

## UTJECAJ NEKIH ČIMBENIKA NA KVALITETU GEOMAGNETSKIH MJERENJA

Tihomir GREGL

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000, Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** Geomagnetika, Protonski magnetometar, Kvaliteta mjerenja, Smetnje pri mjerenju

S razvojem konstrukcije magnetometara povećala se njihova osjetljivost. Time je omogućeno mjerenje i slabijeg intenziteta magnetskog polja Zemlje (tzv. korisni signal), ali je na kvalitetu rezultata mjerenja povećan utjecaj raznih čimbenika (tzv. šum smetnji). Zbog toga se pristupilo analizi utjecaja nekih čimbenika na kvalitetu mjerenja.

### Uvod

Magnetske metode geofizičkih istraživanja pripadaju najstarijim geofizičkim metodama. Napretkom tehnike razvijali su se i instrumenti za mjerenje elemenata magnetskog polja Zemlje. Prvi instrument za primijenjena geomagnetska istraživanja bio je rudarski kompas koji je upotrebljen u Švedskoj 1640. (Jakosky, 1967). Kao prvi precizni geomagnetski instrument za primijenjena geofizička istraživanja konstruiran je mehaničko-optički magnetometar. Najpoznatiji od njih je Schmidtova magnetska vaga konstruirana 1915. Ovi instrumenti mjere horizontalnu ili vertikalnu komponentu jakosti totalnog magnetskog polja Zemlje. Njihovom konstrukcijom počela su se intenzivnije izvoditi primijenjena geomagnetska istraživanja (Militzer & Scheibe, 1980). Tijekom vremena razvijeno je i konstruirano nekoliko različitih modela magnetometara, a tek razvoj protonskih magnetometara omogućio je skok u njihovoj kvaliteti. Danas se u primijenjenoj geofizici najčešće rabe protonski magnetometri. Teoriju o mjerenju intenziteta magnetskog polja Zemlje pomoću slobodne precesije protona postavili su Packard M. i Varian, R. 1953. (Stefanović, 1978). Protonski magnetometri mjere totalnu jakost magnetskog polja Zemlje.

S razvojem konstrukcije instrumenata za mjerenje jakosti magnetskog polja Zemlje povećala se njihova osjetljivost. Povećanjem osjetljivosti magnetometara omogućeno je mjerenje i malih iznosa jakosti magnetskog polja Zemlje. Kako se smanjuje iznos tzv. korisnog signala, tako se povećava utjecaj raznih čimbenika na kvalitetu rezultata mjerenja, tzv. šum smetnji.

Kao značajni kriterij za mogućnost detekcije korisnog signala treba uzeti u obzir i očekivani magnetski šum smetnji okoline koji potječe iz izvora kao što su prirodni materijali koji mogu biti magnetični, te objekti pri čijoj se izgradnji uporabilo željezo, ako oni nisu predmet istraživanja. Od prirodnih magnetičnih materijala šum smetnji stvaraju eruptivne i piroklastične stijene, te produkti koji nastaju njihovim raspadanjem i nagomilavanjem. Uzročnici magnetskog šuma smetnji su i objekti koji su izrađeni od željeza, a uzročnik može biti i električna struja. Većinu se takvih uzročnika primjećuje, no nažalost često se u grmlju i šikarama nalaze odbačeni predmeti koji se ne vide.

**Key-words:** Geomagnetics, Proton magnetometers, Measurement quality, Disturbance during survey

The advanced design technology improved the sensitivity of the Earth's Magnetic field measuring instruments. Hence it is possible to measure also the lower intensity values of the Earth's Magnetic field, however then the number of different factors which may influence the quality of measurement also increases. This paper deals with the analyse of the degree of influence that some of the factors involved may exercise on the quality of surveying results.

U radu su prikazani utjecaji nekih mogućih uzročnika šuma smetnji koji smanjuju kvalitetu mjerenja korisnog signala. Mjerenja su izvršena protonskim magnetometrom kako bi se vidjelo kakav i koliki je utjecaj željezne mase, te postoji li utjecaj orijentacije senzora i opažača.

### Utjecaj automobila

#### Uvod

Jedan od uzročnika šuma smetnji može biti i auto koji se koristi na terenskim mjerenjima. Obraden je utjecaj automobila Lada-Niva 1600 na kvalitetu mjerenja.

Najvažniji faktor koji utječe na mogućnost detekcije magnetske mase magnetometrom je udaljenost između magnetometra i objekta. Osnovni izraz za procjenu maksimalne amplitude bilo koje anomalije je (Breiner, 1973):

$$T = \frac{2 \cdot M_m}{r^n} \quad (1)$$

gdje su:

$T$  = anomalija; jakost magnetskog polja

$M_m$  = magnetska masa

$r$  = udaljenost magnetometra od objekta

$n$  = mjera opadanja djelovanja (decay)

$n = 3$  za dipol

$n = 2$  za monopol

Dipol je magnetska masa u kojoj su magnetski polovi relativno blizu (uobičajena predodžba magneta), kada se oba pola moraju uzeti u razmatranje. Najčešće se izvor smetnji ponaša kao magnetski dipol. Budući je auto u usporedbi s udaljenošću između njega i senzora relativno malen on se može promatrati kao dipol.

Monopol je izduženo tijelo magnetske mase u smjeru magnetskih silnica (drugi pol je daleko od magnetometara).

Uzevši u obzir navedeno magnetski intenzitet iznosi za:

– dipol uzduž osi:

$$T = \frac{2 \cdot M_m}{r^3} \quad (2)$$

– dipol na silnici okomito na dipol

$$T = \frac{M_m}{r^3} \quad (3)$$

– monopol u bilo kojemu smjeru

$$T = \frac{M_m}{r^2} \quad (4)$$

Za vertikalno (ili gotovo vertikalno) magnetsko polje (F) inducirani će dipol (M) također biti vertikalan, a ukupna jakost magnetskog polja (Breiner, 1973) će biti također vertikalna:

$$T = \frac{M}{r^3} (3 \cos^2 \Theta - 1) \quad (5)$$

$\Theta$  = kut između vektora magnetizacije (os dipola) i spojnice dipol – magnetometar

Kod magnetskih ekvatorijalnih polja (F) inducirana anomalija (M) je horizontalna (Breiner, 1973), a ukupna će jakost magnetskog polja biti horizontalna i izražena također prema formuli 5.

Budući se naše područje na kojemu su se izvodila mjerenja nalazi između vertikalnog i horizontalnog polja, a formule su za oba slučaja iste, tada će i naš magnetometar mjeriti jakost magnetskog polja Zemlje prema formuli 5.

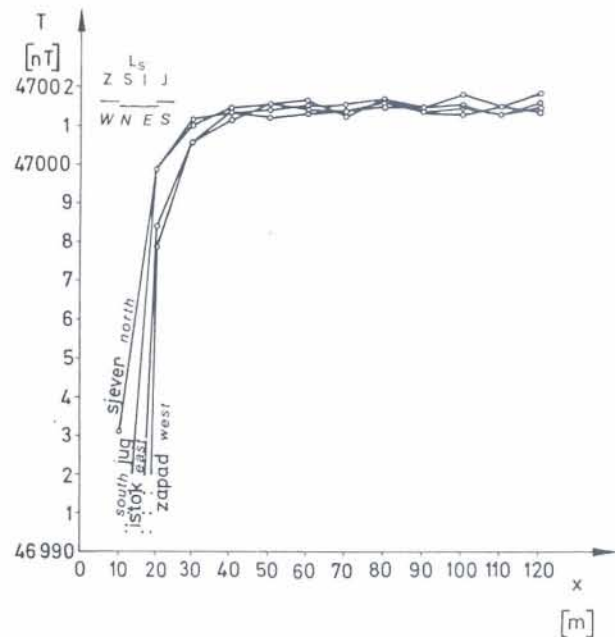
#### Metoda mjerenja

Kvaliteta podataka mjerenja i njihova obrada traže odgovarajuću metodu rada s uzimanjem u obzir niza parametara. Prilikom mjerenja magnetometar je stajao na jednom mjestu, a auto se pomicao mijenjajući udaljenost, kako bi se izbjegao utjecaj lokalnih anomalija. S obzirom na usmjerenost prirodnog magnetskog polja Zemlje (pod kutem inklinacije, a prema magnetskom sjeveru) mjerenja su se provela duž profila usmjerenih prema osnovnim stranama svijeta (sjever–istok, jug–zapad). Zbog toga trebalo je pronaći raskrižje lokalnih cesta koje su tako orijentirane, a da u blizini nema nekih drugih uzročnika smetnji. Šumske ceste na prosjekama bile bi najprikladnije ukoliko su prohodne za auto. Teren koji bi zadovoljavao sve uvjete nije bilo moguće pronaći. Iako nije idealan, za mjerenje je izabran teren u šumi Čret južno od Lomnice (Velika Gorica). Budući da magnetsko djelovanje opada s udaljavanjem magnetske mase od magnetometra s trećom potencijom (formula 3), najveći utjecaj auta je kad se nalazi blizu magnetometra. Udaljavanjem taj se utjecaj smanjuje, asimptotski se približava nuli. Kad je auto bio blizu magnetometra mjerenja su izvedena na malim razmacima, a s udaljavanjem auta mjerenja su izvedena na većim razmacima. Prilikom obrade podataka takvo se mjerenje pokazalo nezadovoljavajuće. Zbog toga su mjerenja ponovljena s jednakim razmacima.

#### Obrada podataka mjerenja

Na svakom stajalištu auta izvršeno je 10 očitavanja koja su korigirana s dnevnom promjenom. Od tih 10 očitavanja izračunate su aritmetička sredina i srednja pogreška. Aritmetičke sredine izmjerenih podataka (T) prikazane su dijagramima. Primjer jednog mjerenja prikazan je na slici 1. Radi preglednosti dijagrama za podatke mjerenja s veće udaljenosti auta od magnetometra odabrano je mjerilo koje nije omogućilo prikaz podataka s udaljenosti 5 i 10 metara.

S povećanjem udaljenosti auta od magnetometra njegov utjecaj na mjerenje opada, pa na izvjesnoj udaljenosti praktično postane toliko mali da je zane-



Sl. 1. Podaci mjerenja i odabrane asimptote  $L_s$  (metoda obrade br 6)  
Fig. 1. Measuring data and corresponding asymptotes  $L_s$  (sixth method of processing)



Sl. 2. Asimptote L izračunate sa raznim metodama obrade podataka mjerenja (i kombinacijama)

Fig. 2. Calculation of asymptote L by various methods of data analyses and combinations)

mariv. Analizirajući dijagram (sl. 1) uočava se da su vrijednosti T za veće udaljenosti relativno jednake, što znači da na njih auto više nema utjecaj, već je to jakost magnetskog djelovanja na stajalištu magnetometra. Također se uočava da su podaci mjerenja za  $x \geq 50$  metara praktički na istom nivou, pa je to red veličina za asimptotski iznos. Teoretski razmatrano, asimptotski iznos prikazanih dijagrama bila bi vrijednost jakosti magnetskog djelovanja Zemlje na stajalištu magnetometara bez utjecaja auta. Zbog toga treba odrediti asimptotsku vri-

jednost (L), kako bi se, odbivši od tog iznosa podatke mjerenja (T), na odgovarajućim udaljenostima od magnetometara, dobio utjecaj auta (T<sub>a</sub>):

$$T_a = L - T \quad (6)$$

$$T_a = \frac{B}{x^3} \quad (7)$$

Vrijednost asimptote L mogla bi se odrediti procjenom, ili uz neke pretpostavke, ili izračunati računom regresije. Za kvalitetniji rezultat prvo se primijenio račun regresije.

Za asimptotski iznos izračunat pomoću regresije trebalo je ocijeniti koja bi funkcija bila najpovoljnija za tu operaciju. Rezultati računa asimptotskog iznosa pomoću različitih metoda prikazani su na slici 2. Iznos asimptote računat je metodama kao (Gregl, 1997):

- 1. Funkcija hiperbolnog tipa;  $y = L + \frac{B}{x^3}$
- 2. Asimptotski trend - 1;  $y = L + B \cdot C^x$
- 3. Asimptotski trend - 2;  $y = L \cdot x_0 + B \cdot x_1 + C \cdot x_2$
- 4. i 5. Linearna funkcija;
- 6. Polinom 2. stupnja

Za metodu obrade 4 i 5 uzeti su u obzir podaci mjerenja za kombinacije:

1.  $x \geq 50$  m
2.  $x \geq 60$  m
3.  $x \geq 70$  m
4.  $x \geq 80$  m

Kod obrade broj 6 analizirali su se podaci standardne devijacije (SR) i koeficijenta korelacije (RY) dobiveni regresijom funkcije hiperbolnog tipa za pretpostavljene različite asimptotske iznose. Rezultati ove obrade su uzeti kao konačni a prikazani su u tablici 1.

Tablica 1

Obračun regresije po paraboli (metoda obrade broj 6) za veličine SR i RY

Table 1

Calculation of Regression according to parabola (sixth method of processing)

		P R O F I L			
		P sjever north	R istok east	O jug south	I zapad west
N		43	41	41	41
	SR <sub>p</sub>	0.144	0.274	0.262	0.278
	RY <sub>p</sub>	0.961	0.942	0.947	0.942
L		47001.44	47001.53	47001.68	47001.67
	RY <sub>p</sub>	0.991	1	0.993	1
	SR <sub>p</sub>	0.015	0.001	0.013	0
L <sub>s</sub>		47001.47	47001.51	47001.65	47001.64

Vrijednost L<sub>s</sub> prikazanu u tablici 1 treba smatrati optimalnom, a prikazana je na slikama 1 i 2. Zbog toga je s tim iznosima asimptota (L<sub>s</sub>) izvršen račun podataka mjerenja pomoću regresije po formuli 6 i 7. Rezultat ovog računa prikazan je u tablici 2. Vrijednosti standardne devijacije regresije SR i koeficijenta korelacije RY ukazuju da je obračun regresije korektno izvršen. Iz koeficijenta B (formula 7) izračunati su korigirani koeficijenti BK i njihove aritmetičke sredine BS.

### Interpretacija

Za ocjenu dobivenih rezultata korišten je dijagram - slika 46 iz Breiner (1973). Iz navedenog dijagrama očitano je niz podataka T<sub>a</sub> za utjecaj željezne mase od 1, 100 i 1000 kg. Vrijednosti utjecaja auta T<sub>a</sub> prikazane su u dijagramima T<sub>a</sub>-x (slike 3, 4 i 5).

Budući su mjerenja na terenu obradena za četiri profila trebalo je te rezultate obraditi kako bi ih mogli usporediti. To se postiglo primijenom formule 5. Kut Θ u toj formuli je kut između pravca magnetometar-masa i vektora magnetizacije magnetskog polja Zemlje. Vektor magnetskog polja Zemlje se na mjestu stajališta magnetometra prema površini Zemlje nalazi pod kutem inklinacije (i). Kut inklinacije može se očitati na objavljenim regionalnim kartama svijeta i to za relativno staro vrijeme. Ti se podaci, naime, tretiraju kao vojna tajna. Inklinacija se tijekom vremena mijenja, pa ju treba korigirati na godinu (epohu) u kojoj su obavljena mjerenja.

Iz objavljene literature: Mokrović (1928), Logačev & Zaharov (1979), Militzer & Scheibe (1980), Roberts & Piper (1989) i Skoko (1992) očitani su iznosi za inklinaciju koja je vrijedila za godine navedene u literaturi za mjerno stajalište i za Geomagnetski opservatorij u Grockoj. Iz tih podataka inklinacije za stajalište magnetometara i opservatorija izračunata je njihova razlika koja iznosi 1.2°. U Geomagnetskom godišnjaku (Stojković, 1983) objavljeni su izmjereni podaci u Geomagnetskom opservatoriju o parametrima magnetskog polja Zemlje za interval od 1958. do 1983. godine. Iz tih se podataka vidi da se u intervalu od 1958. do 1980. godine inklinacija mijenjala između 61.0° i 61.3°, da bi u zadnje tri godine porasla na 61.7°. Ako se pretpostavi da je trend promjene kuta inklinacije takav da bi u vrijeme mjerenja utjecaja auta (1994.) porastao na 61.8°-61.9°, a uzevši u obzir dobivenu razliku inkli-

Tablica 2

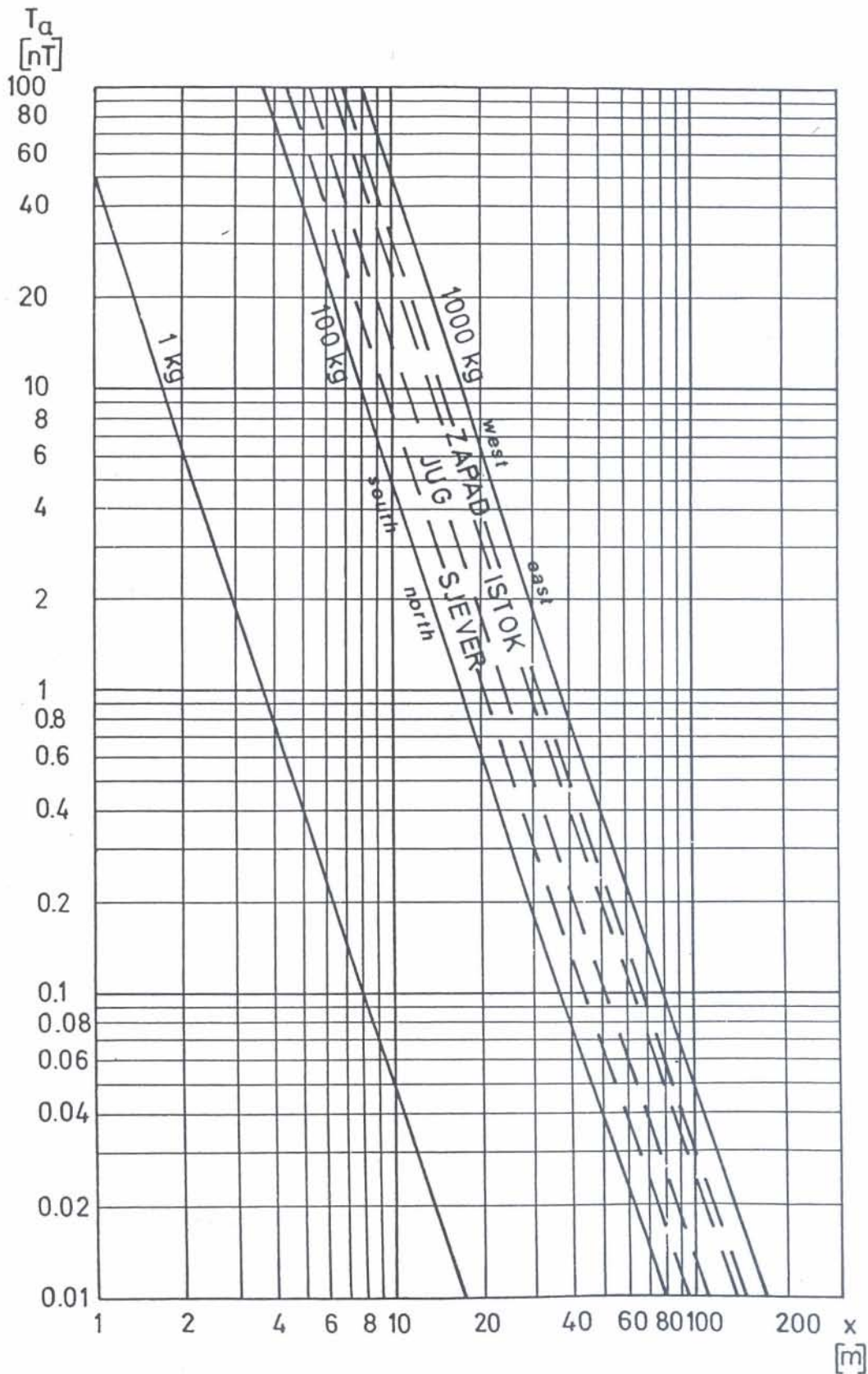
Obračun regresije po hiperboli za optimalnu vrijednost asimptote L<sub>s</sub>

Table 2

Calculation of Regression according to hyperbole for optimal value of asymptote

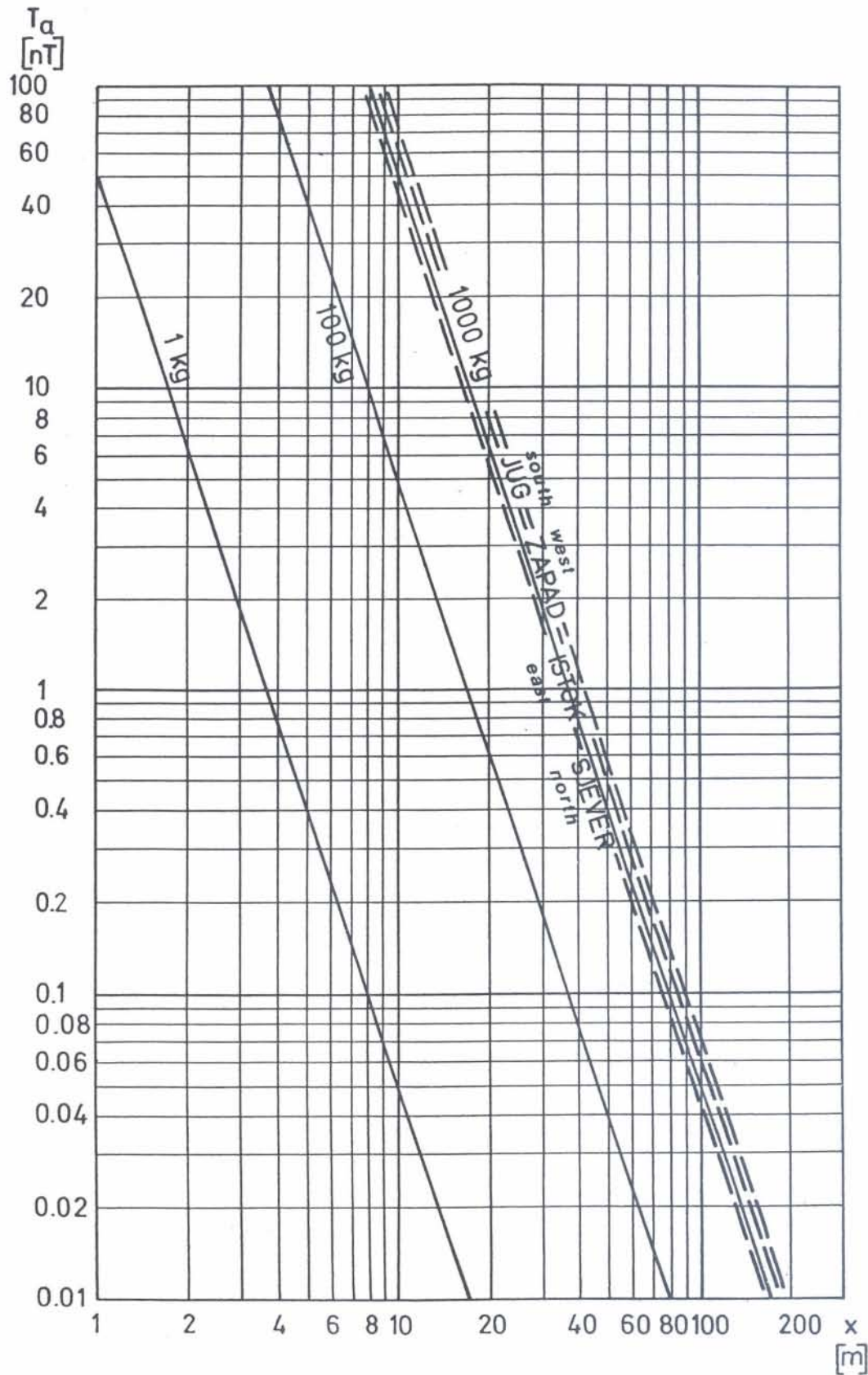
	P R O F I L			
	P sjever north	R jug east	O istok south	I zapad west
L <sub>s</sub>	47001.48	47001.62	47001.48	47001.61
SR	0.197	0.152	0.103	0.077
RY	0.997	0.999	1	1
B	8461.36	13640.31	24346.95	30171.70
BK	44338.98	71477.55	48693.89	60343.40
BS	56213.46			

nacije na stajalištu i opservatoriju od 1.2°, tražena vrijednost inklinacije na stajalištu bi iznosila od 63.0° do 63.1°. Iz podataka inklinacije se vidi da promjene inklinacije za manji vremenski period nisu velike. Zbog toga se može pretpostaviti da se za ovaj račun, za stajalište magnetometra, može upotrijebiti iznos inklinacije i=63°. Poteškoće u određivanju inklinacije još su jedan dokaz o neophodnosti uspostave Geomagnetskog opservatorija u Republici Hrvatskoj.



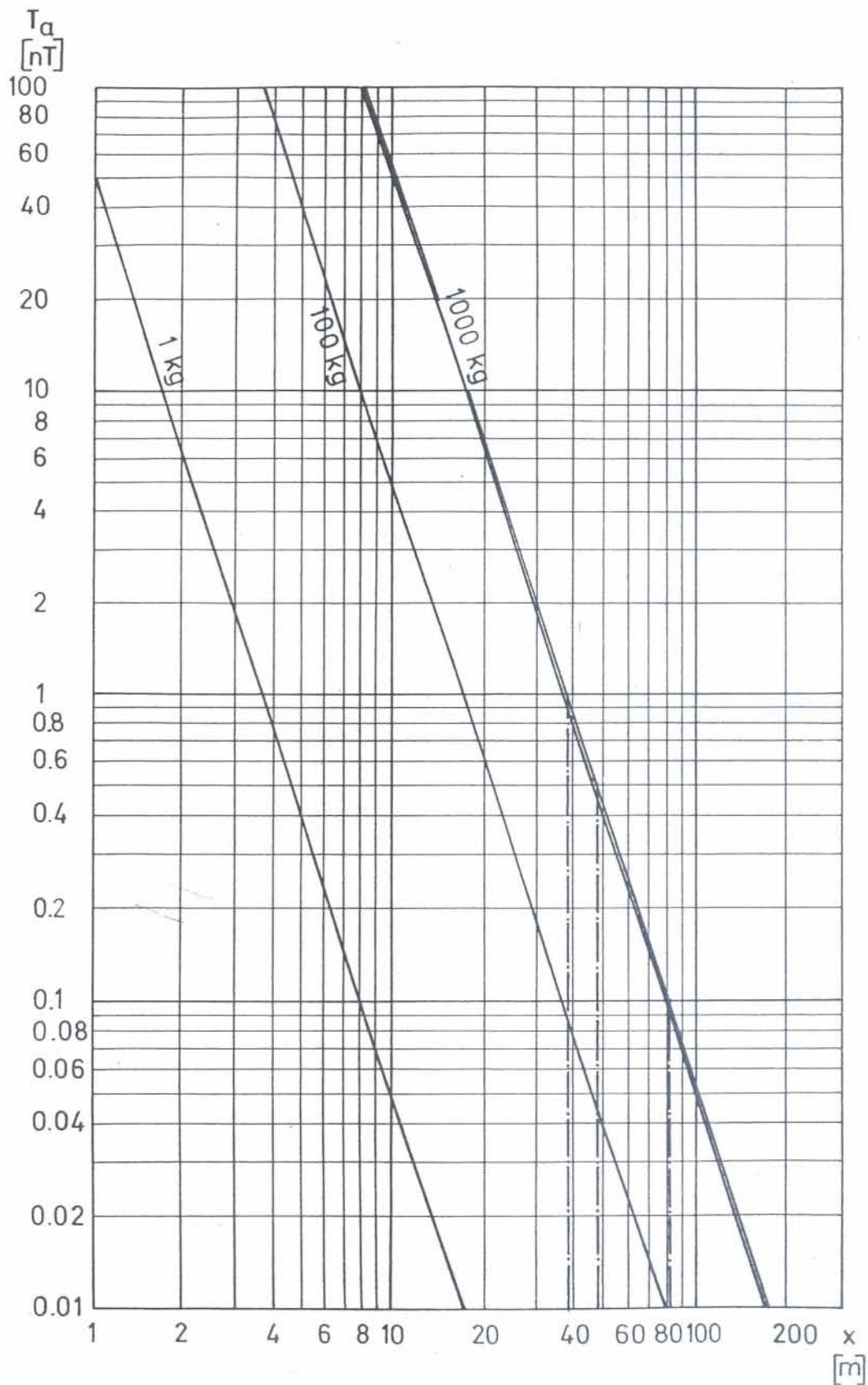
Sl. 3. Nomogram za dobivanje procjene magnetske anomalije  $T_a$  koje se dobiju od željeznih masa (1, 100 i 1000 kg; Breiner, 1973. – sl. 46) i auta Lada-Niva (za nekorrigirane konstante B)

Fig. 3. Nomogram required for the estimation of magnetic anomaly  $T_a$  caused by on mass (1, 100 and 1000 kg; Breiner, 1973. – picture 46) and Lada-Niva car (for uncorrected values of constant B)



Sl. 4. Nomogram za dobivanje procjene magnetske anomalije  $T_a$  koje se dobiju od željeznih masa (1, 10 i 100 kg; Breiner, 1973. – sl. 46) i auta Lada-Niva (za korigirane konstante BK)

Fig. 4. Nomogram required for the estimation of magnetic anomaly  $T_a$  caused by iron mass (1, 10 and 100 kg; Breiner, 1973. picture 46) and Lada-Niva car (for corrected values of constant BK)



Sl. 5. Nomogram za dobivanje procjene magnetske anomalije  $T_a$  koje se dobiju od željeznih masa (1, 10 i 100 kg; Breiner, 1973. – sl. 46) i auta Lada-Niva (za srednje vrijednosti konstante BS)  
 Fig. 5. Nomogram required for the estimation of magnetic anomaly  $T_a$  caused by iron mass (1, 100 and 1000 kg; Breiner, 1973. – picture 46) and Lada-Niva car (for average values of constant BS)

Tablica 3  
 Magnetske anomalije za neke objekte  
 Table 3  
 Magnetic anomalies for some objects

ŽELJEZNI OBJEKTI <i>Object</i>	MANJA UDALJENOST <i>Near distance</i>		ANOMA- LIJA <i>Anomaly</i>	VEĆA UDALJENOST <i>Far distance</i>		ANOMA- LIJA <i>Anomaly</i>
	<i>stopa</i> <i>Feet</i>	<i>metara</i> <i>meter</i>		<i>nT</i>	<i>stopa</i> <i>Feet</i>	
Automobil (1 tona) <i>Car (1 ton)</i>	30	9.1	40	100	30	1
Brod (1000 tona) <i>Ship (1000 tons)</i>	100	30	300-700	1000	300	0.3-0.7
Manji avion <i>Light aircraft</i>	20	6.1	10-30	50	15.2	0.5-2.0
Turpija (10") <i>File (10 inch)</i>	5	1.5	50-100	10	3	5-10
Odvijač (5") <i>Screwdriver (5 inch)</i>	5	1.5	5-10	10	3	0.5-1.0
Revolver (38 ili 45) <i>Revolver</i>	5	1.5	10-20	10	3	1-2
Puška <i>Rifle</i>	5	1.5	10-50	10	3	2-10
Ograda <i>Fence/line</i>	10	3	15	25	7.6	1-2
Cjevovod (Φ=12") <i>Pipeline (12 inch diameter)</i>	10	3	50-200	50	7.6	12-50
Vlak (istosmjerna struja) <i>DC Train</i>	500	152	5-200	1000	300	1-50
Magnetski marker (1/2"x3") <i>"Cow" magnet (1/2" W.3" L)</i>	10	3	20	20	6	2
Zalitne cijevi i ulče bušot. <i>Well casing and wellhead</i>	50	15.2	200-500	500	152	2-5

Odredivši kut inklinacije može se pristupiti analizi po formuli 5. Iz te formule možemo zaključiti da rezultati mjerenja ovise o magnetskoj orijentaciji magnetske mase (auto). Kod tog razmatranja pretpostavlja se da je magnetska masa na istoj visini sa senzorom magnetometra, a mjerenje je izvršeno na profilima koji su orijentirani u smjerovima sjever, istok, jug i zapad. Kut  $\Theta$  je kut između smjera magnetizacije i spojnice magnetometar-magnetska masa. Prema tome za smjer sjever  $\Theta=i=63^\circ$ , za jug je  $\Theta=180^\circ-i=117^\circ$ , a za smjerove istok i zapad  $\Theta=90^\circ$ . Kad se izračunaju koeficijenti B (tablica 2) za smjerove sjever i jug, te istok i zapad, popravi odgovarajućim iznosima dobiju se koeficijenti BK, iz kojih se tada izračuna njihova aritmetička sredina BS (sl. 3, 4 i 5).

Automobil Lada-Niva 1600 ima ukupnu masu od 1150 kg. Ako se pretpostavi da 80-90% mase auta ima magnetsko djelovanje, tada bi to odgovaralo 920-1035 kg.

Kada bi bili zadovoljeni svi teoretski uvjeti, tada bi korigirani koeficijenti B za sve profile trebali biti jednaki. Iz tablice 2 i iz nomograma (sl. 3 i 4) vidljivo je međusobno odstupanje, kao i odstupanje od teoretskih vrijednosti. Analizirajući ovu nejednakost može se pretpostaviti da je do nje došlo zbog sljedećih razloga:

- s obje strane ceste pravca istok-zapad nalaze se kanali za odvod oborina, dok cesta sjever-jug preko njih prelazi preko mostova (vjerojatno armiranih);
- magnetsko težište auta nije bilo na horizontalnom pravcu sa središtem senzora magnetometara;
- auto je na svakom profilu bio okrenut svojim prednjim dijelom prema magnetometru (radi komunikacije opažač-vozač) pa je na svakom profilu bio drugačije orijentiran, a za cijelo vrijeme mjerenja je radio;
- azimuti profila cesta su:  
 sjever i jug:  $18^\circ$   
 istok i zapad  $268^\circ$

Osim navedenih razloga u razmatranje treba uzeti i sljedeće čimbenike. Željezni objekti imaju i perma-

Tablica 4  
 Magnetsko djelovanje auta i željezne mase od 1000 kg  
 Table 4  
 Magnetic effects of car and mass weighting 1000 kg

MAGNETSKA ANOMALIJA <i>Magnetic Anomaly</i>	1000 kg	MJERENJE AUTA <i>Car Measurements</i>
<i>nT</i>	<i>x m</i>	
1.0	37	38
0.5	46	48
0.1	79	83

nentnu i induciranu magnetiziranost koje daju zajedničku magnetsku anomaliju u magnetskom polju Zemlje. Što je čelik tvrdi, to je veći njegov permanentni magnetizam, a katkada može biti 10 i više puta veći od inducirane magnetizacije. Obično se ne može prognozirati orijentacija ovog permanentnog magnetskog momenta, ali se može pretpostaviti da će jači permanentni magnetizam generirati veću anomaliju. Objekt može imati i više magnetskih komponenata, pa može doći i do njihovog međusobnog poništavanja utjecaja ovih pojedinačnih permanentnih magnetskih momenata. Ako su permanentni i inducirani momenti jednakog reda veličina, te ako je permanentni moment slučajno orijentiran u suprotnom smjeru od magnetskog polja Zemlje, opažana anomalija će biti vrlo mala, ali skoro nikada jednaka nuli (Breiner, 1973).

U tablici 3 navedene su veličine anomalije od nekih željeznih objekata. »Te vrijednosti mogu biti i do 5 puta veće, ili do 10 puta manje, jer ima mnogo faktora koji utječu na te vrijednosti: veličina objekta, njegov metalurški sastav, orijentacija, permanentni magnetizam, broj i veličina njegovih sastavnih dijelova (komponenta), položaj magnetometra u odnosu na objekt i magnetsko polje Zemlje ...« (Breiner, 1973).

Primjer korištenja protonskog magnetometra na istraživanju zrakoplovne bombe opisali su Zagorac i sur. (1994).

#### Zaključak

Dobiveni rezultati mjerenjem ne zadovoljavaju teoretska razmatranja. Oni, međutim, pokazuju stvarni utjecaj auta na magnetsko polje Zemlje u navedenim prilikama i na istraživanom terenu.

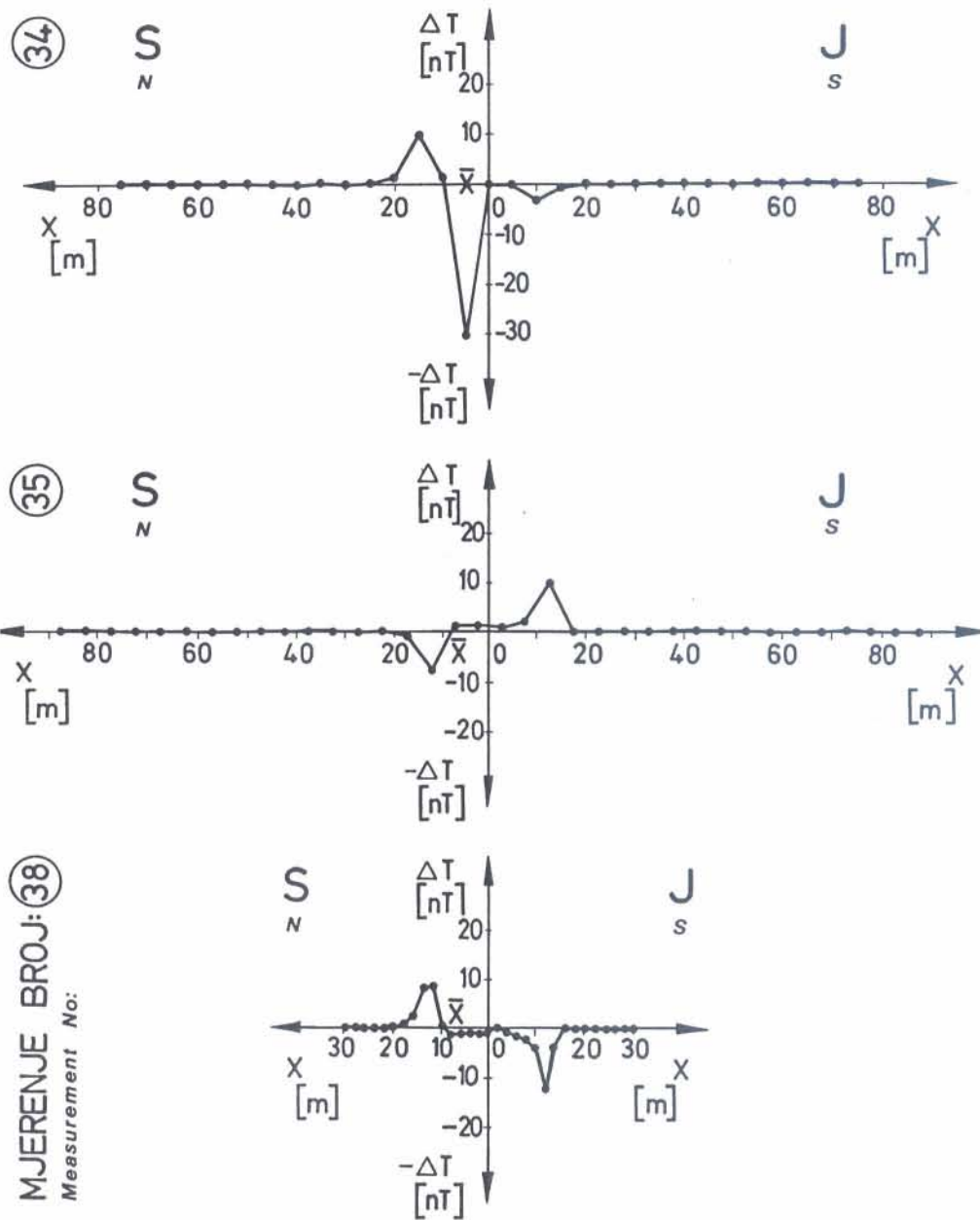
Korišteni magnetometar mjeri magnetsko djelovanje s točnošću od 0.1 nT. Iz dijagrama (sl. 5) očitane vrijednosti magnetskog djelovanja od 1, 0.5 i 0.1 nT za izvršeno mjerenje i teoretsko djelovanje mase od 1000 kg prikazani su u tablici 4.

Iz podataka prikazanih u tablici 4 može se zaključiti da automobil Lada-Niva 1600 na rezultat mjerenja magnetometrom neće utjecati na udaljenosti većoj od 50 metara, odnosno, ovisno o točnosti mjerenja, većoj od 90 metara.

#### Mjerna vrpca

##### Metoda mjerenja

Prilikom mjerenja magnetskog profila povremeno su primijećene dosta jake anomalije (Gregl, 1997). One nisu bile izazvane površinskom nehomogenošću ili djelovanjem nekih objekata. Analizirajući izvršena mjerenja i terenske prilike došlo se do zaključka da bi to



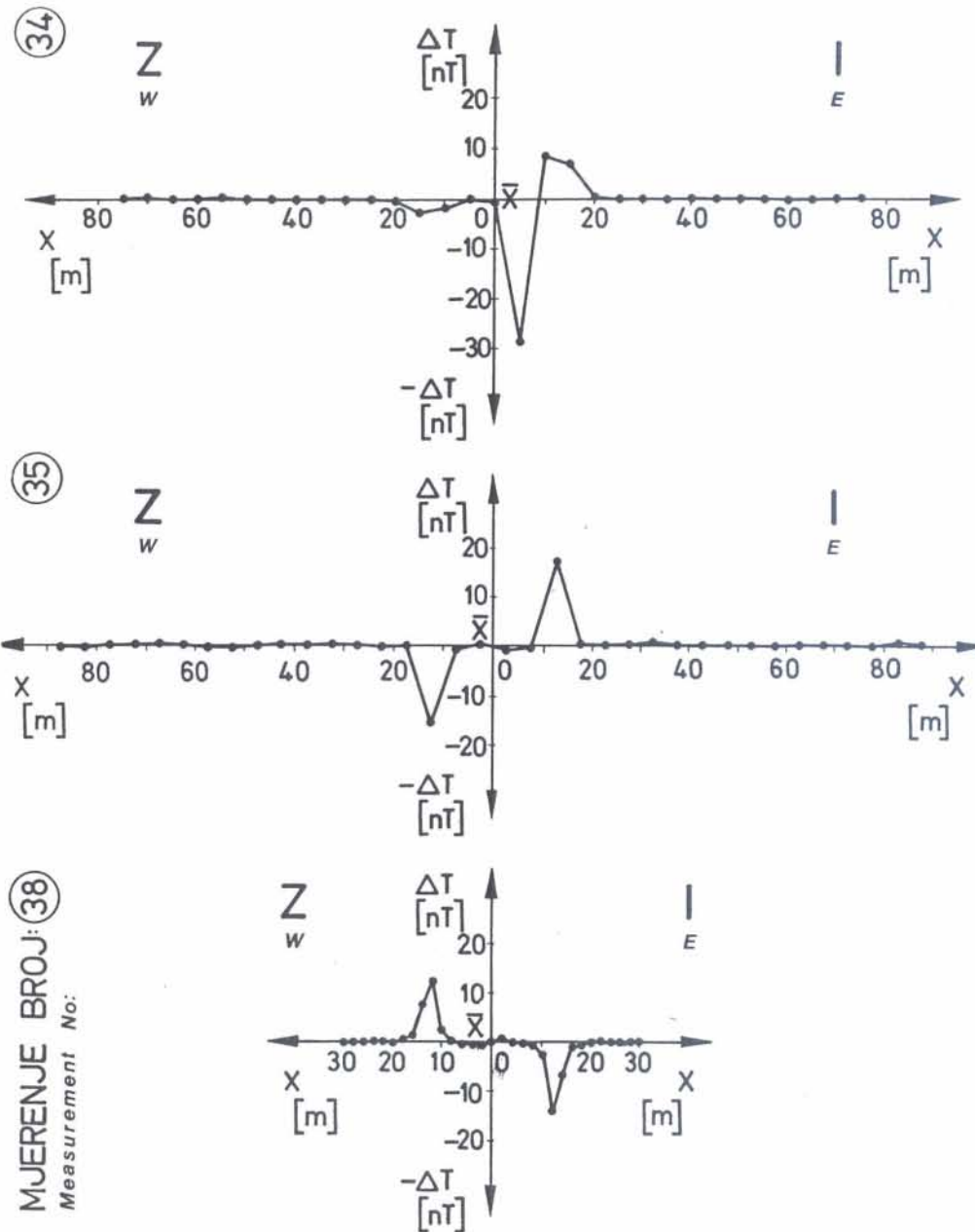
Sl. 6. Utjecaj mjerne vrpce na kvalitetu mjerenja na profilu sjever-jug  
Fig. 6. Measuring tape impact on measurement quality on north-south profile

mogla izazvati mjerna vrpca kojom se je odmjeravala udaljenost između točaka opažanja. Na velikom dijelu tog profila bilo je potrebno intenzivno prosijecanje jer je bio veliki gustiš i šikara. Zbog toga je s mjerenjima trebalo čekati probijanje prolaza do slijedeće mjerne točke. Tada se s instrumentom prošlo pored mjerne trake.

Za odmjeravanje udaljenosti između točaka mjerenja korištena je mjerna vrpca firme BMI. Vrpca je dužine 25 metara, a izrađena je od čelične trake koja je zaštićena neprozirnim omotačem od poliamida (Kanajet, 1986).

Kada je na terenu mjeren magnetski profil izvršen je pokus kojim se dokazalo postojanje utjecaja mjerne vrpce na kvalitetu mjerenja. Mjerenja su provedena pomicanjem mjerne vrpce duž profila sjever-jug i duž profila zapad-istok, dok je instrument ostajao na mjestu. Budući je instrument mirovao na rezultate mjerenja nisu mogle utjecati eventualne površinske nehomogenosti. U početku mjerenja cijela je vrpca bila podalje od instrumenta. Vrpca se zatim postepeno približavala instrumentu, prošla pored instrumenta i potom se udaljila. Za prikaz položaja izvršenog mjerenja uzeta je sredina vrpce. Dužina profila i gustoća mjernih točaka se mije-





Sl. 7. Utjecaj mjerne vrpce na kvalitetu mjerenja na profilu zapad-istok  
 Fig. 7. Measuring tape impact on measurement quality on west-east profile

njala kako su se dobivala saznanja o rezultatima mjerenja. Pozicije stajališta su na slikama 6 i 7. Za svako stajalište mjerne vrpce izvršeno je deset opažanja ( $T_m$ ). Izvršena su tri pokusa mjerenja.

#### Obrada podataka mjerenja

Od deset izmjerenih i korigiranih opažanja ( $T$ ) na jednom stajalištu izračunata je aritmetička sredina ( $\bar{x}_{10}$ ). Da bi se uklonili razni utjecaji, ili barem smanjili, a istaknuo utjecaj mjerne vrpce, a izmjereni podaci mogli uspoređivati, trebalo ih je svesti na određeni nivo. Kada je vrpca dovoljno daleko od magnetometra ona nema

utjecaja na rezultat mjerenja. Promatraju li se podaci mjerenja od početka ili kraja profila prema mjestu magnetometra uočava se njihova oscilacija oko neke vrijednosti do izvjesne udaljenosti. Ocijenivši koji su to podaci, bez utjecaja mjerne vrpce, za njih se izračunala aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ). Od aritmetičkih sredina mjerenih podataka ( $\bar{x}_{10}$ ) odbijena je aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ) izračunata od izabranih podataka mjerenja prema:

$$\Delta T = \bar{x}_{10} - \bar{x} \quad (8)$$

Ta njihova razlika ( $\Delta T$ ) prikazana je na slikama 6 i 7. Nulta vrijednost na njima je aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ), a

Tablica 5

Pregled obračunatih podataka

Table 5

Review of calculated data

Mjerenje broj Measurement No.	Profil Profile	$\bar{x}$ nT	$m_{\Delta T}$ nT	$T_{max}$ nT	$T_{min}$ nT	$\Delta$ nT
34	S-J	47000.22	0.194	9.71	-30.01	39.72
	Z-I	47000.47	0.173	8.68	-28.65	37.33
35	S-J	46999.01	0.303	9.64	-7.47	17.11
	Z-I	46996.29	0.304	17.10	-15.60	32.70
38	S-J	47002.71	0.154	8.42	-12.35	20.77
	Z-I	46999.61	0.160	12.27	-13.73	26.00

oko nje osciliraju udaljeniji podaci. Za izračunatu aritmetičku sredinu ( $\bar{x}$ ) izračunata je srednja pogreška ( $m_{\Delta T}$ ). Za sva mjerenja i profile u tablici 5 prikazane su aritmetičke sredine ( $\bar{x}$ ) i srednje pogreške ( $m_{\Delta T}$ ). U toj su tablici prikazane i maksimalne i minimalne vrijednosti odstupanja ( $T_{max}$  i  $T_{min}$ ) od aritmetičke sredine ( $\bar{x}$ ), te njihova razlika ( $\Delta$ ).

### Interpretacija

Različitoost vrijednosti aritmetičkih sredina ( $\bar{x}$ ) za pojedina mjerenja nastala je zbog toga što su mjerenja na pojedinim profilima bila na različitim mjestima, pa se zbog toga mijenjalo mjesto stajališta magnetometra (tablica 5). Male vrijednosti za izračunatu srednju pogrešku ( $m_{\Delta T}$ ) ukazuju kako su odstupanja odabranih vrijednosti aritmetičkih sredina ( $\bar{x}_{10}$ ) za izračunavanje aritmetičke sredine ( $\bar{x}$ ) vrlo mala, te da nisu pod utjecajem mjerne vrpce. Promatrajući slike 6 i 7, može se uočiti da mjerna vrpca ima veliki utjecaj na kvalitetu mjerenja kada je magnetometar oko njezine sredine. Praktički kada je mjerna vrpca udaljena od magnetometra, tada ona nema utjecaj na mjerenja. Iz slike 6 i 7 vidi se da maksimalne i minimalne vrijednosti utjecaja mjerne vrpce nisu povezane s geografskom orijentacijom profila. Iznosi razlika maksimalnih odstupanja ( $\Delta$ ) su jako velike i kreću se od 17 do 40 nT.

### Zaključak

Izvršeni pokusi ukazuju da mjerna vrpca može imati jako veliki utjecaj na kvalitetu mjerenja. Zbog toga prilikom mjerenja na terenu treba obratiti pažnju da se opažač s magnetometrom ne približi mjernoj vrpci, kako se ne bi eventualna anomalija mjerne vrpce interpretirala kao podzemna struktura koja ju je izazvala. Mjerna vrpca na rezultate mjerenja najlakše može utjecati prilikom mjerenja magnetskih profila, kada oni nisu ranije iskolčeni, jer se prilikom iskolčavanja sustigne dio ekipe koja postavlja točke i s magnetometrom se stane pored mjerne vrpce. Izmjereni iznos utjecaja ovisi o položaju magnetometra prema mjernoj vrpci. Na mjerenom profilu točke mjerenja nisu tako guste kao prilikom ovog pokusnog mjerenja.

### Orijentacija opažača i senzora

#### Metoda mjerenja

U teoretskim razmatranjima svoje disertacije Hrvoić (1972) navodi povoljnu konstrukciju senzora, te da orijentacija senzora nema utjecaja na rezultat mjerenja. S obzirom na temu ovoga rada provedena su mjerenja

kako bi se ispitalo postoji li utjecaj na kvalitetu mjerenja kod raznih orijentacija senzora i opažača (Gregl, 1997). Budući je prirodno magnetsko polje Zemlje orijentirano prema sjeveru, to su se prilikom mjerenja senzor i opažač orijentirali prema: sjeveru, istoku, jugu i zapadu. Jedno mjerenje je izvedeno uz jedan položaj opažača s opažanjem za sve četiri orijentacije senzora ili obratno. Provedena ispitivanja se vode pod brojevima: 17, 18, 29, 36 i 39. Ispitivanja 17, 18 i 29 su djelomična (jedna ili dvije kombinacije), dok se kod mjerenja 36 i 39 izvršilo opažanje za sva četiri položaja opažača, a svako je to mjerenje provedeno i za sva četiri položaja senzora. Pri svakom slijedećem se mjerenju promijenila orijentacija i opažača i senzora, s tim da je senzor bio orijentiran u smjeru pogleda opažača. Konstrukcija instrumenta je takva da ga je najlakše aktivirati desnom rukom, pa se zbog toga nosač sa senzorom drži lijevom rukom. Tako su provedena i sva ostala mjerenja. Budući se na lijevoj ruci najčešće nalazi ura, zbog toga je provedeno jedno mjerenje sa i jedno mjerenje bez ure na ruci, da se vidi koliki je njezin utjecaj ako ju se slučajno zaboravi skinuti s ruke.

#### Obrada podataka mjerenja

Prilikom mjerenja jednog položaja senzora ili opažača izvršeno je po deset opažanja. Za svako takvo mjerenje izračunata je aritmetička sredina ( $\bar{x}_{10}$ ). Zatim se izračunala aritmetička sredina i za cijelu kombinaciju mjerenja ( $\bar{x}$ ). Kod mjerenja broj 36 i 37 izračunala se i zajednička aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ) za sva mjerenja, tj. za sve četiri kombinacije.

Od aritmetičke sredine pojedinačnih opažanja ( $\bar{x}_{10}$ ) odbijena je aritmetička sredina kombinacije, ili svih kombinacija ( $\bar{x}$ ) prema:

$$\Delta T = \bar{x}_{10} - \bar{x} \quad (9)$$

Na slici 8 prikazane su vrijednosti  $\Delta T$  za kombinacije kada su se za jedan položaj opažača provela mjerenja za sve četiri orijentacije senzora, dok je na slici 9 prikazano opažanje kada se za jedan položaj senzora izvršilo mjerenje u četiri položaja opažača.

Za pojedine kombinacije mjerenja broj 36 i 39 prikazane su na slici 10 njihove aritmetičke sredine ( $\bar{x}_{\Delta T}$ ).

Iz vrijednosti ( $\Delta T$ ) u pojedinim kombinacijama izračunate su njihove aritmetičke sredine ( $\bar{x}_{\Delta T}$ ) i srednja pogreška ( $m_{\Delta T}$ ), te najveća razlika između podataka ( $\Delta T$ ) za pojedinu kombinaciju prema:

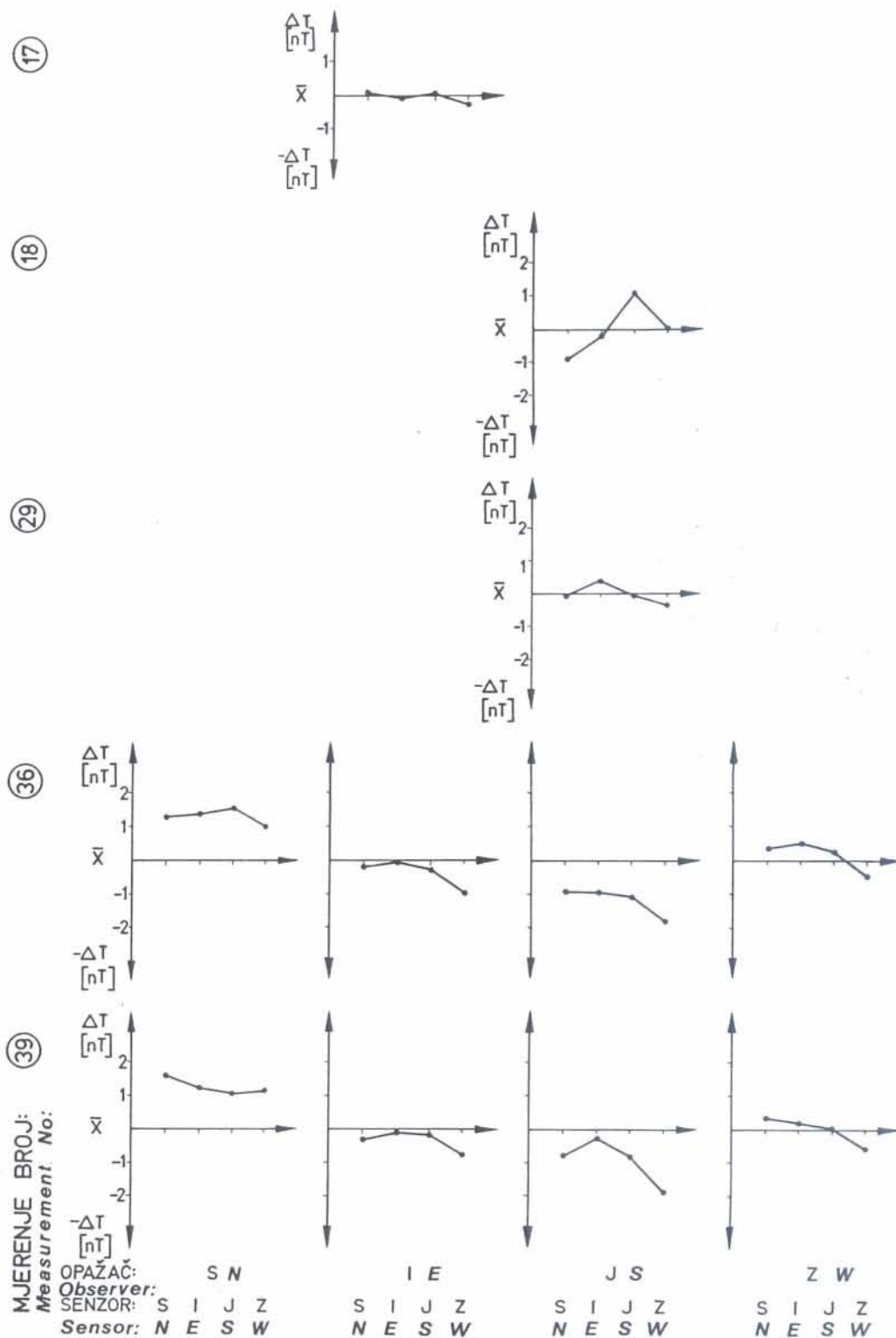
$$\Delta = \Delta T_{max} - \Delta T_{min} \quad (10)$$

Na taj se način dobio uvid u kvalitetu prikazanih podataka na slikama.

Rezultat mjerenja utjecaja ure na ruci prikazan je na slici 11. Za svaki položaj opažača i senzora izvršeno je uobičajenih deset opažanja. Nakon potrebnih korekcija izračunata je aritmetička sredina ( $\bar{x}_{10}$ ) za deset opažanja i aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ) svih pojedinačnih aritmetičkih sredina. Zatim se izračunala njihova razlika ( $\Delta T$ ). Za svaki položaj opažača i senzora od vrijednosti ( $\Delta T$ ) s urom, odbila se vrijednost ( $\Delta T$ ) bez ure. Ta je razlika označena s  $\delta$  i za nju se izračunala aritmetička sredina ( $\bar{x}_{\delta}$ ).

#### Interpretacija

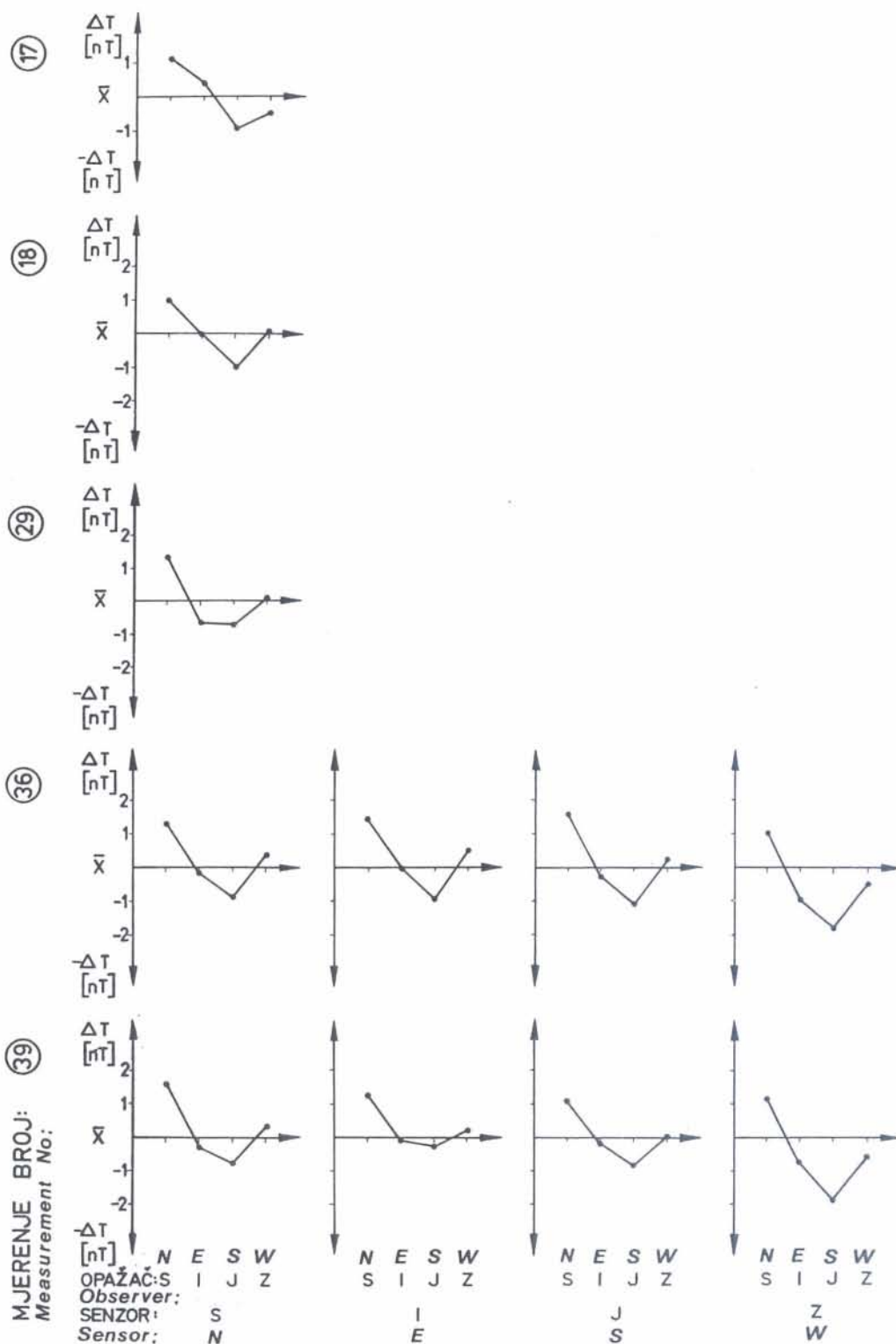
Na slici 8 su kombinacije mjerenja raznih orijentacija senzora za pojedine položaje opažača. Podaci su relativno slični, jedino malo odstupaju mjerenja broj 18 i 39 s opažačem kada je bio južno od senzora. Budući su mjerenja 36 i 39 cjelovita, na njima se najbolje mogu i



Sl. 8. Podaci mjerenja s raznom orijentacijom senzora za pojedine orijentacije opažača  
 Fig. 8. Measuring data with various orientation of the sensor for single orientation of the observer

uočiti razlike. Ostala su mjerenja pojedinačna, ali se i ona uklapaju u isti red veličina. Sličnost podataka mjerenja može se uočiti i prema srednjim pogreškama ( $m_{\Delta T}$ ) od aritmetičkih sredina razlika ( $\Delta T$ ) koje su male, i njihova aritmetička sredina je  $\bar{x}_{m_{\Delta T}} = 0.40$  nT. Njihova srednja pogreška je

$m_{m_{\Delta T}} = 0.20$  nT, što ukazuje na ujednačenost podataka ( $m_{m_{\Delta T}}$ ). Kada se nađu maksimalne razlike između aritmetičkih razlika ( $\Delta$ ), vidi se kako su i one male. To se vidi iz njihove aritmetičke sredine i srednje pogreške koje su ujednačene i male  $\bar{x}_{\Delta} = 0.91$  nT i  $m_{\Delta} = 0.49$  nT.

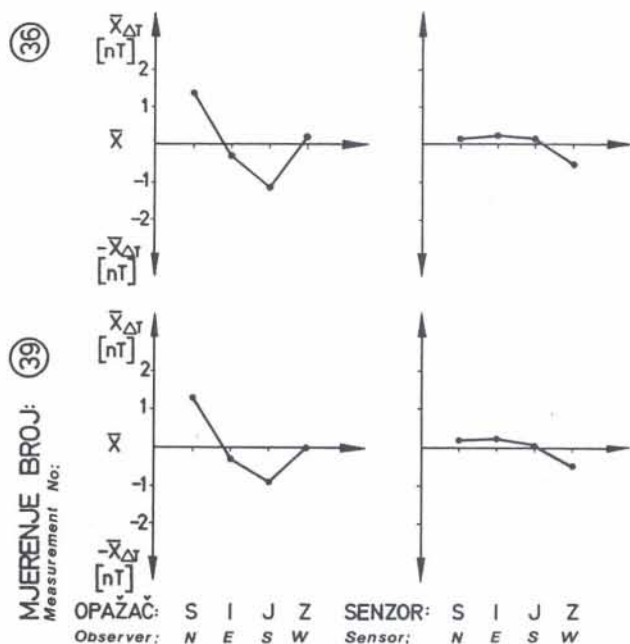


Sl. 9. Podaci mjerenja s raznom orijentacijom opažača za pojedine orijentacije senzora

Fig. 9. Measuring data with various orientation of the observer for single orientation of the sensor

Iz mjerenja broj 36 i 39 vidi se da su mjerenja s opažačem na sjeveru na najvišem »nivou«, a s opažačem na jugu su najniža. Podaci za mjerenja s opažačem na istoku i zapadu su oko nule.

Ovo zapažanje je još uočljivije na slici 9. Srednje pogreške ( $m_{\Delta T}$ ) aritmetičkih sredina ( $\Delta T$ ) su ovdje veće i njihova aritmetička sredina je  $\bar{x}_{m_{\Delta T}}=0.97$  nT. Njihova srednja pogreška je  $m_{m_{\Delta T}}=0.17$  nT, što ukazuje na njihovu ujednačenost. U ovom prikazu su maksimalne



Sl. 10. Aritmetičke sredine podataka mjerenja za pojedinu kombinaciju mjerenja uz razne orijentacije opažača i senzora  
 Fig. 10. The average values of measuring data for single measurement combination with various orientation of the observer and the sensor

razlike ( $\Delta$ ) velike, pa je i njihova aritmetička sredina velika  $\bar{x}_\Delta=2.26$  nT, a imaju srednju pogrešku nisku  $m_\Delta=0.44$  nT, što ukazuje na njihovu ujednačenost, što znači i vjerojatnost.

Aritmetičke sredine ( $\bar{x}_{\Delta T}$ ) za pojedine kombinacije mjerenja broj 36 i 39 su zajednički prikazane na slici 10.

Promatra li se samo orijentacija senzora, dobije se (za mjerenja broj 36/39)  $m_{\Delta T}=0.36/0.35$  nT, i  $\Delta=0.79/0.78$  nT, dok se za orijentaciju opažača dobije  $m_{\Delta T}=1.04/0.93$  nT i  $\Delta=2.5/2.21$  nT.

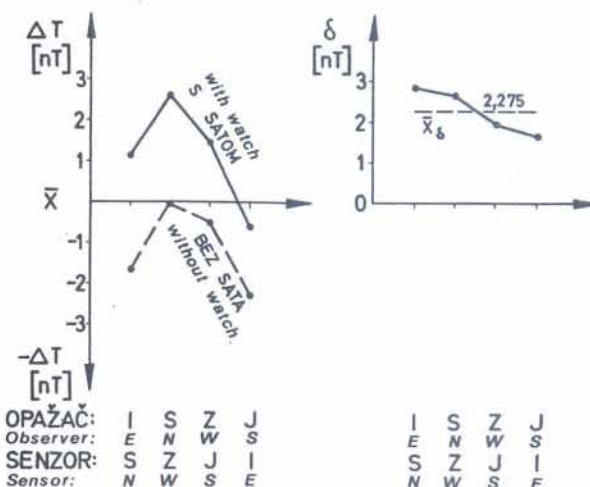
Utjecaj mjerenja s urom prikazan je na slici 11. Na slici se vide obrađeni podaci mjerenja s urom na ruci i bez nje ( $\Delta T$ ), te njihova razlika ( $\delta$ ). Za razliku ( $\delta$ ) izračunata aritmetička sredina iznosi  $\bar{x}_\delta=2.27$  nT.

#### Zaključak

Iz navedenih podataka, kao i iz slika 8 i 9, uočljivo je koliko su mjereni podaci ujednačeni i kvalitetni ( $m_{m\Delta T}=0.20$  nT), a aritmetička sredina maksimalnih odstupanja iznosi  $\bar{x}_\Delta=0.91$  nT. Kao što je ranije navedeno do povećanja ovog iznosa došlo je zbog mjerenja broj 18 i mjerenja s orijentiranim opažačem u smjeru juga u mjerenju broj 39. Može se zaključiti da za praktična mjerenja orijentacija senzora bitno ne utječe na njihovu kvalitetu.

Orijentacija opažača ima veći utjecaj na kvalitetu mjerenja kao što se vidi iz slike 10. Najveća razlika je između mjerenja kada je opažatelj orijentiran na sjever ili jug. Srednja vrijednost te razlike je  $\bar{x}_\Delta=2.3$  nT. Taj je iznos dobiven iz kvalitetnih podataka ( $m_{m\Delta T}=0.17$  nT), što ukazuje da ga treba uzeti u obzir prilikom izvođenja mjerenja.

Zbog toga treba nastojati da prilikom mjerenja opažatelj bude orijentiran u smjeru istoka ili zapada, dok orijentacija senzora nije bitna. Osim mjerenja koja su prikazana u ovom poglavlju, ostala su izvedena tako da je opažatelj bio orijentiran, s obzirom na senzor, u



Sl. 11. Utjecaj ure (na ruci) na kvalitetu mjerenja uz razne orijentacije opažača i senzora  
 Fig. 11. Influence of hand-watch on measurement quality with various orientation of the observer and the sensor

smjeru istoka, a senzor je bio orijentiran u smjeru sjevera. Ta je orijentacija prema procjeni opažača bila približna.

Iz predočenih podataka o utjecaju ure (na lijevoj ruci) na kvalitetu mjerenja ( $\bar{x}_\delta=2.3$  nT), može se zaključiti, da se na taj detalj treba obratiti pažnja, kako bi se mjerenja provela bez ure na ruci.

#### Zaključak

Iz provedenih mjerenja može se zaključiti:

- da se magnetsko djelovanje automobila Lada-Niva 1600 na magnetometar izgubi ako se auto udalji na 50 do 90 metara od magnetometra, ovisno o željenoj točnosti mjerenja (0.5 ili 0.1 nT);
- da na kvalitetu magnetskih mjerenja ima utjecaj i blizina mjerne vrpce;
- kod preciznih mjerenja magnetskog intenziteta treba obratiti pažnju na orijentaciju senzora i opažača, kao i na željezne predmete kod opažača (na pr. ura na ruci, kopča na remenu hlača i sl.).

Tijekom mjerenja na terenu, a za kvalitetniju obradu podataka mjerenja, ustanovio se nedostatak opažanja Geomagnetskog opservatorija i podaci regionalnog premjera. Zbog toga je neophodno što prije pristupiti osnivanju Geomagnetskog opservatorija na teritoriju naše Države i obaviti regionalni premjer jakosti magnetskog polja Zemlje.

Primljeno: 1998-02-18  
 Prihvaćeno: 1998-07-07

#### LITERATURA

Breiner, S. (1973): Application Manual for Portable Magnetometers. Geometrics, 64 str. Sunnyvale.  
 Gregl, T. (1997): Analiza kvalitete geomagnetskih istraživanja s obzirom na utjecaj dnevnih promjena i bliskih magnetskih materijala. Disertacija, 147 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

- Hrvoić I. (1972): Mjerenje slabih magnetskih polja dinamičkom polarizacijom protona. Disertacija, 153 str. Elektrotehnički fakultet, Zagreb.
- Jakosky, J. J. (1967): Geofizička istraživanja. Naučna knjiga, 1017 str. Beograd.
- Kanajet, B. (1986): Mjerne vrpce BMI, 6. Jugoslovenski simpozijum o rudarskim merenjima. SIT – RGMJ Jugoslovenski komitet za rudarska merenja, Zbornik radova, 325–325, Žabljak.
- Logačev, A. A. & Zaharov, V. P., (1979): Magnitorazvedka. Nedra, 351 str. Leningrad.
- Militzer, H. & Scheibe, R. (1980): Grundlagen der angewandten Geomagnetik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. 314 str. Leipzig.
- Mokrović J. (1928): Razdioba glavnih elemenata zemaljskog magnetizma u Kraljevini Srba, Hrvata i Slovenaca. Rad Geofizičkog zavoda u Zagrebu, Serija I 32 str. Zagreb.
- Roberts, N. & Piper, J. D. A. (1989): A Description of the Behaviour of the Earth's Magnetic Field, 163–260 str. u Jacobs, J. A. (editor): Geomagnetism. Academic Press, Volume 3, 550 str. London.
- Skoko, D. (1992): O zemljinom magnetskom polju. *Pomorski zbornik*, knj. 30, 693–728, Rijeka.
- Stefanović D. (1978): Geomagnetske metode istraživanja. Zavod za geološka, hidrogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja-Geofizički institut, 254 str. Beograd.
- Stojković, M. (1983): Geomagnetski godišnjak Grocka. Stručna publikacija, 22/83, 54 str. Beograd.
- Zagorac, Ž, Heruc, S. i Gregl, T. (1994): Detection of an Airplane Bomb by Geomagnetic Testing of the »Redvit« Building in Slavonski Brod. *Rud.-geol.-naft. zb.*, 6, 17–18, Zagreb.

## The Influence of Certain Factors on the Quality of Geomagnetic Measurement

T. Gregl

The most frequent disturbance observed in measurement of the Earth's magnetic field are caused by the iron mass. In this paper several reasons of these disturbances are discussed.

One reason can be the car used in the field investigation. This paper deals with the effect of the Lada-Niva 1600 (type of car) on the measurement results. The results of analysis show that if we wish to avoid the car influencing the measurement results the car has to be more than 50 m distant for the accuracy of 0.5 nT or 90 m for the accuracy of 0.1 nT.

In some of the measured data anomalies were observed which can't be explained. The tests were performed and the obtained results have shown that the magnetic anomalies were induced by the measuring tape. Therefore, this problem must be approached with great care in order to avoid the incorrect interpretation that the magnetic anomalies of such shape are the result of a dyke.

Some test measurements were performed although proton magnetometer constructor claimed that the orientation of the observer and the sensor have no influence on the quality of measurement. If the measurements are performed with precision (for inst. susceptibility) care must be taken not to change the orientation of the observer and the sensor during measurement. The person performing measurement should avoid wearing a metal watch on his hand.

During these measurements and data analysis it has been concluded that it is necessary to build a magnetic observatory and to carry out a magnetic survey of the Croatian territory. This initiative came from the Geophysical Institute of Zagreb in the past and it has become a priority both of the Croatian requirements and the obligation that the Republic of Croatia has towards the foreign scientific institutions.