

KOINCIDENTNO MJERENJE NEDOSTUPNIH TOČAKA U ŠPILJAMA UPOTREBOM LASERA

Juraj Posarić

UVOD

Za potrebe izračunavanja osnovnog stanja i budućih zahvata pri potpunom turističkom uređenju Grgosove špilje u Otruševcu kraj Samobora, bilo je potrebno izraditi precizan speleološki topografski nacrt. Takav nacrt je, doduše, načinjen prilikom prvoga speleološkog istraživanja špilje, 1974. godine, ali je prilikom njegove dopune, 1981., kada je Grgos iskopao rov do galerije na vrhu Blatne dvorane, uočeno nepodudaranje pravca poligona u gornjoj i donjoj etaži. Točke poligona se nalaze točno jedna ispod druge, što je dokazano viskom, ali su uzastopna mjerenja magnetskog azimuta, kako kuta, tako i protukuta provedena uz pažljivu stabilizaciju mjerne točke, pokazala stalnu deklinaciju od 15° . Uzrok je toj pojavi bilo magnetsko polje u špilji inducirano u vodičima provizorne električne instalacije rasvjete postavljene u ulaznom dijelu špilje već pri prvom mjerenju, a produljene i premještene u današnji položaj pri naknadnim mjerenjima. Uključivanje i isključivanje napona, odnosno prolaznje struje instalacijom, nije utjecalo na dobivene rezultate pa je kao uzrok toj pojavi utvrđen remanentni (zaostali) magnetizam u vodičima. Bilo je očito da će za topografsko mjerenje u objektu biti nužna metoda koja isključuje ili kompenzira magnetsku anomaliju pri određivanju horizontalnog kuta.

PRECIZNO MJERENJE SPELEOLOŠKIH OBJEKATA

U speleologiji su uobičajena dva načina mjerenja i topografskog snimanja speleoloških objekata, koji ovise o tradiciji sredine u kojoj se koriste ("školi") ili o

dostupnom instrumentariju. Prvi, uobičajen u Hrvatskoj, podrazumijeva izradu speleološkog topografskog nacrtu na licu mjesta u samom speleološkom objektu. Pritom se duljine mjere mjernom vrpcom, azimut (horizontalni kut) kompasom, a nagib (vertikalni kut) padomjerom. Zagrebački speleolozi (V. Božić, I. Posarić) još su šezdesetih godina riješili problem preračunavanja nagnutih duljina u horizontalnu i vertikalnu projekciju konstrukcijom padomjera s analognim računalom na načelu sukladnih trokuta, koje omogućuje neposredno čitanje, odnosno prenošenje na nacrt potrebnih vrijednosti. Nacrt se potom crta u mjerilu na milimetarskom rasteru (papiratoj ili poliesterskoj podlozi).

Drugi način se osniva na mjerenju duljina, azimuta i nagiba te izradi tablice i grubih skica detalja u speleološkom objektu, a računanje projekcijskih vrijednosti i izrada nacrtu se potom obavi kod kuće. Izrada takvog (rekonstruiranog) speleološkog topografskog nacrtu uobičajena je u svijetu.

Oba načina imaju svojih prednosti i nedostataka, osobito u pogledu vjernosti crteža, točnosti i sl., o čemu je bilo i diskutirano i pisano, ali je osnovni nedostatak rekonstrukcije iz tablica, nemogućnost provjere. Pogreške mjerenja ili zapisivanja moguće je ispraviti tek ponovnim ulaskom u objekt.

Točnost mjerenja, bez obzira na način izrade nacrtu, određena je upotrijebljenim mjernim instrumentima (kompas, padomjer i mjerna vrpca) te njihovom pravilnom upotrebom. Tu svakako igra ulogu iskustvo, odnosno uvježbanost mjerne ekipe, što smanjuje utjecaj subjektivnih grešaka na točnost rezultata.

Prema klasifikaciji Međunarodne

speleološke unije (UIS), točnost nacрта speleoloških objekata dobivenih takvim mjerenjem je 4° ili, rjeđe, 5° (točnost duljina do 20 cm, kuteva do 1° , pozicioniranje mjerne točke u 20 cm). Osnovna je pogreška, koja se čini pri mjerenju objekata speleološkom metodom i koja određuje točnost nacрта, grubo pozicioniranje mjernih točaka. Naime, kako se instrumenti drže u ruci, a tijelo mjeritelja je najčešće u nefiziološkom položaju, teško je, već i zbog razlike u konstrukciji i obliku instrumenata, zadržati ih pri čitanju u istom dijelu prostora definiranom kao mjerna točka (MT). Kako za mjerenje objekata obično uvijek nedostaje vremena, to je lako shvatljiv uzrok grešaka. Faktor oblika instrumenata zgodno je riješen kod kompasa i padomjera s plivajućom skalom (npr. Suunto), jer su istog oblika i načina upotrebe, ali je problem točnog postavljanja mjerne točke time samo umanjen. U svakom slučaju, za potrebe projektiranja u speleološkim objektima točnost nacрта 4° ili 5° nije dovoljna pa se mjerenje mora načiniti točnijom metodom

GEODETSKA MJERENJA U SPELEOLOŠKIM OBJEKTIMA

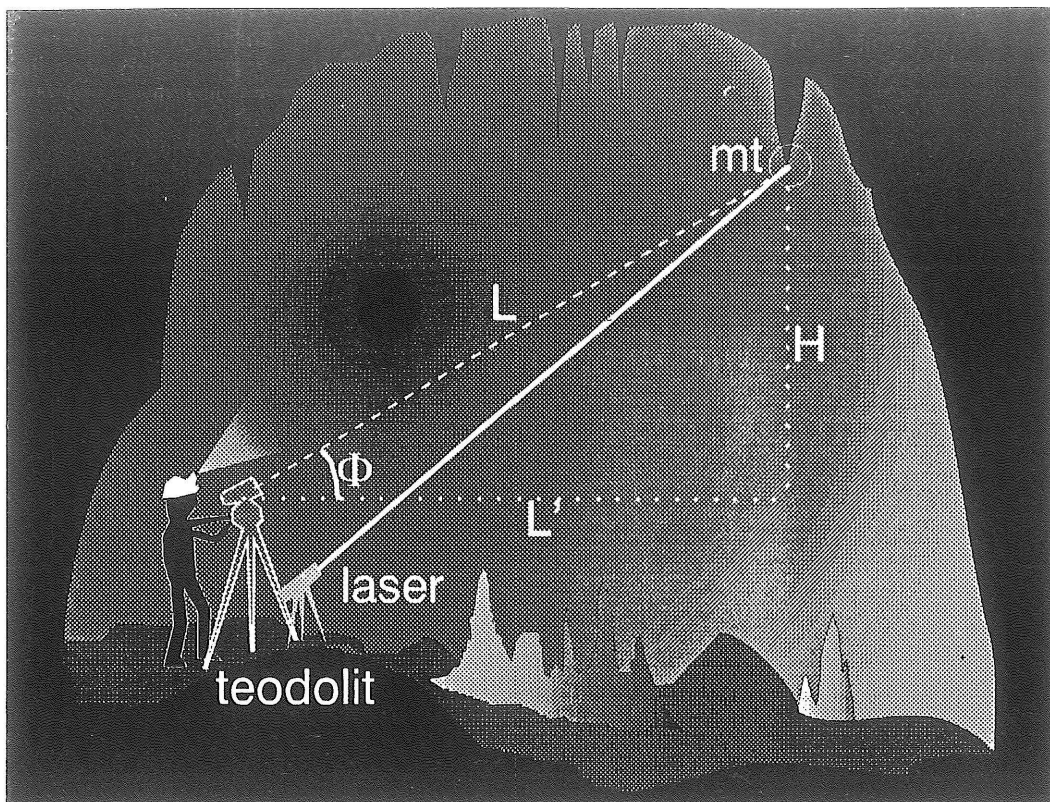
Najviši stupanj točnosti nacрта speleološkog objekta po klasifikaciji UIS je 7° , što podrazumijeva čitanje kuteva u jednu minutu, duljina u centimetar, a pozicioniranje instrumenta unutar centimetra. Takva se točnost postiže geodetskim instrumentima i posebno razrađenim postupcima mjerenja koji uključuju razne načine poništavanja pogrešaka. Temeljni instrument koji zadovoljava takvim zahtjevima jest teodolit. On zamjenjuje, odnosno ujedinijuje kompas i padomjer koji se koriste u speleološkim mjerenjima, a služi za mjerenje azimuta (točan geodetski izraz je smjerni kut) i nagiba mjernog pravca. Duljine se mjere direktno pomoću mjerne vrpce, a indirektno teodolitom i mjernom letvom ili s teodolitom spregnutim elektrooptičkim ili nekim drugim daljinomjerom. Teodolit se sastoji od monokularnog dalekozora koji može rotirati oko ver-

tikalne i horizontalne osi, a smješta se na osobiti tronožac koji omogućuje njegovo postavljanje u poželjni položaj i horizontalizaciju. Optička os dalekozora je vizurna linija i označena je nitnim križem, a njen azimut i nagib se čitaju posebnim lupama sa skala horizontalnog i vertikalnog limba. Instrument se učvršćuje na tronožac središnjim vijkom na kojem je kukica za vješanje viska, pa se visak može centrirati točno iznad mjerne točke na tlu tako da se instrument nalazi točno u vertikalnoj osi. Instrument se horizontalizira okretanjem triju vijaka temeljne ploče dok cijevna libela ne vrhuni u svim horizontalnim smjerovima. Teodolita ima raznih izvedbi i namjena ali im je način rada isti, a nama je u speleologiji potreban samo kao precizno mjerilo kuteva.

U speleološkoj literaturi prilično je pisano o geodetskim metodama mjerenja speleoloških objekata, gdje su uglavnom opisani postupci raznih rudarskih mjerenja primijenjenih u speleologiji. Zanimljivo je da su neki od najstarijih speleoloških topografskih nacрта na svijetu načinjeni baš geodetskim metodama, jer su se u ono vrijeme takvim poslom bavili isključivo mjernici i građevinski inženjeri koji su imali i potrebno znanje i instrumente, tako da možemo zasigurno tvrditi da su korijeni speleološke topografije u geodetskim mjerenjima. Kojom mjernom metodom se pri tome služilo, nije dovoljno poznato, ali je danas najčešća tahimetrija (od grč. *ταχισ*=brzo i *μετρον*=mjera) odnosno brzo mjerenje.

TAHIMETRIJA U SPELEOLOŠKIM OBJEKTIMA

Dugotrajan posao premjera speleološkog objekta geodetskim metodama znatno se skraćuje upotrebom tahimetrije, jer se tom metodom s jedne mjerne točke, odnosno jednim pozicioniranjem instrumenta mogu odrediti elementi potrebni za izračunavanje koordinata svih detaljnih točaka (DT) u vidljivosti instrumenta (slika 1). Za tahimetriju je karakteristično da se duljina od mjerne do detaljne točke izračunava iz podataka koji se čitaju neposredno s instrumenta, a mjere se indi-



Slika 1: Tahimetrija nedostupne točke upotrebom laserske značke i koincidentnog teodolita-telemetra (BRT)

El.grafika: J. Posarić

rektno, tj. bez mjerne vrpce.

Instrument koji se koristi za tahimetriju zove se tahimetar-teodolit i od "običnog" se teodolita razlikuje u dodatku pribora za mjerenje duljine, tako da se s njega očitavaju smjerni kut, nagib i duljina (ili podaci za njeno računanje) mjerene vizure. Najčešći su korišćeni načini mjerenja duljine trigonometrijski: mjerenjem duljine na mjernoj letvi koja se vidi pod kutem zadanim s dvije niti u okularu instrumenta (metoda dvije niti), koincidentnim optičkim daljinomjerom, elektrooptičkim daljinomjerom i sl. Osnovni je uvjet za mjerenje mogućnost postavljanja oznake na mjernu točku (DT). To može biti mjerna letva, značka, prizmatični reflektor ili sl., a to znači da mjerna točka mora biti dostupna pomoćniku mjeritelja (markirantu), što u speleološkim objektima često nije slučaj. Vrlo brza i precizna kao meto-

da izbora, tahimetrija u speleološkim objektima postaje neupotrebljiva u slučaju nedostupnih suprotnih stijena vertikala ili stropova špiljskih kanala.

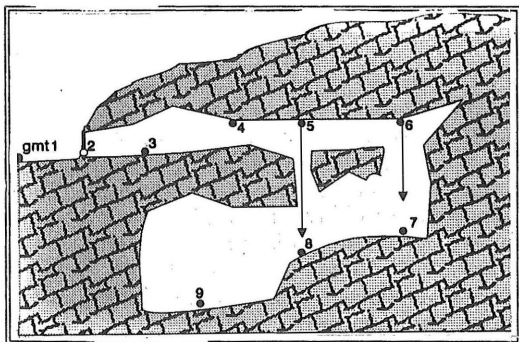
TAHIMETRIJA U ŠPILJAMA UPOTREBOM LASERA

Problem mjerenja udaljenosti zadao je mnogo glavobolje svima koji su to radili u speleološkim objektima, kad željena mjerna točka nije bila dostupna direktnom mjerenju. Sve opisane metode su se služile ili koincidentnim mjerenjem jedne točke s dvije pozicije (točke poznatog bazisa) na razne načine, konstrukcijama bazisnih koincidentnih daljinomjera sa svjetlosnim signalom, a obavljena su i direktna mjerenja visina stropova topofilom dovučenim do mjerne točke uzgonom balona ispunjenog helijem. Sve te metode

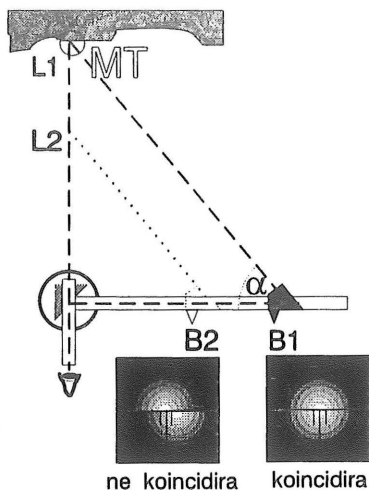
imaju nedostatak u nepoznatoj točnosti mjerenja ili u nemogućnosti izbora mjerne točke ("balometrija").

Prilikom pripremanja za precizno mjerenje Grgosove špilje, gdje su prostorni i površinski odnosi stijena bili presudni za točno proračunavanje termodinamičkih osobina objekta, znalo se da će, s obzirom na poznatu morfologiju, to predstavljati osnovni problem. Geodeti Tomislav Krivec, dipl. ing. i Marijan Bajuti, ing., predložili su i kao metodu odabrali tahimetriju s instrumentom koji ima bazisni koincidentni daljinomjer s prizmom stalnog kuta (slika 2), a može automatski reducirati horizontalnu projekciju mjerne vizure (BRT "Zeiss"). Kao što se vidi iz slike, daljina se mjeri pomicanjem prizme do poklapanja slike u okularu teodolita, a duljina se očita na skali bazisne letve pod markicom prizme. Instrument je namijenjen za dnevne radove i dovoljno je da je mjereni objekt osvijetljen pa se može mjeriti viziranjem bilo kojeg kontrastnog detalja (rub kuće, okvir prozora i sl.). Nažalost, svjetlosna je jakost dalekozora mala, a rasvjeta u speleološkom objektu preslaba i lošeg kontrasta za dovoljnu točnost mjerenja. Trebalo je riješiti svjetlosno označavanje mjerne točke.

U to vrijeme sam u Veternici mjerio laserom, pa sam predložio laserski spot kao markicu koja će se lako uočiti u špilji i mjeriti odabranim instrumentom. Nakon probe prijedlog je prihvaćen i geodetsko je snimanje Grgosove špilje obavljeno na taj način.



Slika 3: Skica profila Grgosove špilje u Otruševcu s rasporedom glavnih mernih točaka (GMT)
El. grafika: J. Posarić



Slika 2: Načelo koincidentnog mjerenja duljine s bazisnom letvom i prizmom stalnog kuta α
El. grafika: Juraj Posarić

MJERENJE U GRGOSOVOJ ŠPILJI

Grgosova špilja je maleni objekt složene morfologije s kanalima u tri razine koje su međusobno vezane vertikalnim odsjecima, ukupne visinske razlike 16.7 m i duljine poligona 53 m. Za mjerenje i vezanje objekta na državnu trigonometrijsku mrežu, u špilji i izvan nje stabilizirano je 9 glavnih mjernih točaka. Kad je obavljeno mjerenje potrebno za orijentaciju špiljskog poligona, počelo se s tahimetrijom detaljnih točaka unutrašnjosti objekta.

Ekipa je brojala četiri člana, uz T. Kriveca i M. Bajutija bili su Anđelko Novosel i Juraj Posarić. Geodeti su naizmjenice mjerili, odnosno vodili zapisnik mjera, Novosel je ciljao laserom, a Posarić je prenosio pribor i postavljao električni priključak lasera te birao detaljne mjerne točke. Prvi je dan izmjerena gornja etaža špilje. Drugi su dan (poslije podne) T. Krivec i J. Posarić bili sami. Glavne točke poligona su viskom prenesene u donju etažu, u tzv. Blatnu dvoranu, tako da je instrument mogao biti pozicioniran točno ispod točke 6 (sl. 3) otkuda se mogla mjeriti cijela dvorana. Laser je postavljen na fotoGRAFSKI stativ s kardanskom glavom, što je omogućilo usmjeravanje spota prema toč-

kama po izboru i fiksiranje odabranog položaja. Tako je mjeritelj potpuno samostalno odabirao detaljne mjerne točke na svim vidljivim, a nedostupnim mjestima stropa i stijena dvorane, fiksirao ih laserskim snopom te očitao podatke s teodolita. Dok je pripreman prijenos poligona u najnižu etažu špilje, T. Krivec je izmjerio cijeli donji dio Grgosove špilje praktično sam. Snimljeno je ukupno 108 detaljnih mjernih točaka, za što je bilo potrebno ukupno 11 sati, računajući pripremu, prijenos potrebne opreme i izlaz iz objekta.

Oba geodeta su bila vrlo zadovoljna ovom metodom, jer se pokazala vrlo djelotvornom iako su se s njom susreli prvi puta, a nije poznato je li ikada drugdje primijenjena za nešto slično.

Za potrebe mjerenja upotrijebljen je HeNe laser snage 1 mV napajan izmjeničnom strujom napona 220 V, što je bilo moguće zato što u špilji postoji električna instalacija. Laserski snop ima na izlazu iz cijevi promjer 0.18 mm, ali zbog nesavršenosti uređaja divergira pod kutom od otprilike 2', što znači da se na udaljenom cilju ocrta kao okrugla mrlja. To nije smetnja kod mjerenja jer se, bez obzira na udaljenost, na cilju vidi pod istim kutem, odnosno prividno jednaka mrlja crvena svjetla, što kod većih prostora olakšava uočavanje, a ne smeta mjerenju. U speleološkim bi objektima, za takav način autonomnog mjerenja mogao poslužiti i laser manje snage, koji ima malo veće rasipanje snopa, uz istu efikasnost, a nužno je da bude napajan vlastitim izvorom energije (baterija, akumulator). Pri radu s laserom treba voditi računa o opasnosti za vid takve energije pa bezuvjetno valja izbjeći izlaganje očiju snopu laserskog svjetla.

U speleološkim objektima, a osobito za dulja boravka čovjeka, povećava se u atmosferi sadržaj krutih čestica (ilovina, aerosol) i vodene pare (kondenzacija, magla). Te pojave uzrokuju raspršenje laserskog snopa (na taj se način može mjeriti koncentracija i veličina čestica u atmosferi), odnosno proširenje i slabljenje snopa na cilju. Pri radu u Grgosovoj špilji ta je pojava uočena ali nije predstavljala smetnju u mjerenju. O njoj ipak treba voditi računa pa pri planiranju mjerenja u speleološkom objektu gdje se očekuje takva smetnja, treba početi mjeriti od najudaljenijih točaka, ako se primjenjuje opisana metoda.

ZAKLJUČAK

Prostorni odnosi Grgosove špilje kraj Samobora mjereni su preciznom tahimetrijom upotrebom laserskog snopa za obilježavanje detaljnih mjernih točaka nedostupnih čovjeku. Upotrebom teodolita s koincidentnim daljinomjerom postignuta je točnost čitanja kuteva od 1', a duljina od 1 cm, tako da je dobiven speleološki topografski nacrt točnosti 7⁰ (UIS). Pokazalo se da mjerenje može obaviti jedan čovjek sam, ako se mjerenje dobro pripremi i da brzina mjerenja ovisi isključivo o vještini rukovatelja instrumentom te željenoj gustoći rastera detaljnih mjernih točaka. Za izradu nacrta visoke točnosti ta se metoda može predložiti kao apsolutno pouzdana i praktično bez ograničenja, jedino se treba služiti laserom s autonomnim izvorom energije.

LITERATURA

1. Macarol, S.: Praktična geodezija, Tehnička knjiznica Zagreb (1950)
2. J. Posarić: Ekološko modeliranje kao osnovni princip pri uređenju špilja, I Yu. simp. o turističnim jamah pri komisiji UIS, Sežana (1990) s. 63
3. J. Posarić: Ecological modelling-the first step and principle by arrangement of the cave; Proc. X Int. Cong. of Speleology, Budapest (1989) p.c-86a
4. J. Posarić: Ekološka podnošljivost-osnova zaštite krških ekotopa; Zbornik I Simp. o zaštiti karsta, Beograd (1992) s.56
5. J. Posarić: The analogue clinometer; Proc. IX Int. Cong. of Speleology, Barcelona (1986) p.330
6. J. Posarić i dr. Izvješće o prethodnim radovima za uređenje Grgosove špilje u Otruševcu kod Samobora, SK "Željezničar", Zagreb (1988)

SAŽETAK

Postupci ekološkog inženjerstva pri uređivanju i korišćenju speleoloških objekata pretpostavljaju točno poznavanje njihovih prostorno-položajnih odnosa. Set diferencijalnih jednadžbi koje opisuju npr. termodinamička svojstva špiljske atmosfere dati će upotrebljive rezultate, ako su relativne greške mjerenja volumena do 5 %, a površine stijena do 2%. Takvu točnost zadovoljava mjerenje geodetskim metodama koje će rezultirati nacrtom objekta 7⁰ točnosti UIS. I pri geodetskim radovima nastaju problemi mjerenja nedostupnih točaka, koji su rješavani na razne

načine. Za potrebe određivanja osnovnog stanja Grgosove špilje u Otruševcu kraj Samobora načinjen je visinskosituacijski snimak 7^o točnosti UIS. Geodeti Tomislav Krivec i Marijan Bajuti su kao mjernu metodu odabrali tahimetriju, a kao instrument teodolitelemetar za koincidentno mjerenje udaljenosti s bazisnom letvom i prizmom stalnog kuta. Za obilježavanje nedostupnih točaka je, na prijedlog Juraja

Posarića, upotrijebljen HeNe laser snage 1 mW. i to je prvo takvo do sada poznato mjerenje.

Pokazalo se da ta metoda omogućuje točno mjerenje špiljske morfologije sa 108 detaljnih točaka u objektu s tri etaže, dugačkom 53 m i dubokom 16.7 m za 10 sati i da ga može obaviti jedan mjeritelj sam.

SURVEY OF INACCESSIBLE POINTS IN CAVES USING LASER SUPPORTED COINCIDENCE METHOD

ABSTRACT

The procedures of ecological engineering proposed by arrangement and exploitation of natural underground objects need a very precise knowledge on their geometrical relationships. A set of differential equations describing, for instance, the thermodynamical properties of cave's atmosphere will give useful results only if relative errors of measurements of the space of the cave are within 5% and the square of the cave's walls within 2%, respectively. These conditions will be satisfied by using geodetic methods of survey, what results with a plan of the cave of the 7^o of accuracy (UIS). Even by use of these methods, it is difficult to solve the problem of measurement of inaccessible points of ceiling or walls. The Grgos cave in Otruševac by Samobor was measured geodetically for purposes of its arrangement as a show-cave. The geodesists Tomislav Krivec and Marijan Bajuti have chosen the tachymetry as a method of survey using a theodolite-telemeter based on fixed-angle prism coincidence principle. To mark inaccessible points, after suggestion given by J. Posarić, there was used the He-Ne laser of 1 mW, and beamspot on the detail-point (DT) was measured.

As is shown, a single operator can measure up to 108 detail-points in a 53 m long, 16.7 m deep and in three-levels formed cave within 10 hours with required accuracy.