



**Utjecaj speleološke
opreme na točnost
mjernih instrumenata
za topografsko
snimanje objekata**

Nicola Rossi | Speleološki odsjek HPD »Željezničar«

*Speleološka oprema
Autor: Nicola Rossi*

Uvod

Speleolozi se tijekom svojih istraživanja susreću i služe raznolikim komadima opreme, sastavljenim od metala i plastike te elektroničkih komponenti. Metalne komponente uglavnom su napravljene od aluminija, ugljičnog čelika (u daljnjem tekstu samo čelik), inoxa (korozijski postojanog čelika) ili specijalnih legura kao što je zicral (legura aluminija i cinka) (Bakšić i Glušević, 2019). Generalno, inox nije magnetsčan zbog svoje kristalne rešetke, no tijekom obrade može doći do lokalne promjene rešetke, pa na tim mjestima postaje blago magnetsčan. Oprema izrađena od ovih materijala koristi se kao osobna oprema za kretanje speleologa po objektima i kao postavljачka oprema za opremanje objekata. Tijekom istraživanja jedan od glavnih ciljeva je topografsko snimanje objekata, što obuhvaća uzastopno povlačenje poligonskih vlakova mjerenjem udaljenosti, pada i azimuta između dviju točaka i prenošenja tih podataka na papir ili, u novije vrijeme, na mobitel/tablet. Kretanje speleološkim objektima nije uvijek jednostavno pa se često mjeritelj mora postaviti u nezgodne položaje ili mjeriti u uskim, ograničenim prostorima da bi izmjerio podatke za idući vlak. Takve situacije neizbježno dovode mjerni uređaj u blizinu speleološke opreme koja može utjecati na magnetski senzor unutar mjernog uređaja, koji služi za očitavanje azimuta, i time poremetiti poligonski vlak, što na kraju znači da je nacrt neiskoristiv te ga je potrebno ponoviti. Stoga svaki mjeritelj mora biti svjestan opreme koju ima na sebi prilikom mjerenja kako ne bi ugrozio uspješnost istraživačke akcije. U ovom članku ispitan je utjecaj osobne i postavljачke opreme u čijoj bi se blizini mogao naći mjerni uređaj na očitavanje azimuta. Ispitivanje je provedeno na 28 komada opreme, za dva mjerna uređaja – Leica Disto X310 i BRIC4 (od eng. *Bluetooth Ruggedized Integrated Cartographer*). Za očitavanje azimuta ovi uređaji služe se magnetometrija, a, konkretno, oba uređaja u trenutnim verzijama koriste PNI RM3100 magnetometre, pri čemu BRIC ima dva komada, a Disto samo jedan (<https://www.bricsurvey.com/about>; Landolt, 2020; Fausnight, 2022). Popis korištene opreme prikazan je u Tablici 1.

Sva ispitivanja provedena su u šumskom okruženju u kolovozu 2022. tijekom speleološkog logora na Cetini u organizaciji SOŽ-a. Oba uređaja

kalibrirana su na licu mjesta prije ispitivanja korištenjem 14 mjernih grupa. Greške kalibracije za Disto provedene za potrebe ovog ispitivanja imaju srednju vrijednost (μ) $0,46^\circ$ i standardnu devijaciju (σ) $0,24^\circ$, a za BRIC je $\sigma = 0,26^\circ$, dok srednja vrijednost nije navedena. Radi usporedbe, greške kalibracije s 22 grupe mjerenja koje je naveo Corvi (2021) za Disto imaju $\mu = 0,13^\circ$, $\sigma = 0,10^\circ$, a za BRIC s 18 grupa imaju $\sigma = 0,106^\circ$, a srednja vrijednost nije navedena. U priručniku BRIC4 uređaja (Fausnight, 2022) navode se točnost (odstupanje, μ) $< 0,20^\circ$ i preciznost (st. devijacija, σ) $< 0,10^\circ$.

Prvi eksperiment

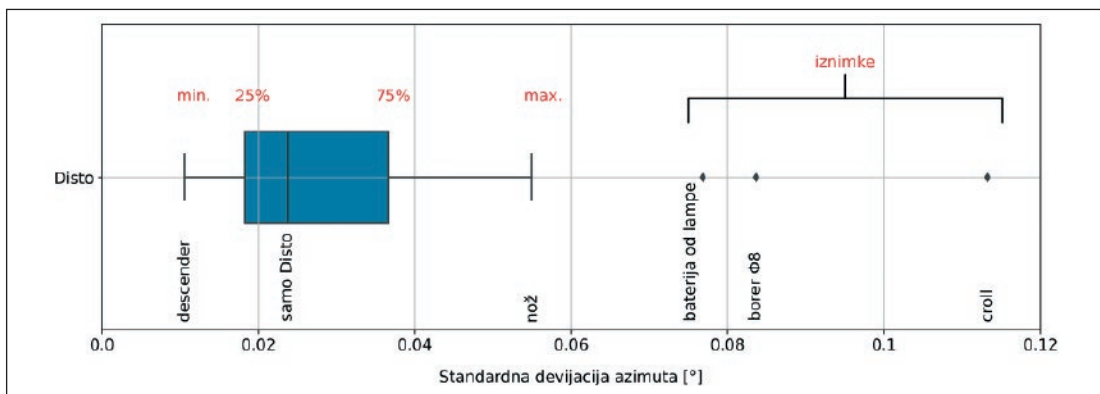
U prvom eksperimentu najprije je napravljeno 30 referentnih mjerenja bez speleološke opreme u blizini uređaja, a zatim još po 30 mjerenja za svaki komad opreme postavljen neposredno uz Disto, dakle ukupno 870 mjerenja. Cilj ovog ispitivanja bio je provjeriti ima li oprema utjecaja na raspršenost rezultata mjerenja (na preciznost uređaja), ili ih samo otklanja za neku konstantnu vrijednost (utječe samo na točnost). To se može vidjeti preko standardne devijacije azimuta, uz pretpostavku da rezultati prate normalnu raspodjelu vjerojatnosti. Na Slici 1 prikazana je raspršenost azimuta oko srednje vrijednosti za svaki komad opreme. Izolirane točke na desnoj strani dijagrama označavaju rezultate koji ne upadaju u statistički očekivani raspon prikazan na lijevoj strani dijagrama. Sa slike se vidi da su dobivene i veća i manja raspršenost nego u slučaju mjerenja samo s Distom bez opreme u blizini, te da se ta vrijednost kreće od $0,01^\circ$ do $0,055^\circ$. Iznimno je za tri komada opreme dobiveno nešto veće odstupanje koje odskače od ostatka, do $0,11^\circ$. Zbog ovako niskih vrijednosti teško je odvojiti utjecaj opreme od slučajnih grešaka (nesavršenosti uređaja, nesavršenosti u mjerenju), no, u svakom slučaju, ove su vrijednosti zanemarivo male u usporedbi s točnosti uređaja. Statistički, 99,7 % svih mjerenja upada unutar raspona od ± 3 standardne devijacije. To bi značilo da bi tijekom istraživanja uz ovakve standardne devijacije sva mjerenja upala unutar raspona od najmanje $\pm 0,03^\circ$ do najviše $\pm 0,33^\circ$ od mjerenog azimuta.

Zaključak prvog eksperimenta je da blizina opreme samo otklanja izmjereni azimut od stvarnoga za neku konstantnu vrijednost, bez znatnog

Tablica 1. Popis ispitane opreme

Oprema	Marka i model	Vrsta opreme	Materijal metalnih komponenti ^[1]
Descender	Petzl Stop (stari model)	Osobna	aluminij, čelik ^[2]
Delta (čelična)		Osobna	čelik
Prsna penjalica (»krol«)	Petzl Croll	Osobna	aluminij, inox vratašca
Ručna penjalica (»bloker«)	Petzl Bloker	Osobna	aluminij, inox vratašca
Nožna penjalica (»pantin«)	CT Step-S	Osobna	N/D ^[1a]
Prsni pojas (kopča)	Repetto / AV	Osobna	N/D
Mobitel	Xiaomi Redmi Note 9 Pro	Osobna	N/D
Pojas (kopče)	Petzl Superavanti	Osobna	čelik
Pojas (kopče)	MTDE Picos	Osobna	N/D
Pomoćna rasvjeta ^[3]	Petzl Actik Core (3×AAA baterije)	Osobna	N/D
Rasvjeta ^[3]	^[4]	Osobna	kućište od aluminija
Baterija za rasvjetu ^[3]	3 × 18650 baterije ^[4]	Osobna	kućište od aluminija
Kolotura	Petzl Fixe	Osobna	aluminij
Švicarski nož	Victorinox Helmsman	Osobna	N/D
Ključ 13-17		Postavljačka	N/D
Štand	Raumer	Postavljačka	inox A316L
Kladivo	Raumer	Postavljačka	CrMo čelik, inox AISI 304, aluminij ^[5]
Čelični karabiner	Maillon φ8	Postavljačka	galvanizirani čelik
Čelični karabiner	Maillon φ10	Postavljačka	galvanizirani čelik
Čelični karabiner	Stubai 3400	Postavljačka	galvanizirani čelik
Borer φ8		Postavljačka	nema informacija
Bušilica	Bosch GBH 18V-EC	Postavljačka	nema informacija
Baterija za bušilicu	Bosch 5Ah 18V	Postavljačka	nema informacija
Skyhook	Petzl Goutte d'eau	Postavljačka	čelik
Ring	Raumer	Postavljačka	inox A316L
Čelična pločica	Raumer	Postavljačka	inox A316L
Fix φ8	M8x75-A4	Postavljačka	inox AISI 316
Fix φ10	Raumer, M12L	Postavljačka	inox A316L

[1] Podaci preuzeti sa stranica proizvođača, ili N/D (»nije dostupno«)
 [1a] Slična Petzlova penjalica izrađena je od aluminija i inoxa
 [2] Novi Petzl Stop izrađen je od aluminija i inoxa
 [3] Upaljena rasvjeta; Paar (2015) govori o utjecaju struje iz nekoliko vrsta lampi na očitavanje azimuta
 [4] Branko Šavor, PD Dubovac
 [5] Za Petzlovo kladivo nema informacija



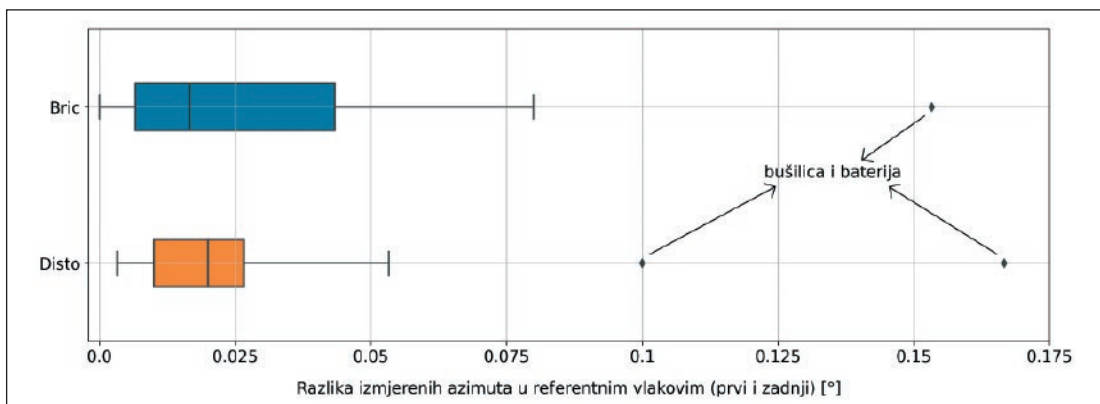
Slika 1. Utjecaj pojedinog komada opreme na odstupanje od izmjerene srednje vrijednosti azimuta

zmanjenja preciznosti mjerenja. Treba naravno imati na umu da u stvarnoj situaciji oprema stalno mijenja svoj položaj i orijentaciju u odnosu na uređaj (koliko god malo to bilo), što bi ipak na kraju proizvelo veliku raspršenost rezultata mjerenja oko stvarnog azimuta, a ne sistematsku grešku koju bi se potencijalno dalo ukloniti u obradi.

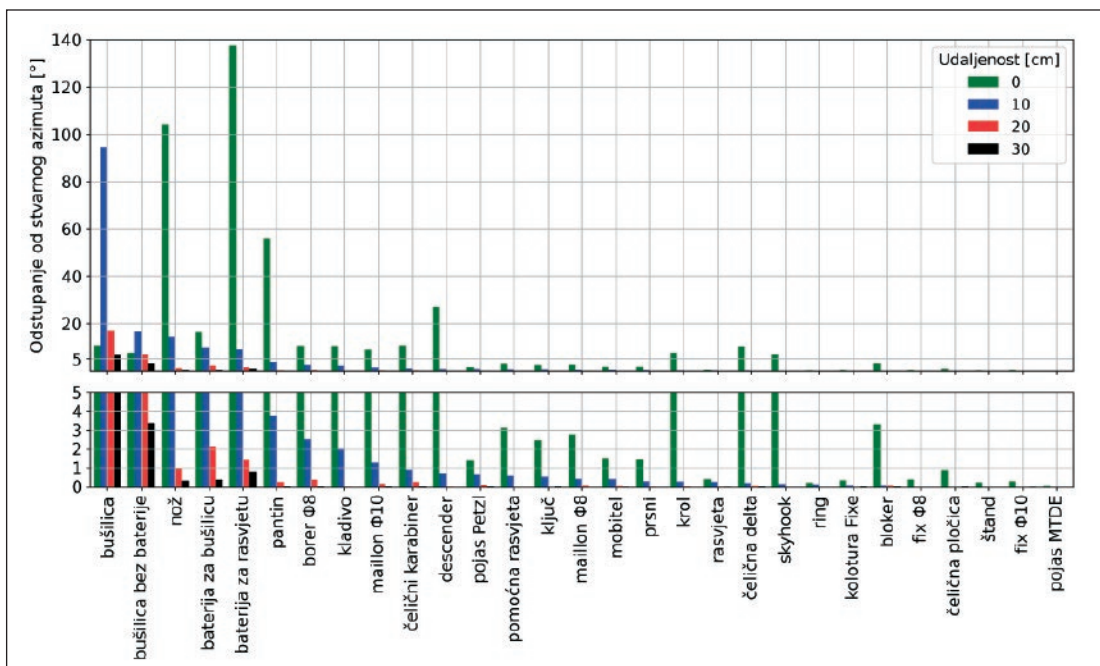
Drugi eksperiment

Zbog dobivene niske standardne devijacije u prvom eksperimentu, u sljedećim ispitivanjima povučena su samo tri mjerenja za svaki komad opreme, što bi se inače u topografskom snimanju smatralo jednim »vlakom«. Manji potreban broj mjerenja također je omogućio ispitivanje svakog komada opreme na različitim udaljenostima od uređaja. Prema tome, za sljedeća ispitivanja za svaki komad opreme povučeno je 5 ili 6 mjernih

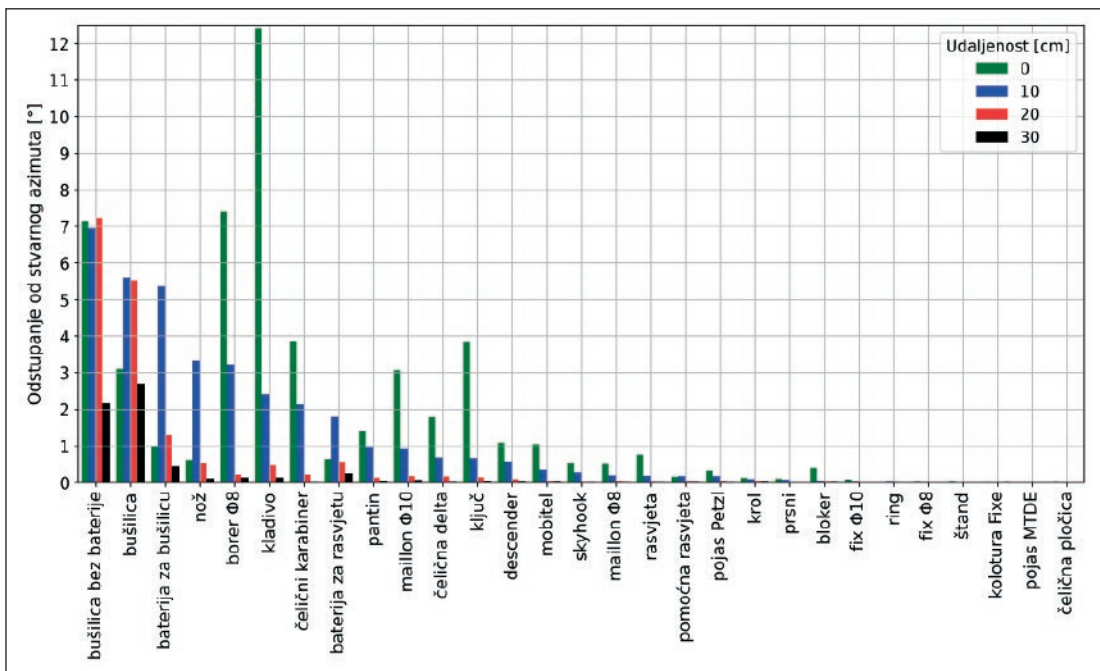
vlakova (15 ili 18 mjerenja): prvo za uređaj bez blizine opreme, drugi za opremu odmah na/uz uređaj, treći za udaljenost od 10 cm pored uređaja, četvrti za udaljenost 20 cm pored uređaja, peti za udaljenost 30 cm pored uređaja i zadnji (šesti) ponovno za uređaj bez blizine opreme. Taj zadnji vlak (koji nije povučen za svaki komad opreme) napravljen je zato da se provjeri je li tijekom ispitivanja došlo do pomaka uređaja, što bi dalo lažna odstupanja azimuta. Dakle, prvi i šesti (ako postoji) vlak predstavljaju referentna mjerenja za svaki komad opreme. Ova ispitivanja provedena su za oba instrumenta (Disto i BRIC) (ukupno oko 500 mjerenja na svakom). Za svaki komad opreme odstupanje između prvog i zadnjeg vlaka ispalo je relativno nisko, osim kod bušilice sa i bez baterije (Slika 2). Izolirane točke na Slici 2 označavaju rezultate koji previše odskakuju od ostalih, koji se



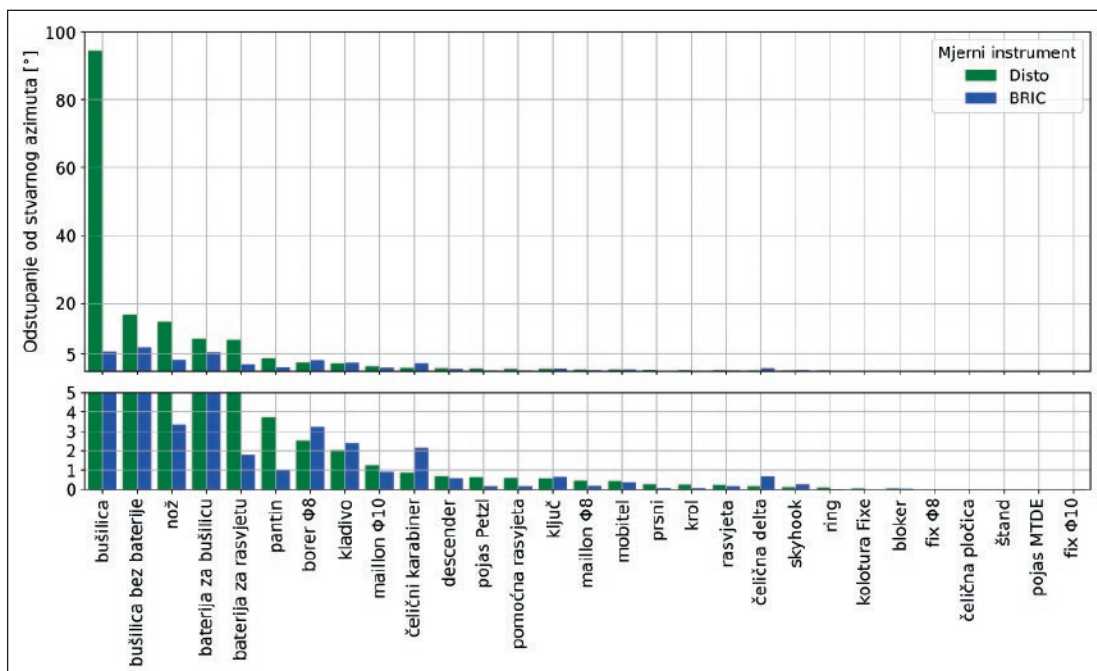
Slika 2. Odstupanje između prvog vlaka (bez opreme u blizini) i zadnjeg vlaka (bez opreme u blizini)



Slika 3. Odstupanje azimuta u blizini svakog komada opreme za različite udaljenosti, sortirano po utjecaju na 10 cm udaljenosti (Disto)



Slika 4. Odstupanje azimuta u blizini svakog komada opreme za različite udaljenosti, sortirano po utjecaju na 10 cm udaljenosti (BRIC)



Slika 5. Usporedba odstupanja azimuta u blizini svakog komada opreme na udaljenosti od 10 cm za Disto i BRIC

nalaze unutar raspona prikazanih na lijevoj strani dijagrama. Zbog sumnje na pomak instrumenta ponovljena su mjerenja s ovom opremom, ali su uvijek dobivena odstupanja. Ovo može ukazivati na to da bi pojedini komadi opreme mogli ostaviti trajan utjecaj na očitavanje azimuta (do iduće kalibracije), što se može dogoditi i pri transportu opreme, iako u granicama do 0,2°, što je relativno blizu prethodno navedenim greškama samih instrumenata. Stoga je preporuka kalibrirati uređaj neposredno prije mjerenja ili ga transportirati odvojeno od bušilica i baterija.

Očekivano, svaki komad opreme pokazuje veći utjecaj na azimut što je bliže uređaju, što se i vidi na Slikama 3 i 4. Kod pojedinih komada opreme (baterija od lampe, nož, baterija za bušilicu, bušilica s baterijom, bušilica bez baterije) dobiveno je manje odstupanje za neposrednu blizinu uređaju nego na 10 cm udaljenosti. Mogući razlozi za takvo ponašanje su sljedeći:

- Osjetljivost senzora na blizinu opreme mogla bi biti drugačija s različitih strana (za neposrednu blizinu je komad opreme stavljen **na** uređaj, a za ostala mjerenja stavljen je **pored**).

- (Ne)povoljna orijentacija opreme u odnosu na senzor daje manja odstupanja bez obzira na jačinu utjecaja.
- Zbog nezgodnog položaja opreme na uređaju magnetični dijelovi našli su se s obje strane senzora, pa bi otkloni azimuta postojali u oba smjera, što ukupno rezultira manjim odstupanjem u jednom smjeru.

Navedene točke trebalo bi uzeti u obzir prilikom budućih ispitivanja na način da oprema bude uvijek jednako orijentirana tijekom istog ispitivanja i da se približava senzoru uvijek s iste strane. Na Slici 3 prikazan je utjecaj svakog komada opreme na očitavanje azimuta na Disto, na udaljenostima 0, 10, 20 i 30 cm od uređaja. Zbog prethodno navedene greške, utjecaji komada opreme poredani su prema svojem utjecaju s 10 cm udaljenosti, ali su na dijagramu prikazani utjecaji za sve razmake. Na Slici 4 prikazana je ista stvar, ali za BRIC. Prema prikazanim rezultatima izgleda da je BRIC puno manje osjetljiv na metalne objekte (najveće odstupanje kod BRIC-a je 10 puta manje od najvećeg odstupanja kod Dista), iako je za pojedine predmete odstupanje malo veće kod BRIC-a nego kod Dista,

za što razlog mogu biti male nejednakosti u pozicioniranju predmeta u odnosu na jedan i drugi uređaj tijekom mjerenja. Slika 5 daje usporedbu utjecaja svakog komada opreme na mjerenje azimuta za Disto i BRIC – usporedba je dana za odstupanja pri udaljenosti od 10 cm radi kvalitetnije usporedbe, s obzirom na prethodno navedene greške.

Na temelju prikazanih rezultata ispitana oprema može se podijeliti u tri skupine za svaki uređaj, ovisno o utjecaju na očitavanje azimuta. Skupine su definirane kao relativan utjecaj svakog komada opreme na pojedini uređaj, umjesto ukupnih vrijednosti odstupanja, što daje različite skupine za svaki uređaj. Skupina 1 ima jako nizak utjecaj, skupina 2 srednji utjecaj, i skupina 3 visok utjecaj. Skupine su prikazane u Tablici 2 i na Slici 6. Sa Slike 6 vidi se da unutar prve dvije skupine utjecaj postaje izrazito nizak već na 20 cm udaljenosti, dok u trećoj skupini postoji ekstreman utjecaj u neposrednoj blizini i 10 cm udaljenosti, a za neke komade opreme unutar te skupine postoji utjecaj od nekoliko stupnjeva i s udaljenosti od 30 cm.

Zaključak i preporuke

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da za pojedine komade opreme (bušilica, baterija za bušilicu, baterija za lampu) postoji odstupanje i pri udaljenosti od 30 cm, pa bi u budućim istraživanjima trebalo provjeriti utjecaj ovih komada i pri većim udaljenostima. Također, može se uočiti da su generalno za Disto veća odstupanja nego za BRIC4, a mogući razlozi su pozicija i djelomična izolacija senzora unutar uređaja, a i činjenica da BRIC ima dva magnetometra u sebi, za razliku od trenutnih modula (čipova) za Disto, na kojima se nalazi samo jedan magnetometar. Kod nekih komada opreme odstupanje za BRIC ipak je ispalo nešto veće nego za Disto, ali u tim su slučajevima razlike relativno male, svega par stupnjeva, pa je moguće da se tu radi o nejednakostima u pozicioniranju opreme u odnosu na uređaje tijekom mjerenja. S obzirom na to da utjecaj pojedinog komada opreme na očitavanje azimuta, između ostalog, ovisi o njegovoj orijentaciji (Paar, 2015) i položaju u odnosu na senzor, vrijednosti dobivene ovim mjerenjima mogu poslužiti kao okvirni pokazatelji za stjecanje dojma o promatranom problemu. Prema

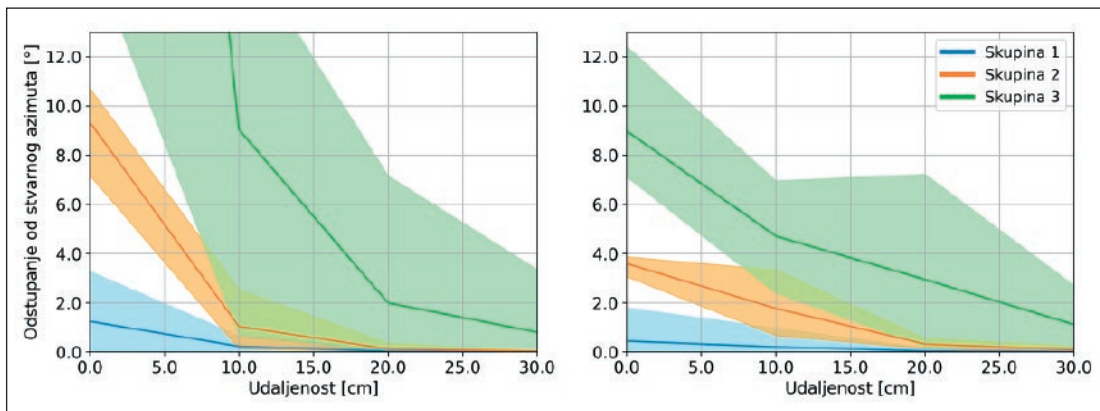
tome, dane su preporuke i komentari na temelju primijećenih trendova.

- Generalno se može primijetiti da unutar 10 cm od uređaja skoro svaki komad ispitane opreme ima utjecaj koji u dovoljnoj mjeri remeti mjerenje azimuta da ga se ne može zanemariti. Stoga treba nastojati da svaki komad opreme (i oni koji ovdje nisu ispitani) bude udaljen barem 10 cm od uređaja prilikom mjerenja.
- Često se u uskim prostorima nastoji naciljati laserom na iduću točku, a pritom se nesvjesno uređaj približi kacigi s rasvjetom. Pomoćnu rasvjetu također često nosimo oko vrata, a može utjecati na mjerenja. Lampe je potrebno udaljiti 10 – 20 cm od uređaja, a posebnu pozornost treba obratiti na bateriju za lampu kod koje postoji utjecaj i na 30 cm, pa je potrebno udaljiti uređaj više od toga. S obzirom na to da danas na tržištu postoje mnoge lampe s različitim baterijama i od različitih materijala, preporučljivo je prije polaska u istraživanje provjeriti kakav utjecaj ima lampa mjeritelja na očitavanje azimuta ako se radi o neuobičajenoj lampi.
- Osim krola, koji se uvijek nalazi malo ispod prsa, nož i mobitel također se često nađu u razini prsa ako se nose u džepu od kordure. Blizina takve opreme još je jedan razlog zašto se preporuča uvijek mjeriti od fiksne točke na podu/zidu/stropu objekta, a ne od prsa ili drugog dijela tijela.
- Nije preporučljivo transportirati mjerne instrumente zajedno s bušilicama i baterijama.
- Sidrišta su često pogodna mjesta za točke. Ako se radi o aluminijskom kompletu (s čeličnim fixom), 10 cm je dovoljna udaljenost da bi greške bile zanemarive. Ako se radi o čeličnom kompletu, potrebno je udaljiti uređaj minimalno 20 cm.
- Ako tijekom crtanja visimo na špagi, descender zauzima prostor ispred i u razini naših prsa, pa može biti dosta zahtjevno odmaknuti sebe od odabrane točke ili odabrati točku od sebe tako da bude udaljena barem 20 cm od descendera.
- Treba obratiti pažnju i na nakit (naušnice, ogrlice, narukvice...), satove i ostale metalne predmete koji nisu dio speleološke opreme.

Tablica 2. Podjela opreme na skupine ovisno o utjecaju na azimut kod svakog uređaja

	Disto	BRIC
Skupina 1	tikka	čelična pločica
	fix $\varphi 8$	fix $\varphi 10$
	ključ	pojas MTDE
	maillon $\varphi 8$	štant
	ring	kolotura Fixe
	pojas MTDE	fix $\varphi 8$
	prsni	prsni
	fix $\varphi 10$	ring
	štant	pojas Petzl
	čelična pločica	skyhook
	kolotura Fixe	lampa
	lampa	maillon $\varphi 8$
	mobitel	bloker
	pojas Petzl	čelična delta
	bloker	tikka
		croll
		descender
	mobitel	
	pantin	

	Disto	BRIC
Skupina 2	skyhook	čelični karabiner
	krol	ključ
	kladivo	maillon $\varphi 10$
	čelična delta	nož
	maillon $\varphi 10$	baterija za lampu
	čelični karabiner	
	borer $\varphi 8$	
Skupina 3	descender	borer $\varphi 8$
	pantin	kladivo
	nož	baterija za bušilicu
	baterija za bušilicu	bušilica bez baterije
	baterija za lampu	bušilica
	bušilica bez baterije	
	bušilica	



Slika 6. Skupine opreme prema utjecaju na azimut za Disto (lijevo) i BRIC (desno) (lijeva slika je odrezana po vertikalnoj osi da odgovara desnoj)



Slika 7. Dio ispitanih komada opreme. Autor: Nicola Rossi

Reference

- *About the BRIC 4*, n. d., <https://www.bricsurvey.com/about> (10. 11. 2022.)
- Bakšić, D. i Glušević, M., 2019: Speleološka oprema, u: *Speleologija, II. dopunjeno i izmijenjeno izdanje*, Speleološko društvo »Velebit«, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Zagreb.
- Corvi, M. 2021: DistoX2, SAP5 and BRIC4, <https://ia801800.us.archive.org/32/items/disto-xsap-bric-20200302/DistoXSapBric-20210329.pdf> (10. 11. 2022.)
- Fausnight, K., 2022: *BRIC4 Survey Tool User Manual*, Rev C
- Landolt, O., 2020: DistoX2 V1.2 Hardware Information Package, <https://paperless.bheeb.ch/download.html#Hardware> (10. 11. 2022.)
- Paar, D., 2015: Negativan utjecaj električne rasvjete na preciznost snimanja speleoloških objekata, <https://speleologija.eu/clanci/kompas.html> (10. 11. 2022.)

The effect of caving equipment on the accuracy of measuring instruments for cave surveying

In speleological explorations, cavers use equipment constructed from various types of metals and electronic components, among other materials. Due to the magnetic properties of these metals, the various pieces of equipment can affect one of the primary goals of each exploration – cave surveys, by affecting the azimuth readings taken with measuring instruments. In this paper the effect that the most common pieces of equipment have on the azimuth readings is analysed, with the help of two measuring instruments – Leica Disto X310 and BRIC4. Their effect is examined at distances between 0 and 30 cm from the instruments, and for each instrument three groups of pieces of equipment are identified based on their effect on azimuth readings. Recommendations are given regarding handling of the equipment and instruments in specific situations we find ourselves in while surveying caves.