

Rezime:

U ovom radu govori se o promenama magnetnog polja Zemlje i njihovom uticaju na tačnost izvođenja orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Pored toga, rad razmatra postojeća rešenja upotrebe popravke busole sa aspekta tih promena.

Ključne reči: magnetno polje Zemlje, promene magnetnog polja Zemlje, deklinacija magnetnog polja Zemlje, instrumenti koji sadrže magnetnu iglu, popravka busole, orijentacija.

INFLUENCE OF THE VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD
ON ORIENTATION

Summary:

This article presents the variations of the geomagnetic field and their influence on the accuracy of orientation by instruments with a magnetic needle. The article also deals with using the existing solutions for compass corrections in correlation with the variations of the geomagnetic field.

Key words: geomagnetic field, variations of the geomagnetic field, declination of the geomagnetic field, instruments with a magnetic needle, corrections of the compass, orientation.

Uvod

Potrebe za brzom i tačnom orijentacijom uslovile su razvoj metoda i sredstava za orijentaciju. U početku su to bila primitivna sredstva kojima se približno mogao odrediti pravac magnetnog severa ili magnetnog azimuta. Njihovim usavršavanjem, kao i konstrukcijom novih sredstava stvorena je široka paleta instrumenata koji su se u većoj ili manjoj meri koristili i koriste za orijentaciju.

Dominantna uloga u izvođenju orijentacije u proteklom periodu svakako pripada instrumentima sa magnetnom

iglom, zbog relativno brzog izvođenja orijentacije i niskih troškova nabavke instrumenata.

Nepoklapanje magnetnog meridijana sa geografskim, zatim vremenske i prostorne promene deklinacije magnetnog polja Zemlje, kao i neadekvatna rešenost pregleda instrumenata koji sadrže magnetnu iglu, ovaj način orijentacije čini manje pouzdanim, pogotovo u slučajevima kada je potrebno postizanje visoke tačnosti. Pomenuti problemi rešavani su uprošćenim sagledavanjem, često i nevažavanjem saznanja o pojavama vezanim za fenomen magnetnog polja Ze-

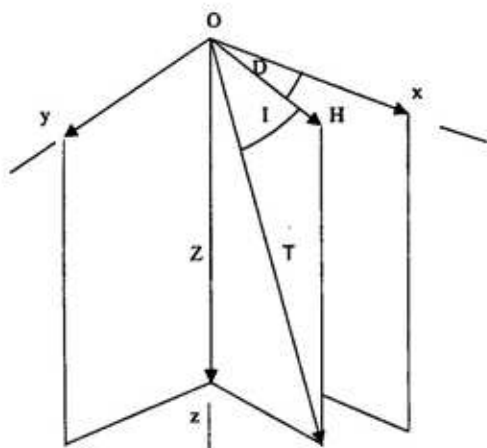
mlje. Rešenja do kojih se dolazilo ovakvim pristupom a koja se prvenstveno odnose na prostornu i vremensku promenljivost deklinacije magnetnog polja Zemlje neadekvatna su, pa čak i suprotna postojećim saznanjima nauke o magnetizmu Zemlje.

Cilj ovog rada jeste da ukaže na karakter i veličinu prostornih i vremenskih promena i da se u tom smislu sagledaju postojeća rešenja i zauzmu stavovi o izvođenju orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu.

Elementi magnetnog polja Zemlje

Kao i svi drugi magneti i Zemlja ima moć privlačenja, pokazuje polaritet i ima svoje polje sila. Izuzimajući njenu ogromnu veličinu koja kao takva nije magnetna karakteristika, Zemlja deluje kao i bilo koji drugi sferni magnet [4].

Magnetno polje Zemlje u bilo kojoj tački može se predstaviti vektorom T koji je tangenta na magnetne linije sile u toj tački (slika 1). Vertikalna ravan u kojoj leži vektor magnetnog polja naziva se ravan



Sl. 1 – Vektor magnetnog polja Zemlje

magnetnog meridijana. Ona je bitan element za orijentaciju instrumentima koji sadrže magnetnu iglu, jer se igla uvek postavlja u ravni magnetnog meridijana.

Ako se u tačku posmatranja O postavi početak troosnog pravouglkog koordinatnog sistema, čija je ravan xOy horizontalna, x -osa se orijentiše u smeru astronomskog severa, y -osa u smeru astronomskog istoka, a z -osa naniže, onda se u ovakvom koordinatnom sistemu vektor magnetnog polja može razložiti na komponente, a njegov položaj u prostoru odrediti uglovima koje on i njegove projekcije zaklapaju sa koordinatnim osama.

Projekcija vektora magnetnog polja T na horizontalnu ravan xOy predstavlja horizontalnu komponentu H , a projekcija vektora magnetnog polja na z -osu vertikalnu komponentu Z .

Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer astronomskog i smer magnetnog severa u tački O naziva se magnetna deklinacija D . To je ugao koji horizontalna komponenta H magnetnog polja Zemlje zaklapa sa x -osom.

Ugao u vertikalnoj ravni koji vektor magnetnog polja T zaklapa sa horizontalnom ravni xOy naziva se magnetna inklinacija I .

Terenskim merenjima elemenata magnetnog polja Zemlje dobijaju se podaci o njihovim vrednostima. Na osnovu tih vrednosti izrađuju se magnetne karte na kojima je raspodela elemenata magnetnog polja prikazana izolinijama. S obzirom na to da se elementi magnetnog polja Zemlje menjaju u toku vremena, to se magnetne karte odnose na određeni period, odnosno, epohu. U zavisnosti od prostora koji obuhvataju, magnetne karte

se izrađuju za površ cele Zemlje (svetske karte), i karte koje obuhvataju manje površi, odnosno teritoriju jedne države (nacionalne karte). Prikazivanjem elemenata magnetnog polja Zemlje na svetskim kartama gubi se osobenost magnetnog polja na malim prostorima, pa takve karte predstavljaju globalno magnetno polje Zemlje. Na nacionalnim kartama karakter magnetnog polja je vernije prikazan u odnosu na svetske, ali se i kod njih zbog razmera, preglednosti karte i dr. ne uočavaju lokalne nepravilnosti, pa se za njih može reći da predstavljaju globalno (regionalno) polje te države.

Deklinacija magnetnog polja Zemlje

Kako je magnetna deklinacija ugao u horizontalnoj ravni koji smer astronomskog severa N_a obrazuje sa smerom magnetnog severa N_m u tački O , računanje magnetne deklinacije svodi se na određivanje vrednosti astronomskog¹ A_{za} i magnetnog² azimuta A_{zm} orijentacione tačke, odnosno njihove razlike (slika 2).

Deklinacija D tačke O izračunava se po sledećem izrazu:

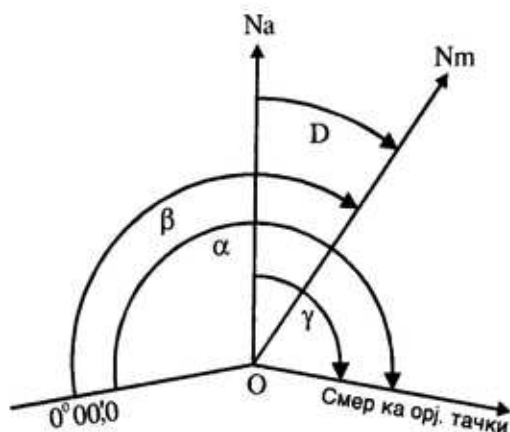
$$D = A_{za} - A_{zm} = \gamma - (\alpha - \beta), \quad (1)$$

gde je:

γ – geografski azimut orijentacione tačke,
 α, β – mereni horizontalni uglovi u odnosu na smer magnetnog severa i na smer ka orijentacionoj tački čija razlika predstavlja magnetni azimut.

¹ Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer astronomskog severa i smer ka orijentacionoj tački u nekoj tački O .

² Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer magnetnog severa i smer ka orijentacionoj tački u nekoj tački O .



Sl. 2 – Određivanje deklinacije magnetnog polja Zemlje

Smer astronomskog severa, odnosno, vrednost astronomskog azimuta, određuje se astrogeodetskim metodama opažanjem Sunca ili nekog drugog nebeskog tela, dok se smer magnetnog severa, odnosno vrednost magnetnog azimuta određuje nekom od magnetnih metoda.

Prostorne promene magnetnog polja Zemlje

Kada se govori o prostornoj promenljivosti magnetnog polja Zemlje, prvenstveno se misli na njegovu površinsku raspodelu. Pošto se izvor magnetizma nalazi u unutrašnjosti Zemlje, linije magnetnih sila koje se prostiru oko njega moraju proći kroz Zemljinu koru. Ona se sastoji od magnetski heterogenih materijala koji izazivaju deformacije magnetnog polja. Merenja izvršena na Zemljinoj površi ukazuju na veoma prostrane zone izgrađene od stena različite permeabilnosti kao što su planinski venci, geološki bazeni, regionalni rasedi i dr. Ovi tektonski oblici u velikoj meri deformišu oblik linija sila, tako da one odstupaju od svog

normalnog oblika. Takve deformacije uslovljavaju regionalne i lokalne anomalije različitih površina i intenziteta. Ovakva površinska raspodela namagnetisanja uslovljava je nemogućnost definisanja preciznog matematičkog modela prostorne promene elemenata magnetnog polja, pa bi se sa aspekta orijentacije, moglo govoriti o površinama sa većim i manjim anomalijским vrednostima.

U okviru radova koje je u proteklom periodu izvodio Vojnogeografski institut, može se uočiti da je ovakav karakter polja zastupljen i kod nas. Promene deklinacija, vrednosti i do pola stepena (tabela 1), uočavaju se i na kompenzacionim površinama aerodroma³ (slika 3).

Tabela 1
Vrednosti deklinacija na kompenzacionoj površini aerodroma Priština

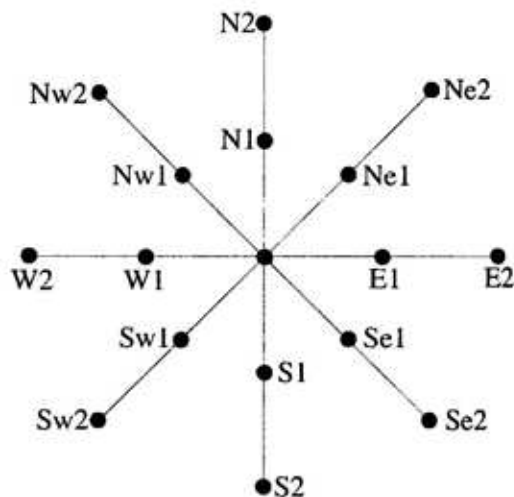
Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije
N1	2,45	E1	2,63	S1	2,43	W1	2,50
N2	2,52	E2	2,63	S2	2,55	W2	2,42
Ne1	2,53	Se1	2,55	Sw1	2,72	Nw1	2,38
Ne2	2,55	Se2	2,58	Sw2	2,57	Nw2	2,48

Vrednosti deklinacija date su u stepenima.

U okviru svojih radova Vojnogeografski institut je izvršio merenja deklinacije na delu Zlotske geomagnetne anomalije. Prostor na kojem su vršena merenja predstavljaju njive pod ratarskim kulturama i ne stiče se utisak da se radi o anomalijama.

Merenja su izvršena na 93 tačke (slika 4), koje se nalaze na međusobnom rastojanju od 45 m dok su visine instrumenta bile 1,6 m [2].

³ Prostor gde se vrši baždarenje kompasa na avionima i gde se tačke premera nalaze na međusobnom rastojanju od 2,5 m.



Sl. 3 – Tačke kompenzacione površine



Sl. 4 – Projektovana mreža tačaka

Da bi se uočila promenljivost deklinacije po vertikalnom gradijentu (visini), izvršena su merenja i pri visini instrumenta od 1,1 m.

Iz rezultata dobijenih obradom merenja (tabela 2), može se uočiti izrazito anomalijски karakter ovog područja. Raspon deklinacija kreće se od 31,23 stepeni na tački F1 do -44,5 stepeni na tački S2. Takođe, obradom merenja u redu D može se uočiti promena po vertikalnom gradijentu, odnosno visini, koja se kreće u granicama od 20 do 30 minuta.

S obzirom na prethodno izloženo, a imajući u vidu merenja deklinacije koja

Vrednosti deklinacija na delu Zlote geomagnetne anomalije [2]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	19,28	16,37	13,78	10,28	-22,35	-11,06	-3,32			
B	17,02	17,8	2,72	12,05	-4,27	-33,53				
C	15,78	13,1	15,98	15,9	-2,53	-41,05				
D _{1,6}		16,57	19,97	7,93	-16,43	-28,5				
D _{1,1}		16,42	19,58	7,73	-17,08	-28,85				
E	25,17	15,03	15,9	2,7	-15,73	-21,88				
F	17,15	31,23	24,9	-5,53	-17,38	-15,22				
G		27,68	16,99	-14,15	-13,68	-12,52	-9,83			
H		22,6	1,9	-10,25	-11,32	-10,77	-9,28			
I			3,02	-12,68	-12,03	-10,87	-9,57			
J			3,58	-4,73	-9,57	-12,48	-10,58			
K					-19,15	-14,92	-12,53	-10,49		
L					-18,50	-16,55	-13,63			
LJ					-7,17	-16,47				
M						-14,63				
N		-10,78	-12,08	-13,07	-13,4	-13,98	-15,02			
O		-8,93	-8,53	-7,73	-7,05	-6,03	-4,35	-4,58	-4,23	-4,78
P	-10,17	-13,23	-16,5	-21,23	-31,05					
R	-14,88	-25,77	-28,22							
S	-26,72	-44,5	-37,5							

su izvršili Vojnogeografski institut i Geomagnetski zavod, može se konstatovati sledeće:

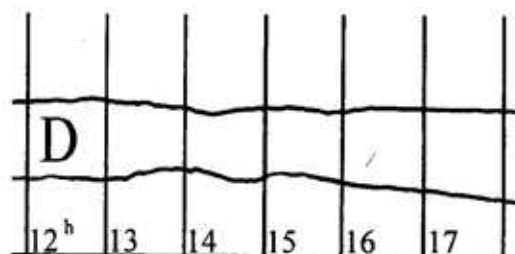
- prostornu raspodelu elemenata magnetnog polja Zemlje, a samim tim i deklinacije nije moguće matematički definisati;
- površi gde se deklinacija menja u granicama do pola stepena zahvataju veći deo prostora naše državne teritorije;
- postoje područja sa izraženim anomalijama gde se vrednosti deklinacije menjaju u rasponu od nekoliko desetina stepeni;
- na osnovu heterogenosti geološkog sastava tla naše zemlje, može se pretpostaviti da postoji znatan broj površi

gde se promene deklinacije kreću u rasponu od nekoliko stepeni.

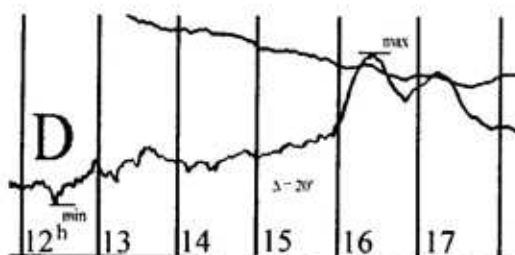
Varijacije magnetnog polja Zemlje

Promene vrednosti elemenata magnetnog polja Zemlje u realnom vremenu nazivaju se varijacije. Redovna dnevna aktivnost svake geomagnetne opservatorije je registrovanje varijacija magnetnog polja Zemlje. Registrovanjem varijacija dobijaju se magnetogrami na kojima su grafički prikazane promene elemenata magnetnog polja u toku 24 sata po Griniču. Sa njih se može uočiti da su u nekim danima sve komponente polja podložne

ujednačenim promenama (slika 5), dok ima dana kada su te promene izraženije, pa čak i vrlo intenzivne (slika 6). Intenzivne promene intenziteta magnetnog polja Zemlje koje mogu trajati nekoliko dana nazivaju se magnetne bure. Za vreme njihovog trajanja onemogućeno je izvođenje orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Sve pojave koje izazivaju promene intenziteta magnetnog polja Zemlje u realnom vremenu u neposrednoj su vezi sa dešavanjima na Suncu [4].



Sl. 5 – Ujednačene promene deklinacije



Sl. 6 – Neujednačene promene deklinacije

Višegodišnja ispitivanja na geomagnetnim opservatorijama i sekularnim stanicama⁴ pokazala su da elementi magnetnog polja Zemlje posle dužih intervala na istim mestima menjaju svoje vrednosti. Ove varijacije sadrže jedan postojan deo na koji se superponiraju varijacije manjeg intenziteta. Shodno tome, spore vremenske promene koje mogu da traju i po nekoliko decenija, imajući pri tome isti znak

⁴ Stanice na kojima se u određenom intervalu objavljuju magnetna merenja.

i smer, nazivaju se sekularne (vekovne) varijacije. Sekularne varijacije definišu promenu srednjih godišnjih vrednosti elemenata magnetnog polja i izražavaju se u nanoteslama (nT), ili minutima po godini. Za prostor naše zemlje sekularne varijacije deklinacije iznose oko tri minuta ili jedan miliradijan po godini.

Stepen geomagnetne aktivnosti varira iz dana u dan, i vrlo je malo dana koji su potpuno bez znatnih poremećaja. Kako se dešavanja na Suncu ne mogu predvideti, ne mogu se predvideti ni intenzitet i dužina geomagnetnih poremećaja.

Često se za potrebe analize varijacija uvode termini srednjih časovnih, dnevnih, mesečnih ili godišnjih vrednosti. Ove vrednosti predstavljaju srednje vrednosti elemenata magnetnog polja u datim vremenskim intervalima, i kao takve nisu značajne za korekciju vrednosti elemenata magnetnog polja, a time i magnetne deklinacije u realnom vremenu.

Orijentacija instrumentima koji sadrže magnetnu iglu

Relativno brz i jednostavan način orijentacije pomoću instrumenata koji sadrže magnetnu iglu uslovio je njihovu primenu u geologiji, geofizici, vazduhoplovstvu i dr. Za te potrebe koriste se razni tipovi busola, kompasa, goniometara i dr.

S obzirom na to da se orijentacija, uglavnom, izvodi u geografskom i pravouglom koordinatnom sistemu, pri orijentaciji instrumentima koji sadrže magnetnu iglu potrebno je poznavanje horizontalnog ugla koji zaklapa smer magnetnog i astronomskog severa ili smer magnetnog severa i x-ose pravouglog koordinatnog sistema. Ukoliko se orijentacija iz-

vodi u pravouglom koordinatnom sistemu, potrebno je poznavati vrednost meridijanske konvergencije i magnetne deklinacije, odnosno vrednost popravke busole⁵. Međutim, ako se orijentacija izvodi u geografskom koordinatnom sistemu onda je potrebno poznavanje samo vrednosti magnetne deklinacije.

Postupak određivanja popravke busole ΔA_{zm} svodi se na određivanje razlika između magnetnih azimuta A_{zm} i pravouglavih azimuta A_z na dve orijentacione tačke:

$$\Delta A_{zm} = A_{zm} - A_z \quad (2)$$

Izračunavanjem aritmetičke sredine ovih vrednosti dobija se konačna popravka busole koja se sa koordinatama deklinacione stanice⁶ i vremenom određivanja upisuje na pločicu koja se čuva uz instrument.

Popravka busole važi do šest meseci, i to u granicama istočno i zapadno do trideset kilometara, a severno i južno do sto kilometara od mesta deklinacione stanice. Na rad magnetne igle utiču razne promene, tako da popravka busole nema stalno istu vrednost. Ona se menja i po vremenu i po prostoru u kojem se koristi. Promene koje utiču na veličinu popravke su godišnje, dnevne i lokalne. Godišnje promene iznose u toku jedne godine sedam do deset minuta, a otklanjaju se određivanjem popravke dva do tri puta u toku godine. Dnevne promene nastaju zbog toga što magnetna igla zauzima razne položaje u toku jednog dana, i to:

- srednji u 0, 4, 10 i 18 časova,
- zapadni maksimum u 2 i 13 časova,
- istočni maksimum u 8 i 22 časa.

⁵ Popravka artiljerijske busole ΔA_{zm} jeste horizontalni ugao koji zaklapa smer magnetnog severa i pozitivni smer x-ose (pravougli sever) u nekoj tački [1].

⁶ Stajna tačka na kojoj se određuje popravka busole.

Ukupno skretanje magnetne igle u toku jednog dana (dnevna amplituda) iznosi oko petnaest minuta (četiri hiljadita). Ako se busola koristi u istom vremenu i mesecu kada je njena popravka određena, korekcija popravke zbog dnevne promene ne postoji. Međutim, ako se busola koristi u nekom drugom vremenu, što je češći slučaj, u popravku busole treba uračunati i vrednost dnevnih promena prema tabeli 3 [5].

Tabela 3
Određivanje popravaka zbog dnevnih promena

Mesec	Odstupanje magnetne igle po časovima						
	6	8	10	12	14	16	18
Januar	0,0	0,3	0,0	-0,9	-0,9	-0,3	0,0
Februar	0,3	0,6	0,3	-0,9	-1,2	-0,6	0,0
Mart	0,3	0,9	0,6	-1,2	-1,8	-0,9	0,0
April	0,6	1,5	0,6	-1,5	-2,1	-0,9	0,0
Maj	1,2	1,5	0,3	-1,5	-2,1	-0,9	0,0
Juni	1,5	1,5	0,3	-1,5	-2,1	-1,2	-0,3
Juli	1,2	1,2	0,3	-1,5	-1,8	-0,9	-0,3
Avgust	0,9	1,2	0,0	-1,5	-1,8	-0,6	0,0
Septembar	0,6	0,9	0,0	-1,5	-1,5	-0,6	0,0
Oktobar	0,3	0,9	0,6	-1,3	-1,5	-0,6	0,0
Novembar	0,0	0,3	0,3	-0,9	-1,2	-0,6	0,0
Decembar	0,0	0,3	0,0	0,6	-0,9	-0,3	0,0

Odstupanje magnetne igle dato je u podeocima busole (hiljaditima) ili miliradijanima gde je miliradijan ugao kome odgovara kružni luk dužine jednake hiljaditom delu poluprečnika tog luka. Pun krug ima 6283 miliradijana. Iz praktičnih razloga na busolama pun krug ima 6000 ili 6400 podeoka, a svaki podeljak ima vrednost 3,6 ili 3,4 minuta.

U ovom delu ukratko je izložen postupak određivanja popravke busole sa detaljnim opisom njene upotrebe propisanim „Uputstvom za topografsko-geodetsko obezbeđenje artiljerije“.

Propisani postupak određivanja popravke busole je korektan, ali postupak njene naknadne upotrebe ne oslanja se na činjenice o prostornim i vremenskim

promenama magnetnog polja Zemlje, odnosno magnetne deklinacije.

Nemogućnost definisanja matematičkog modela prostorne raspodele namagnetisanja uslovljava i nemogućnost prognoziranja prostorne promene elemenata magnetnog polja a samim tim i deklinacije. Imajući u vidu veličinu promene magnetne deklinacije na kompenzacionim površima koje se nalaze na prostoru gde je magnetno polje homogeno, kao i heterogenost geološkog sastava tla Srbije i Crne Gore, upotreba popravke busole van deklinacione stanice prema okvirima propisanim uputstvom onemogućava tačno izvođenje orijentacije. Varijacije magnetnog polja Zemlje u neposrednoj su vezi sa dešavanjima na Suncu. Promene na Suncu (erupcije i dr.) ne mogu se predvideti, tako da vrednosti vremenskih promena deklinacije iz tabele 3 nemaju upotrebnu vrednost pri izvođenju orijentacije.

Zaključak

Na osnovu izložene prostorne i vremenske promenljivosti magnetnog polja Zemlje, odnosno magnetne deklinacije kao ključnog elementa pri određivanju popravke busole, nameće se potreba za što opreznijim prilazom izvođenju orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Posebnu pažnju treba obratiti pri usmeravanju artiljerijskih oruđa, radarskih sistema i svih drugih sistema za čiji je uspešan rad ili delovanje potrebna visoka tačnost.

Popravka busole određena na terenu može da se koristiti samo na tački na kojoj je određena, pod pretpostavkom da u međuvremenu nije došlo do većih promena magnetnog polja Zemlje.

Varijacije magnetnog polja Zemlje su po intenzitetu i vremenu nepredvidiv fenomen, pa korekcija popravke busole vrednostima iz tabele 3 nema upotrebnu vrednost. Tačnu orijentaciju instrumentima sa magnetnom iglom nemoguće je ostvariti bez naknadne korekcije.

Intenzitet i brzina savremenih borbenih dejstava zahtevaju brzu i tačnu orijentaciju. Iskustva iz ratova u Hrvatskoj i BiH pokazala su da su artiljerijska oruđa koja su se zadržavala na položaju posle prvog ispaljivanja brzo otkrivana i često postajala cilj, što ukazuje na nemogućnost naknadne korekcije usled prvobitne loše orijentacije.

Može se konstatovati da instrumenti sa magnetnom iglom ne zadovoljavaju kriterijume koje postavljaju savremena borbena dejstva i da ih treba zameniti sredstvima koja omogućavaju tačnije izvođenje orijentacije, kao što su teodoliti i žiroteodoliti, a zbog brzine i tačnosti posebno treba istaći savremene satelitske sisteme.

Literatura:

- [1] Marković, D.: Geodetska geofizika, Beograd, 1998.
- [2] Prodanović, G.: Značaj magnetske deklinacije za orijentaciju ljudi i sredstava, specijalistički rad, Beograd, 1998.
- [3] Starčević, M.; Dorđević, A.: Geološki atlas Srbije, Beograd, 1996.
- [4] Stefanović, D.: Geomagnetske metode istraživanja, Beograd, 1978.
- [5] Uputstvo za topografsko-geodetsko obezbeđenje artiljerije, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1981.