi vtipkani odčitek in odčitek na mikrometru in ga posreduje na zaslon, ki je v zornem polju daljnogleda. Ta odčitek lahko s pritiskom na gumb prenesemo v notranji spomin računalnika. Program v računalniku je prirejen tako, da lahko vstavimo dovoljena odstopanja med izmerjenimi višinskimi razlikami na obeh razdelbah nivelmanske late. Če smo klin nitnega križa premalo natančno naravnali na črtico razdelbe nivelmanske late ali pa smo pri odčitavanju celega odčitka naredili grobo napako, kar ima za posledico, da presežemo dovoljena odstopanja, nas instrument z zvočnim signalom in napisom "error" na zaslonu opozori, da moramo merjenje ponoviti.

Instrument je opremljen še z različnimi drugimi programi. Če vstavimo višino

začetne in končne točke, nam izračuna izravnane višine vmesnih točk. Upošteva ukrivljenost zemlje in refrakcije pri neenako dolgih vizurah med stojiščem instrumenta, lato "zadaj" in lato "spredaj". Pri delu z nivelirjem Reni 002 A ne potrebujemo zapisnika.

Iz zgornjega opisa in opisa v poglavju 4.2 in 5 lahko vidimo, da problem avtomatskega zajemanja podatkov pri niveliranju ni rešen. Vzhodno nemška firma Zeiss Oberkochen je sicer izdelala nivelir, ki elektronsko odčita vrednost na mikrometru, vendar je glavni problem ostal nerešen. Bistvo tega problema je v elektronskem odčitavanju odčitka na nivelmanski lati. Mislim, da preden ne bo rešen ta problem na takšen način, da ga bomo lahko uporabljali za terenske meritve, ne moremo pri niveliranju govoriti o avtomatskem zajemanju podatkov.

4. MATERIALIZACIJA VIZURNE OSI

Problem avtomatskega zajemanja podatkov pri niveliranju je v veliki meri povezan s problemom materializacije vizurne osi. Problem materializacije vizurne osi so rešili z uporabo laserja, kot izvora svetlobe. Laserje so izbrali za izvor svetlobe zaradi ozkega kota razpršitve laserskega žarka. Poleg tega lahko ostrino laserskega žarka povečamo s pomočjo teleskopske optike. Pri uporabi laserskega žarka želimo, da je njegov premer čim manjši. To lahko dosežemo na dva načina:

- s premikanjem okularja v smeri laserskega žarka
- s fokusiranjem

Laser, ki ga izberejo za izvor svetlobe, mora izpolnjevati še sledeče pogoje:

- oddajati mora ves čas vidno svetlobo
- imeti mora dovolj veliko moč
- laserski žarek mora biti takšen, da ga lahko digitalno obdelajo
- snop mora biti čim ožji
- zagotavljati mora sigurno delovanje, enostavno uporabo in imeti mora dolgo življenjsko dobo.

Tako dobimo viden žarek, ki ga lahko ves čas opazujemo. Prednost uporabe laserjev je tudi v tem, da lahko s posebnimi senzorskimi tipali avtomatsko zajemamo merjene količine.

Obsežne raziskave s He-Ne laserji so pokazale, da se smerna stabilnost laserskega žarka ne podredi nobeni zakonitosti. Tako sta sprememba smeri in daljši paralelni premiki posledica segrevanja generatorja laserja. To pomanjkljivost laserskega žarka so poskušali odpraviti tako, da so ga speljali skozi kompenzator nivelirja.

4.1 Povezava laserja, kot izvora svetlobe, z nivelirjem

Problem avtomatskega zajemanja podatkov pri niveliranju je Wenzel rešil na ta način, da je pritrdil He-Ne laser pred okular nivelirja Carl Zeiss Ni 2. Osnovna povezava laserskega žarka z nivelirjem je ta, da optično os nivelirja nadomestijo z laserskim žarkom. Vendar se je ta rešitev v prvi stopnji raziskave slabo izkazala, saj v večini primerov s kompenzatorjem niso uspeli usmeriti žarek v horizontalni položaj. Zaradi tega so posvetili veliko časa temu, da so ugotovili od česa je odvisna smer laserskega žarka. Ali bo laserski žarek po prehodu skozi kompenzator nivelirja izhajal horizontalno je odvisno od tega, pod kakšnim kotom vpade laserski žarek na okular. Če laserski žarek ne vpade pod "pravim" kotom na okular, potem laserski žarek po prehodu skozi kompenzator nivelirja ne izhaja horizontalno. "Pravi" kot vpadlega laserskega žarka so dosegli s paralelnim premikanjem laserja in z izбором naklona laserja glede na nivelir. Druga možnost je, da to dosežejo z vertikalnim premikanjem okularja. Da bi lahko izrabili to možnost, so okular namestili tako, da so ga lahko premikali s pomočjo vijaka v vertikalni smeri.

Nivelmansko lato je razdelil s pomočjo 54-ih fotoelementov, ki so povezani z upori tako, da je razmerje med dvema izmerjenima tokovoma I_0 in I_1 proporcionalno višini merskega žarka h . Tako dobimo:

$$h = E \cdot I_1 / I_0$$

kjer so:

E konstanta late

I_0 tok, ki ga izmerimo in je odvisen samo od spreminjanja moči laserskega žarka

I_1 tok, ki ga izmerimo in je odvisen od spreminjanja moči in nihanja laserskega žarka po višini.

Oba izmerjena tokova I_0 in I_1 , sta odvisna od moči sprejetega laserskega žarka. Iz razmerja, ki je podano z enačbo sledi, da je ta metoda merjenja višinskih razlik neodvisna od sprejete moči laserskega žarka.

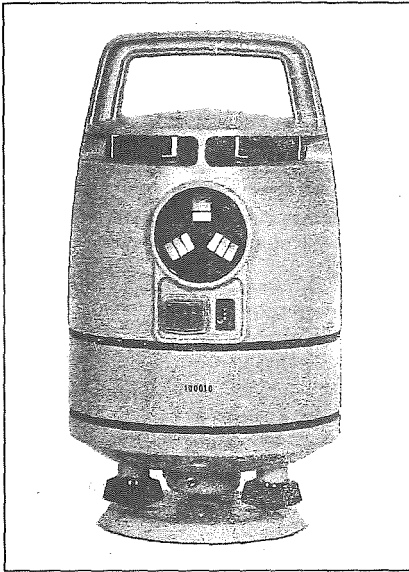
Podobno kot Wenzel sta tudi Chrzanouski in Janssen pritrdila He-Ne laser na objektiv nivelirja Carl Zeiss Ni 007. Za glavni sestavni del late sta uporabila detektor, ki se sam centrira. Detektor sestavljata dva neparalelno vezana ravninska senzorja. Ravninska senzorja pa sestavlja skupina vezanih Si fotoelementov. Ti senzorji proizvajajo diferenčni tok, ki se preko stopenjskega motorja detektorja premakne v energijski center laserja.

Število stopenj motorja štejejo glede na referenčno točko. Tako dobimo razdaljo do diferenčne točke. Prvi preizkusi so pokazali, da lahko dosežejo pri dvojnem nivelmanu (dolžina vizure je 100 m) srednji pogrešek merjenja približno 0,3 - 0,4 mm/km.

Problem avtomatskega zajemanja izmerjenih količin pri niveliranju s pomočjo laserskega žarka je rešen do te stopnje, da ga lahko uporabljamo za stacionarne nivelmane. Za mobilni nivelman sta opisani metodi premalo priročni.

4.2 Ploskovni nivelir

V zadnjem času se je na tržišču pojavilo večje število ploskovnih laserskih nivelirjev. Pri teh nivelirjih laserski žarek rotira pravokotno na vertikalno os in tako opisuje horizontalno ravnino. Materializacija vizurne osi s pomočjo laserskega žarka omogoča široko uporabo ploskovnih nivelirjev pri delih, kjer ni zahtevana velika natančnost (gradbeništvo, izgradnja cest ...). Z uporabo laserjev pri ploskovnih nivelirjih odpade viziranje. Namen avtomatizacije merskega postopka ni le v večji hitrosti izmere, temveč je pomembno tudi



Slika 1

uporabili za avtomatizacijo geometričnega nivelmana.

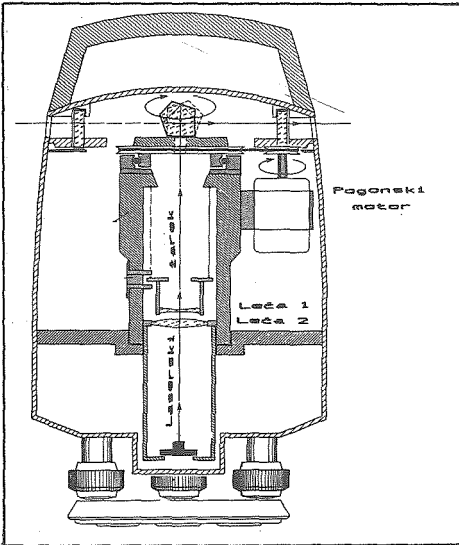
V tem primeru nam odpade viziranje, poleg tega pa nam uporaba laserskega žarka, ki ga lahko ločimo od svetlobe v okolici, omogoča identificirati vpadli laserski žarek na nivelmansko lato.

Za uporabo ploskovnega nivelirja Theis Telamat (glej sliko 1) pri preciznem nivelmanu, moramo doseči večjo natančnost merjenja. Na natančnost merjenja pa ima, glede na laboratorijske raziskave, največji vpliv kompenzator, ki je vgrajen v nivelir Theis Telamat. Z uporabo bolj občutljivega kompenzatorja se bo povečala tudi natančnost merjenja.

Osnovna sestavna dela optično mehanskega kompenzatorja pri Telamatu sta dve leči (glej sliko 2). Ena je stabilna bikonvexna leča in druga bikonkavna leča, ki je obešena kot nihalo. Ta optični sistem opravi dve nalogi. Prva naloga je možnost fokusiranja na neskončnost. Zaradi tega mora biti izvor svetlobe nameščen v gorišču leče. Za izvor svetlobe so uporabili polprevodniško lasersko diodo, pri tem znaša valovna dolžina svetlobe približno 800 nm. Prednost polprevodniške laserske diode glede na He-Ne laserje so njene majhne zunanje mere in za delovanje porabi malo energije. Druga naloga je kompenziranje nagnjenosti instrumenta, po opravljenem grobem horizontiranju nivelirja.

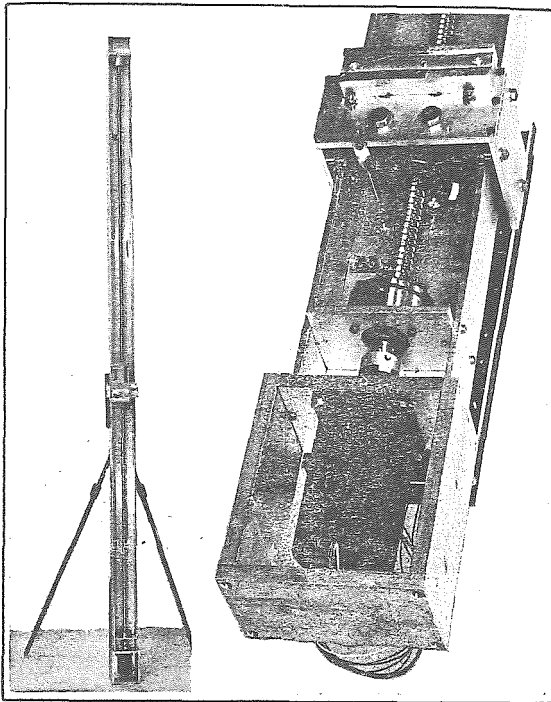
4.2.1 Fotoelektrična nivelmanska lata

Že pred 20. leti so na Inštitutu za geodezijo in na Inštitutu za visoko frekvenčno tehniko, ki deluje v sklopu RWTH Aachen razvili fotoelektrično nivelmansko lato. Lata je bila zgrajena iz fotodiod, ki so bile sestavljene in razmeščene tako, da so lahko določili položaj vpadlega laserskega žarka z milimetrovsko natančnostjo. Vse kasnejše raziskave so pokazale, da lahko večjo natančnost določitve položaja laserskega žarka dosežejo z velikostjo detektorjev do 10 cm. Izdelava večjih detektorjev je možna le, če se odpovejo večji natančnosti določitve položaja vpadlega žarka ali pa postanejo nujni senzorski elementi s pripadajočo elektroniko bistveno cenejši.



Slika 2

to, da lahko izključimo človeka kot možni vir pogreškov. Čeprav ploskovni nivelirji niso bili konstruirani za linijski nivelman, se je porodila ideja, da bi lahko te nivelirje



Slika 3

Zaradi tega so se odločili za konstrukcijsko rešitev, kjer se detektor premika po lati toliko časa, dokler ne zazna vpadli laserski žarek na detektor. Ogrodje nivelmanske late, ki so jo razvili na inštitutu predstavlja U profil iz lahke kovine. V ogrodje je nameščeno kroglično vreteno, katerega pogon poteka preko sklopke s pomočjo stopenjskega motorja (glej sliko 3). Vreteno so kalibrirali s pomočjo interferometra. Vpliv temperature na dolžino nivelmanske late upoštevajo tako, da merijo temperaturo v času niveliranja in upoštevajo razteznostni koeficient materiala, iz katerega je zgrajeno vreteno. En zasuk stopenjskega motorja je sestavljen iz 500 posameznih delov, ki omogočajo minimalni premik 1/100 mm. Motor je priključen na napetost 24 V.

Detektor, ki se premika s pomočjo vretena, je v bistvu diferencialna fotodioda. Laboratorijske raziskave so pokazale, da lahko s takšnim detektorjem določijo položaj vpadlega laserskega žarka z

natančnostjo 1/100 mm. Ko detektor zazna vpadli laserski žarek, dobimo informacijo o tem izpisano na ekranu.

4.2.2 Krmilni program za zajemanje in shranjevanje podatkov

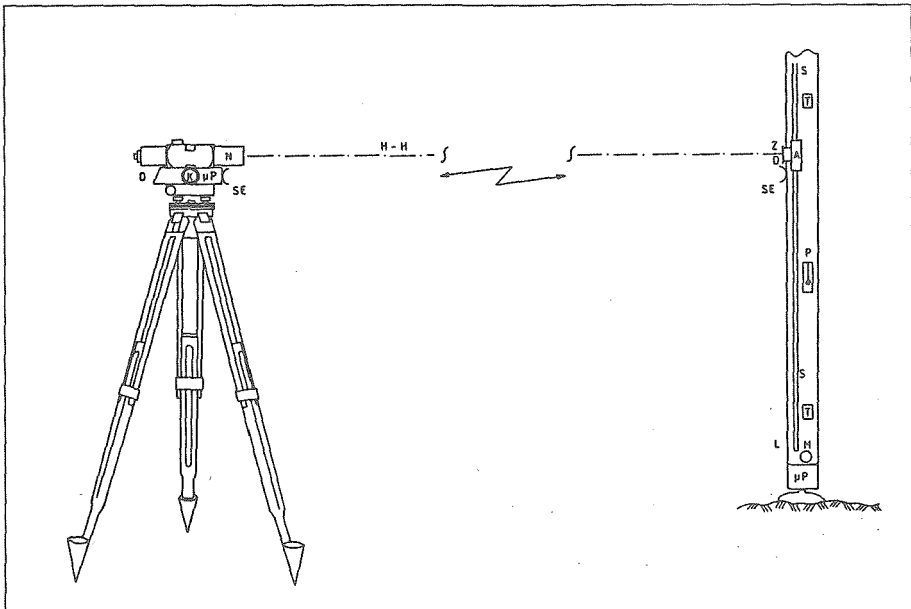
Detektor sestavljata dva izhoda, na katerih zaznajo vpadli laserski žarek in odčitajo jakost vpadlega laserskega žarka. Ko detektor zazna vpadli laserski žarek na pravem izhodu, se ustavi stopenjski motor in odčita se še drugi izhod. Če na drugem izhodu ni signala, se detektor premakne v prvotni smeri za 1024 delov stopenjskega motorja. Spremembo smeri gibanja detektorja dobijo po primerjavi jakosti vpadlega laserskega žarka na obeh izhodih detektorja. Glede na takšno razpolavljanje in premikanje detektorja v smeri proti energijskemu centru laserskega žarka, lahko teoretično določijo energijski center laserskega žarka z natančnostjo ene stopnje stopenjskega motorja, ki znaša 1/100 mm. To metodo zaznavanja vpadlega laserskega žarka sestavlja 11 iterativnih korakov in so jo poimenovali "sukcesivna aproksimacija" ali "binary search".

Celotni merski postopek, zajemanje podatkov in prenos podatkov v računalnik so uredili s posebnim programom.

4.2.3 Praktični preizkus merskega sistema

Za praktični preizkus merskega sistema so stabilizirali pet reperjev na dolžini 250 m. Višinsko razliko med reperji so določili s preciznim nivelirjem Wild N3. Srednji pogrešek določitve višinskih razlik je znašal 0,07 mm. Glede na doseženo natančnost določitve višinskih razlik, so dobljene višinske razlike privzeli za prave vrednosti.

To testno traso so z nivelirjem Theis Telamat in fotoelektrično nivelmansko lato nivelirali sedemkrat. Merjenja so bila opravljena pri različnih vremenskih pogojih. Srednji pogrešek merjenja izračunan iz razlike med privzeto pravo vrednostjo in izmerjeno vrednostjo je znašal 0,52 mm. Takšno natančnost merjenja višinskih razlik so



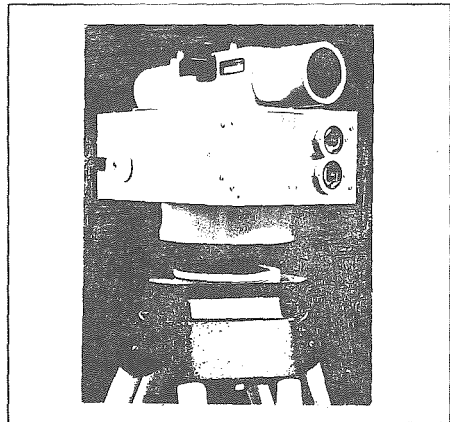
Slika 4

dosegli na delu testne trase, katerega dolžina je znašala 62,5 m. Iz teh podatkov so izračunali srednji pogrešek 1 km dvojnega nivelmana, ki znaša 1,47 mm. Približno tretjina merjenj odstopa od privzete vrednosti za več kot 0,5 mm. Glavni vzrok teh odstopanj je v konstrukciji kompenzatorja, kar so ugotovili že med laboratorijskimi preizkusi. Nadaljnji razvoj tega sistema je odvisen od možnosti konstrukcijske izboljšave kompenzatorja. Ta izboljšava bi omogočila praktično uporabo merskega sistema, ki bi bil še posebej učinkovit pri motoriziranem preciznem nivelmanu, se merski proces skrči na pripravo merskega sistema za merjenje in postavljanje nivelmanske late v vertikalni položaj.

5. MERSKI SISTEM, KI SO GA RAZVILI NA INŠTITUTU ZA GEODEZIJO - ZVEZNA VOJAŠKA AKADEMIJA MUENCHEN

5.1 Merski sistem

Merski sistem sestavljata glavni in dopnilni instrument, ki ga lahko upravljamo daljinsko. Odčitke na lati odčitajo s pomočjo



Slika 5

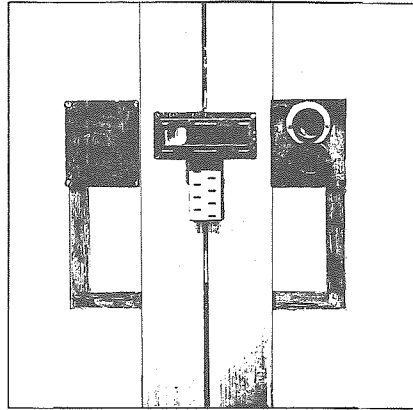
elektronike in izmerjena vrednost se s pomočjo mikro računalnika dalje obdela. Na sliki 4 je prikazan princip in sestavni deli merskega sistema, s katerim lahko izvedejo avtomatizacijo niveliranja.

Glavni instrument predstavlja nivelir (glej sliko 5), ki je opremljen z elektroniko, ki jo sestavljata oddajnik in sprejemnik (SE). Ta elektronski dodatek predstavlja osnovo merskega sistema, saj z njegovo pomočjo

izvedemo celotni proces merjenja. Z gumbom (K) upravljamo, s pomočjo signala, stopenjski motor (M) na lati. Nivelir je opremljen še s kontrolnimi in funkcijskimi gumbi, ki jih uporablja operater.

Lata (L) je dopolnilni instrument, ki jo sestavlja analogni - digitalni merski sistem. Ta merski instrument je sestavljen iz okrogle merske palice (S) in merske glave (A). Na mersko glavo je pritrjena vizirna tarča (glej sliko 6), ki jo operater naravnava tako, da se prekriva z nitnim križem nivelirja. To doseže z vrtenjem gumba (K), s katerim upravlja stopenjski motor (M), ki premakne mersko glavo (A) na željeno mesto. Ko doseže, da se vizirna tarča prekriva z nitnim križem nivelirja, operater s pritiskom na gumb ukaže odčitavanje izmerjene vrednosti na lati. Vrednost odčitka lahko prebere na zaslonu (D), ki je nameščen na inštrumentu na lati. Odčitana vrednost se zabeleži v mikroprocesorju. Program v mikroprocesorju vsak odčitek popravi za popravke, ki so posledica neenakomerne "razdelbe" late, ki jo predhodno kalibriramo v laboratoriju, neverikalno postavljene late in popravke zaradi spremembe dolžine late, vzrok katere je lahko različna temperatura v času merjenja in kalibriranja late. Da lahko izračuna te popravke izmerjene višinske razlike, se istočasno z registracijo položaja merske glave (A), odčitajo vrednosti, ki jih kažejo naklonomer (P) in tri temperaturna tipala (T), ki so pritrjena na lati. Tako popravljen izmerjena vrednost se lahko zabeleži na poljuben medij (kasetni trak, diskete ali prenosni računalnik) direktno na dopolnilnem instrumentu (lata) ali se preko oddajnika in sprejemnika prenese do glavnega instrumenta (nivelirja). Celoten sistem zajemanja podatkov je zamišljen tako, da lahko delamo z več latami (največ 8).

Sam merski postopek, pri uporabi tega merskega sistema, se za operaterja bistveno ne spremeni, odpade pa odčitavanje na nivelni lati in zapisovanje izmerjenih vrednosti. Računanje popravkov, zaradi vplivov sistematičnih pogreškov na izmerjeno vrednost, tudi ne zahteva dodatnega časa. Glede na



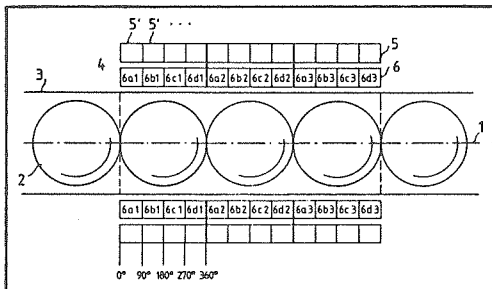
Slika 6

različne možnosti registriranja izmerjenih vrednosti, obstaja možnost on-line izravnave izmerjenih vrednosti na terenu.

5.2 Merski sistem late in viziranje

Kolikšne so realne možnosti izvedbe zgoraj opisanega merskega sistema, je odvisno predvsem od kvalitete merskega sistema late. Ta merski sistem bi moral izpolnjevati sledeče pogoje:

- velika natančnost merjenja, pri čemer na bi bil srednji pogrešek enega odčitka 0,01 mm
- velik merski doseg (od 3 - 100 m)
- velika hitrost izmere 10 m/s



Slika 7

- neobčutljivost merskega sistema late na vremenske pogoje (dež, ekstremne temperature in prah)
- kompaktnost in odpornost merskega sistema late
- majhna teža
- majhna poraba električne energije

Tovarna Newall je izdelala merski sistem Spheosyn, ki ga sestavljajo naslednji elementi (glej sliko 7):

- nosilna cev (3) iz nemagnetnega jekla, ki je napolnjena s kroglicami (2) iz feromagnetnega jekla premera 13 mm
- merska glava (4), ki jo sestavljajo okrogle tuljave, s katerimi zaznamo spremembo indukcije
- elektronika za pretvarjanje izmerjenih veličin v meterski sistem in digitalni zaslon

Merski sistem Spherosyn deluje po analognem postopku. Tako je registrator poti (4), ki jo opravi merska glava, sestavljen iz oddajnih (5) in sprejemnih tuljav (6). Vse tuljave so nameščene na isti osi, ki je paralelna k osi, ki povezuje središča kroglic. Vsako oddajno tuljavo sestavlja 6 x 4 delnih tuljav, ki so zaporedno vezane. Podobno je skonstruirana vsaka sprejemna tuljava.

Dolžina vsake delne tuljave znaša $d/4$, kjer je $d=13$ mm (premer kroglic).

Če oddajno tuljavo napajamo z izmenično napetostjo U_1 , potem se pri premiku merske glave za vrednost x proizvede fazno premaknjena izmenična napetost U_2 . Povezavo med obema vrednostima dobimo s sledečimi enačbami:

$$u_1 = a_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$u_2 = a_2 \cdot \sin(\omega \cdot t + 2 \cdot \pi \cdot n + \phi)$$

in

$$x = n \cdot d + \Delta$$

$$\Delta = \phi \cdot d / 360^\circ$$

Sprememba poti x je sestavljena iz n -kratnika premera kroglic in ostanka delta. Ostank delta dobimo iz izmerjenega faznega premika ϕ .

Pri uporabi tega merskega sistema v praksi ima velik vpliv tudi način viziranja. Operater mora imeti možnost, da lahko pri daljinskem krmiljenju vizirne tarče uporabi za grobo viziranje večjo hitrost stopenjskega motorja. Poleg tega naj bi pri finem viziranju oziroma naravnavanju vizirne tarče dosegli vtis koincidiranja na mikrometru. Vse te zahteve so izvajalce postavile pred dejstvo, da morajo izdelati takšen motor, da bo lahko izpolnil zgoraj navedene zahteve. Stopenjski motor bi v splošnem moral izpolnjevati sledeče pogoje:

- hitrost delovanja 0,1 mm/s - 600 mm/s
- poraba električne energije 1A
- natančnost nastavitve 0,01 mm

5.3 Procesno krmiljenje in zajemanje podatkov

Pri realizaciji avtomatskega sistema za niveliranje so v veliki meri uporabili mikroelektroniko. Predvsem so izkoristili umetno inteligenco mikroprocesorjev in dejstvo, da je digitalno obdelan signal neobčutljiv na razne motnje. Tako so analogne signale pretvorili v digitalne in le-te obdelali. S pretvorbo analognih signalov v digitalne so se rešili problema brezžičnega prenosa podatkov med glavno in dopolnilno postajo. Nizka cena mikroprocesorjev je omogočila, da so procesorski sistem razdelili na dva samostojna dela - kontrolni in podatkovni sistem. Tako so dosegli optimalno izrabo posameznih delovnih korakov in poenostavili posamezne funkcije, ki bi bile v nasprotnem primeru preveč kompleksne. Pri tem je predvsem mišljen poenostavljen interaktiven dialog med operaterjem in merskim sistemom, alfanumerični prikaz izmerjenih veličin, podane kontrole in samonadzor instrumenta. Rezultat vseh teh prizadevanj je robusten, lahko upravljiv in kontroliran sistem za niveliranje.

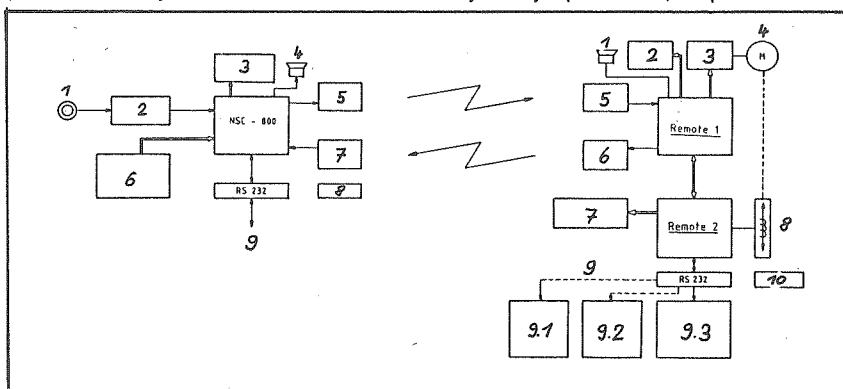
Ker vgrajena mikroelektronika porabi malo električne energije, so za izvor napetosti

lahko uporabili male baterije, ki zagotavljajo z enkratnim polnjenjem nemoteno delovanje merskega sistema preko celega dneva. Uporabljena programska oprema je skonstruirana tako, da omogoča nadaljnji razvoj in spremembe, ne da bi morali poseči po novi strojni opremi.

Funkcionalno povezavo posameznih delov merskega sistema so dosegli z uporabo mikroprocesorjev, ki omogočajo sprotno prilagajanje glede na nepredvidljive spremembe, ki so se pojavile med razvojem in terenskim testiranjem merskega sistema. Na sliki 8 je predstavljen pregled modularnega multiprocesorja v CMOS - tehniki. Centralno enoto sestavlja NSC - 800 mikroprocesor, katerega naloga je, da ukaze posredovane preko tastature in krmilne impulze dekodirja obdelata in koordinira

povezavo z merskim sistemom late. Remote 1 in 2 sta dva mikroprocesorja vključena v merski sistem late, ki krmilita premikanje vizirne tarče in zagotavljata zajemanje podatkov o temperaturi in nagnjenosti sistema lat.

Preko digitalne povezave je vzpostavljen dialog med obema instrumentoma in s pomočjo alfanumeričnih znakov in tipkovnice tudi z operaterjem. Vsi ukazi, ki jih operater posreduje instrumentu preko tastature (glej sliko 9), procesor pretvori v digitalen zapis in ga posreduje dopolnilnemu instrumentu. Tako je omogočena obojestranska komunikacija s krmilnim sistemom na dopolnilnem instrumentu, pri zajemanju podatkov in obdelavi podatkov. Glavni instrument omogoča centralno zajemanje podatkov, čeprav nimamo



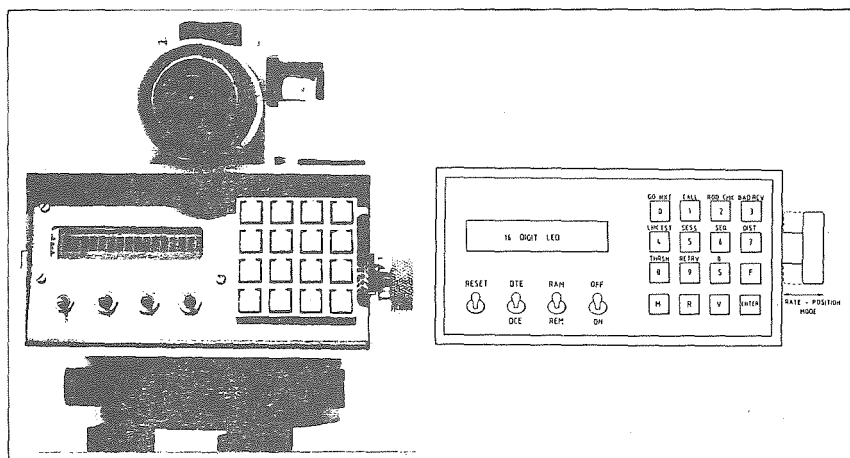
Slika 8

Centralna enota na glavnem instrumentu

1. Vrtljiv gumb
2. Dekodirna enota
3. Zaslona
4. Signal
5. Oddajnik
6. Tastatura za vtiskavanje krmilnih ukazov
7. Sprejemnik
8. Baterije
9. Vhodna - izhodna enota za zajemanje podatkov, kot pri nivelmanski lati

Sprejemna enota na dopolnilnem instrumentu

1. Signal
2. Kontrolna enota
3. Krmiljenje stopenjskega motorja
4. Motor
5. Sprejemnik
6. Oddajnik
7. Zaslona
8. Merski sistem
9. Izhodna enota
- 9.1 Kasetna enota
- 9.2 Disketna enota
- 9.3 Prenosni računalnik
10. Baterije



Slika 9

priključenega zunanje spomina. Brežžična daljinska povezava omogoča izmenjavo informacij in podatkov med glavnim in dopolnilnim instrumentom na razdalji do 100 m.

Funkcije, ki jih mora opravljati dopolnilni instrument so usklajene s pomočjo dvojnega mikroprocesorskega sistema. Takšno rešitev je narekovala množica operacij, ki jih mora dopolnilni instrument opraviti v istem času. Tako je en procesor namenjen za dekodiranje signala merskega sistema, s tem povezanim prikazom položaja merske glave in optimalno zajemanje izmerjenih količin. Naloga drugega procesorja je obdelava ukazov operaterja, ki se nanašajo na krmiljenje stopenjskega motorja, zajemanju podatkov o nagibu late, temperaturi in napetosti baterij.

5.4 Nadaljnji razvoj merskega sistema za avtomatsko zajemanje podatkov niveliranja

Merski sistem late in centralna enota sta dokončani. Opravljeni so tudi laboratorijski in terenski testi, ki so pokazali, da lahko takšen merski sistem uporabljajo tudi za precizni nivelman. Razbremenitev opazovalca in dejstvo, da ne potrebujemo več zapisnikarja so vsekakor pozitivni

kriteriji, ki govorijo v prid predstavljeni možnosti avtomatizacije nivelmana.

Nadaljnji razvoj je usmerjen predvsem na povečanje hitrosti merjenja in izboljšanje možnosti viziranja. Natančnost viziranja so poizkušali izboljšati z uporabo graviranih ploščic in s tem dosegli, da lahko pri viziranju izkoristijo Moire efekt. Prvi preizkusi so pokazali, da se natančnost viziranja podvoji. Naslednji problem, ki ga želijo rešiti z nadaljnjim razvojem merskega sistema, je upoštevanje vpliva refrakcije na izmerjene količine. Ta problem naj bi rešili z namestitvijo dodatnih temperaturnih tipal, ki bi bila nameščena na različnih nivojih merskega sistema. Iz dobljenih podatkov o temperaturi zraka na različnih nivojih in uporabljenega modela, bi lahko izračunali popravke izmerjene količine zaradi vpliva refrakcije. Če bo strokovnjakom uspelo rešiti ta problem, se bo povečala natančnost merjenja, oziroma bodo dovoljene daljše maksimalne vizure pri preciznem nivelmanu.

Nadaljnji razvoj elektronskih sestavnih delov in njihova uporaba (na primer upraba čipa NSC - 810) bo omogočila, da bodo sedanje mere merskega sistema in teže zmanjšali in tako bo opisan sistem postal še bolj priročen za uporabo na terenu.

6. ZAKLJUČEK

V Zvezni republiki Nemčiji in verjetno tudi v ostalih razvitih državah posvečajo veliko pozornosti, dela in znanja razvoju avtomatskega sistema za niveliranje. Prvi rezultati tega dela so dokaj vzpodbudni in verjetno ni več daleč čas, ko bodo ti sistemi postali povsem uporabni in zreli za serijsko proizvodnjo. Na ta način bodo avtomatizirali

merski postopek - geometrični nivelman, ki velja za enega najtrših orehov pri avtomatiziranju merskih postopkov v geodeziji. Torej je avtomatiziranje nivelmana postavljeno na realne temelje. Nam pa ostane upanje, da bomo tudi mi nekoč lahko užili sadove tega dela.

VIRI:

Beckers H., Kuhr H. - H., Rumpf W. E.: Automatische Daten - erfassung und - auswertung beim Prazisions - nivellement, AVN - 5, Karlsruhe 1979

Caspary W.: Zur Automatisierung des Nivellements, ZFV - 9/10, Muenchen 1988

Caspary W., Heister H., Kurz B.: Ein Beitrag zur Automatisierung des geometrischen Nivellements, ZFV - 8, Muenchen 1986

Caspary W., Heister H.: Ein Automatisiertes Nivellirsystem, Ingenieurvermessung 88, Band 1, Bonn 1988

Holtz E.: Der Laserstrahl in Verbindung mit einem selbsthorisontierenden Nivellier, ZFV - 2, Muenchen 1970

Huth G.: RENI 002 A und NI 002 A - zwei neue Prazisions - Kompensatornivelliere, JR - 4, Jena 1988

Kahmen H.: Elektronische Messverfahren in der Geodesie, Herman Wichman Verlag, Karlsruhe 1978

Kogoj D.: Stanje razvoja geodetskega instrumentarija, Geodetski vestnik - Tehnološka podpora geodetske stroke, Maribor 1988

Schlemmer H.: Zur digitalen Ablesung an Nivellierlatten, AVN - 1, Karlsruhe 1987

Wenzel S.: Das Aachener Laser - Nivelliergerät mit automatischer Registrierung, AVN - 11, Karlsruhe 1970

Wueller H.: Ein Messsystem zur Automatisierung des geometrischen Nivellements, AVN - 4, Karlsruhe 1988

Zupančič P.: Elektronski nivelir Zeiss RENI 002 A, Geodetski vestnik - Tehnološka podpora geodetske stroke, Maribor 1988

AVN - Allgemeine Vermessungs - Nachrichten

ZFN - Zeitschrift für Vermessungswesen

JR - Jenaer Rundschau