

DNEVNA PROMJENA JAKOSTI MAGNETSKOG POLJA ZEMLJE

Tihomir GREGL

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

Ključne riječi: Geomagnetno polje, Dnevna promjena

Dnevna promjena jakosti magnetskog polja Zemlje mijenja se prostorno i tijekom vremena. S obzirom na veliku preciznost novih protonskih magnetometara postavilo se pitanje kako se mijenja dnevna promjena udaljavanjem od baze. Zbog toga se radi usporedbe istovremeno mjerila dnevna promjena na bazi i na stajalištima koja su bila na raznim udaljenostima.

Magnetsko polje Zemlje

Uvod

Magnetizam je privukao pažnju istraživača već vrlo rano. Najranija opažanja o magnetizmu pripisuju se grčkom filozofu Talesu u 6. st. prije Krista, a kineski zapisi iz tog vremena puni su opisa privlačne sile magneteta. Kinezi su između 1. i 2. st. prije Krista upotrebljavali kompas. U Evropi se kompas počeo upotrebljavati tek u 12. stoljeću (Skoko, 1992).

»Prva eksperimentalna istraživanja o magnetizmu priopćava 1269. god. Petrus Peregrinus u pismu »Epistola de Magnete« (Skoko, 1992).

»Vrhunac magnetskih istraživanja tog doba bila je publikacija »De Magnete« u kojoj je 1600. W. Gilbert objavio rezultate svojih eksperimentalnih istraživanja o magnetima. Zaključkom da je Zemlja jedan veliki magnet postavio je temelje geomagnetizmu, a idejom o "djelovanju na udaljenost" pripremio je osnovu i Newtonovoj teoriji gravitacije« (Skoko, 1992).

Na temelju raspoloživih mjerenja C. F. Gauss je 1838. magnetsko polje predočio pomoću matematičkih izraza. On je pokazao da je magnetsko polje Zemlje ekvivalentno polju jednog dipola (elementarnog magneteta) u njezinom središtu. Matematički je odredio geomagnetske polove Zemlje. Gauss je magnetsko polje Zemlje podijelio na dio koji ima uzrok u Zemlji od dijela uzrokovanog na površini Zemlje (Skoko, 1992).

Do danas o magnetizmu Zemlje postoji nekoliko teorija, a osobiti napredak u tumačenju tih pojava postignut je tek poslije 1935. (Podlesnik & Mardešić, 1978).

Magnetsko polje na površini Zemlje pojednostavljeno prikazano sastoji se od dva dijela:

– prvi dio magnetskog polja Zemlje ima uzročnike u samoj Zemlji, a sastoji se od dva dijela. Jedan dio magnetskog polja Zemlje nastaje od električne struje duboko u unutrašnjosti Zemlje i to je glavno magnetsko polje. Njega karakterizira dugoročna promjena, tzv. sekularna varijacija. Drugi dio tog magnetskog polja je uzrokovan magnetskim stijenama i električnim strujama u zemljinoj kori i ono je vremenski relativno stabilno i relativno vrlo slabo, a naziva se polje kore.

– drugi dio magnetskog polja na površini Zemlje je tzv. vanjsko polje i ono je uzrokovano električnim strujama u atmosferi i oko nje, a podvrgnuto je uglavnom časovitim i naglim vremenskim promjenama (Skoko, 1992).

I-Hsing je opažao magnetsku deklinaciju oko 720., a u Evropi je prva opažanja 1510. izvodio G. Hartman koji je 1544. otkrio magnetsku inklinaciju. Deklinaciju je upoznao i Kolumbo na svom prvom putovanju 1492. godine.

Key-words: Geomagnetic field, Daily variation

Daily variation in Earth's magnetic field is changed during the time of day and according to Earth's latitude and lengthwise. Due to great sensitivity of new proton magnetometers there is a question how daily variation vary according to distance from the base. To solve this problem, simultaneously was surveyed daily variation on the base and on the points which were on different distances from the base point.

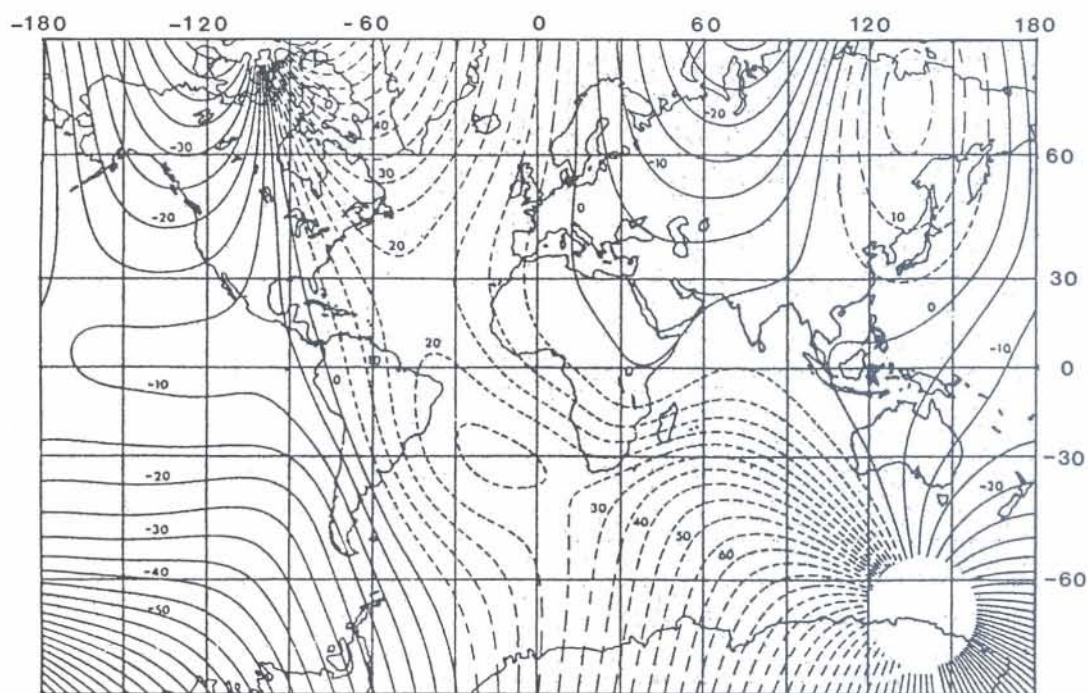
A. Humbolt (1799–1803) je utvrdio da se totalni intenzitet mijenja s geografskom širinom. H. Gellibrand je 1635. dokazao da se na jednom mjestu magnetska deklinacija ne mijenja samo prostorno nego i vremenski (sekularna varijacija). G. Tachart je 1682. utvrdio da se deklinacija mijenja iz dana u dan (iterdijurna promjena). Na prijelazu iz 18. u 19. st. G. Gilpin ustanovljuje i godišnju promjenu dnevne varijacije (Mokrović, 1978).

U prvo vrijeme mjerile su se deklinacija, inklinacija i horizontalna komponenta jakosti magnetskog polja Zemlje. U primijenjenoj geofizici mjerila se uglavnom vertikalna komponenta, a tek iznimno horizontalna, dok se danas mjeri ukupna komponenta jakosti magnetskog polja Zemlje. Ta su mjerenja bila relativno rijetka jer su se izvodila samo na pojedinim područjima Zemlje, pa se nije mogao dobiti uvid u raspored magnetskih elemenata na cijeloj njezinoj površini. Danas se magnetsko polje Zemlje mjeri i iznad njezine površine s magnetometrima koje nose zrakoplovi i sateliti. Snimanje iz zrakoplova započelo je 1936. (Zagorac, 1948) u Sovjetskom Savezu s indukcijskim magnetometrom Logačeva (Fedynskij, 1967), a snimanje iz satelita 1958. »Karte izogona (D) zbog primjene u navigaciji objavljuju se u intervalima od 5 godina, dok se karte ostalih elemenata (i, X, Y, H, Z, F) objavljuju u 10-godišnjim razmacima (Skoko, 1992).

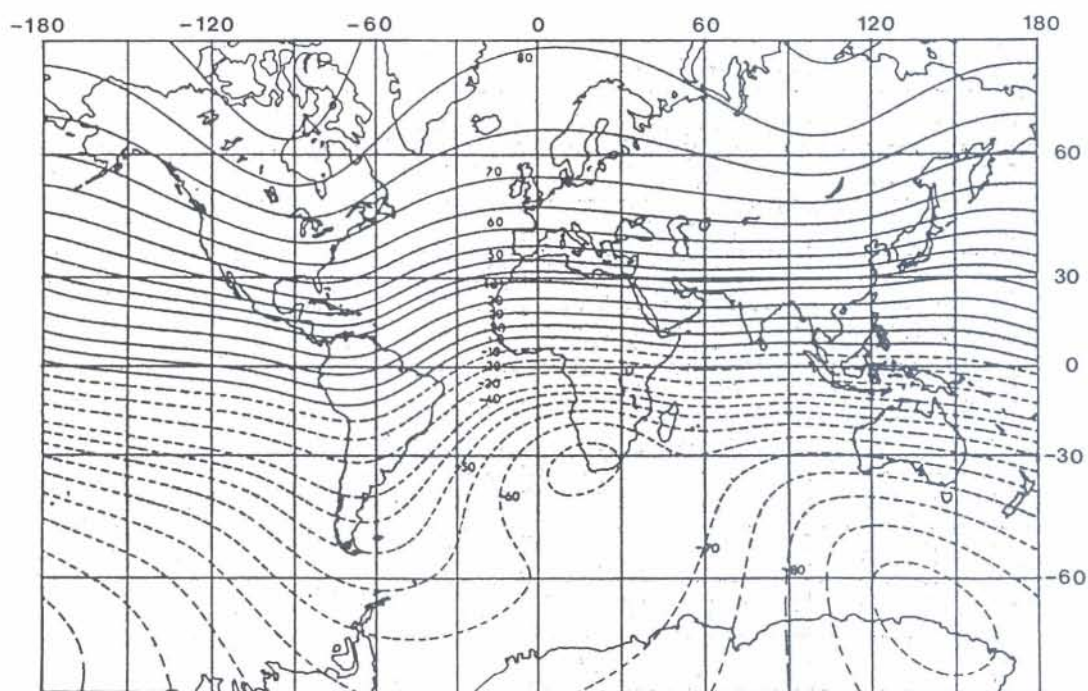
Poznavanje magnetskih elemenata potrebno je u raznim područjima nauke, tehnike i gospodarstva. Pojedinačna izolirana i vremenski odijeljena magnetska mjerenja na pojedinim točkama Zemlje nisu upotrebljiva dok se ne svedu na zajedničku epohu kako bi se mogla izraditi karta o rasporedu magnetskih elemenata. Za taj postupak svodenja potrebno je poznavati dnevnu i godišnju promjenu, a to je moguće samo registracijom magnetskih elemenata na magnetskom opservatoriju. U pravilu se premjer obnavlja svakih petnaest, ali nikako više od svakih trideset godina vremenskog razdoblja (Mokrović, 1948).

Prosječno se magnetsko polje polagano mijenja s vremenom, pa se svakih 10 godina usvaja novo referentno magnetsko polje (International Geomagnetic Reference Field) (Bremaecker 1985).

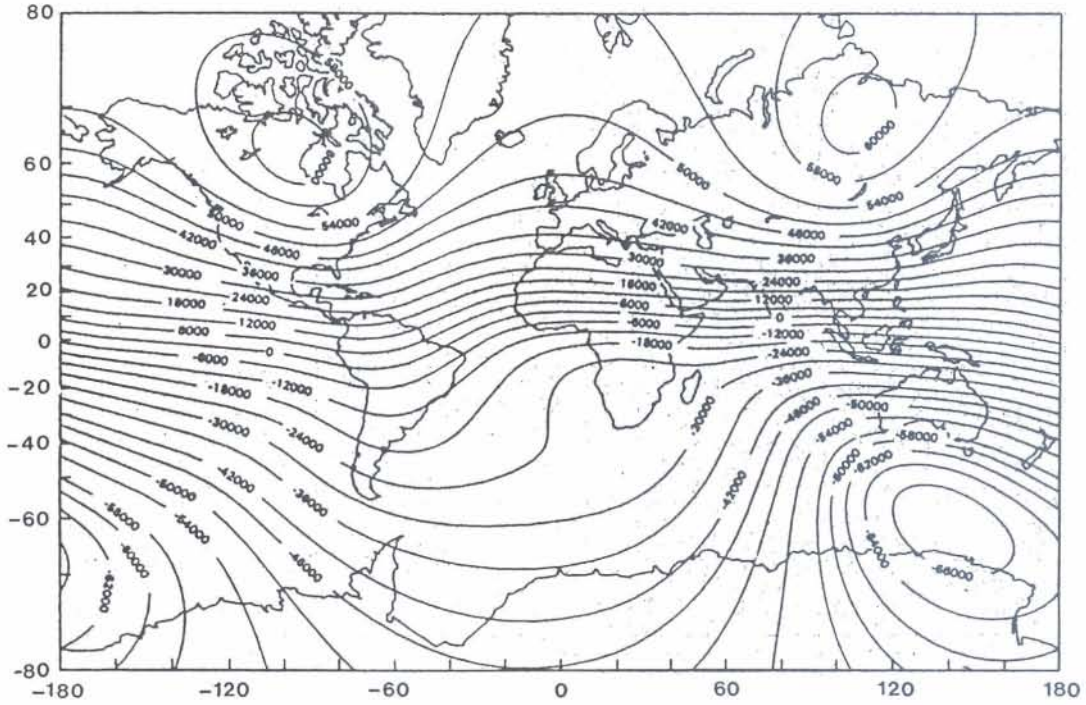
Prvi stalni magnetski paviljon postavio je Humbolt 1827. u Berlinu prema kojemu je i Petrogradska akademija uspostavila magnetske postaje u Rusiji. Gauss i Weber su 1833. u Göttingenu uspostavili prvi magnetski opservatorij. Danas u svijetu postoji 160-ak magnetskih opservatorija. Radi korigiranja i reduciranja podataka o magnetskom polju Zemlje neophodno je da u svakoj državi bude barem jedan magnetski opservatorij.



Sl. 1. Karta izogona za epohu 1985. (Skoko, 1992)
 Fig. 1. The map of isogonic lines for epoch 1985 (Skoko, 1992)

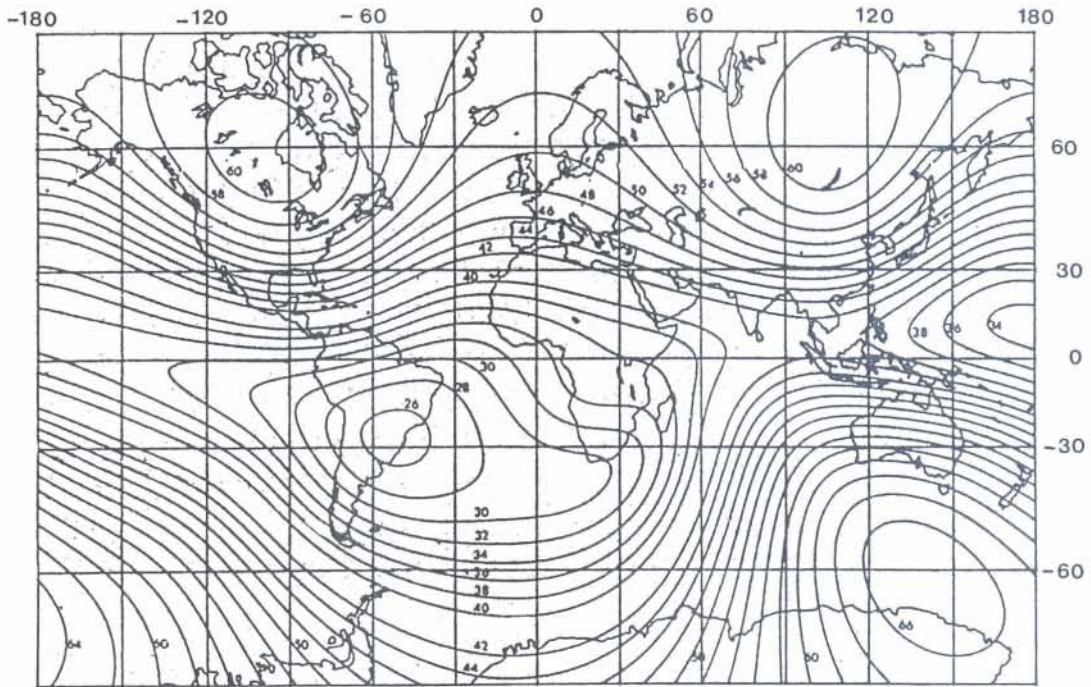


Sl. 2. Karta izoklina za epohu 1985. (Skoko, 1992)
 Fig. 2. The map of isoclinic lines for epoch 1985 (Skoko, 1992)



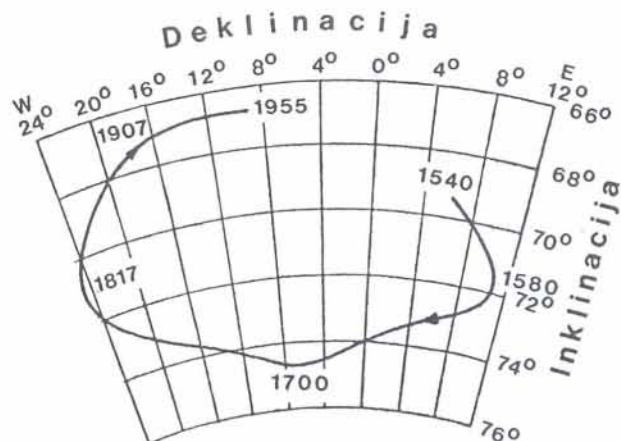
Sl. 3. Karta izodinama vertikalnog intenziteta (Z) za epohu 1980. (Skoko, 1992)

Fig. 3. The map of isodynamic lines of vertical intensity (Z) for epoch 1980 (Skoko, 1992)



Sl. 4. Karta izodinama totalnog intenziteta (T) za epohu 1985. (Skoko, 1992)

Fig. 4. The map of isodynamic lines of total intensity (T) for epoch 1985 (Skoko, 1992)

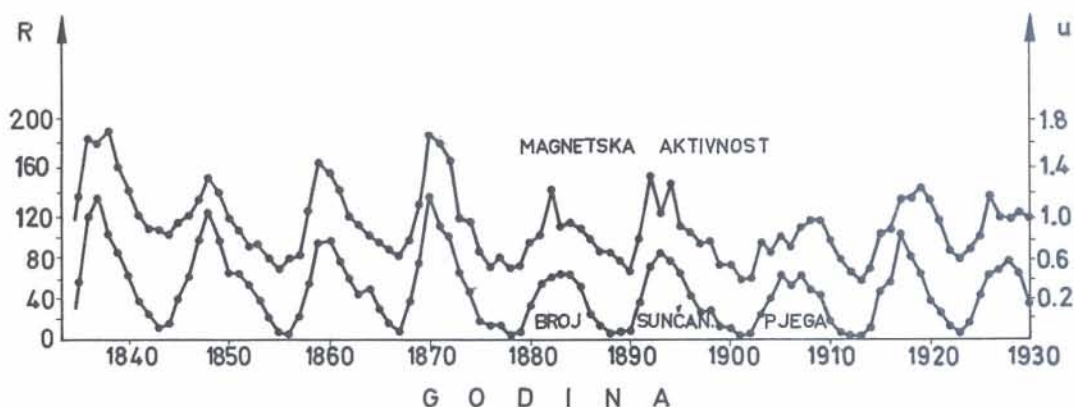


Sl. 5. Sekularna varijacija magnetske deklinacije i inklinacije za London od 1540. (Kasumović, 1971)

Fig. 5. Secular variation of magnetic declination and inclination for London from year 1540, (Kasumović, 1971)

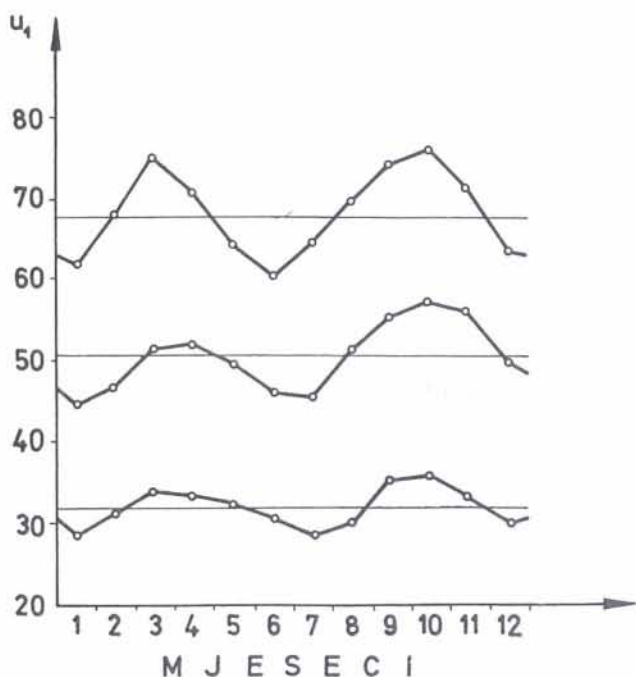
U Puli je deklinacija mjerena 1806., 1819. i 1823. godine. Ta su motrenja međutim, premalo točna. »Prvo pouzdano određenje svih elemenata zemaljskog magnetizma u Pulju (deklinacije, inklinacije i intenziteta) izveo je tadanji ravnatelj zvjezdarne u Pragu K. Kreil 1847. Nепrekidni niz motrenja zem. magnetizma počinje u Pulju god. 1881. kada su postavljeni registrirajući instrumenti.« (Škreb, 1912). Taj prvi i jedini geomagnetski opservatorij u našoj Državi radio je do par godina iza I. svjetskog rata kada je zbog okolnih smetnji prekinuo s opažanjima. Opservatorij u Puli su Talijani 1932. preneli u Genovu (Mokrović, 1948).

Zbog toga se 1938. pristupilo pripremama za podizanje magnetskog opservatorija. Geofizički zavod iz Zagreba predložio je da se opservatorij podigne između Broda i Vinkovaca. Nakon provedenih ispitivanja konstatirano je da teren zadovoljava postavljene uvjete. Međutim, opservatorij nije podignut na tom području, jer je jedan od razloga bio da opservatorij ne bude s ove strane tzv. »amputacione linije«, nego da mora biti blizu Beograda. Iako je na račun reparacija dobiven kompletan instrumentarij magnetski opservatorij nije izgrađen.



Sl. 6. Dijagram Sunčevih pjega (R) i magnetske aktivnosti (u) prikazanih u 11-godišnjem periodu (Janovskij, 1953)

Fig. 6. The diagram of Sun's spots (R) and magnetic activities (u) for eleven years period (Janovskij, 1953)



Sl. 7. Godišnji period magnetskih aktivnosti (Janovskij, 1953)

Fig. 7. Annual period of magnetic activities (Janovskij, 1953)

Geofizički zavod iz Zagreba pokrenuo je ponovno 1948. inicijativu za podizanje magnetskog opservatorija i predložio područje između Broda preko Đakova do Vukovara. Ukoliko bi mornarica imala posebnog razloga za uspostavu jednog manjeg pomoćnog opservatorija tada bi to bilo područje kod Metkovića (Mokrović, 1948).

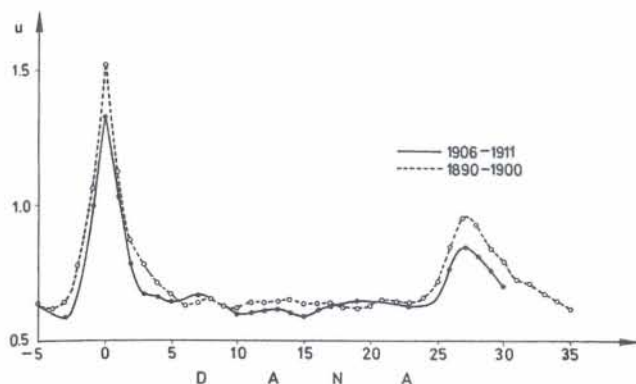
Geomagnetski opservatorij u Jugoslaviji počeo je raditi krajem 1954. u Grockoj kraj Beograda.

Zbog toga bi bilo neophodno, konačno, izgraditi magnetski opservatorij u Hrvatskoj. Osim toga i svi podaci o dosadašnjem regionalnom premjeru u Hrvatskoj su nam nedostupni jer su pohranjeni u Grockoj kraj Beograda.

Vanjsko magnetsko polje Zemlje se najkraće može opisati izrekom starogrčkog mudraca Heraklita (544–480 prije Krista) »Panta rhei, panta kinetta kai udēn ménei – Sve teče, sve se mijenja, sve se kreće i ništa ne ostaje neizmijenjeno« (Klaić, 1978). Elementi magnetskog polja se mijenjaju prostorno i vremenski.

Prostorne promjene magnetskog polja Zemlje

Prostorne se promjene dobiju iz mjerenja na magnetskim opservatorijima. Radi vremenskih promjena magnetskog polja ti se podaci međusobno ne mogu uspoređivati, jer nisu izmjereni u isti vremenski trenutak. Zbog toga se sva mjerenja na pojedinim točkama moraju svesti na isti vremenski moment ili epohu. Kada se tako



Sl. 8. 27-dnevni period magnetske aktivnosti (Janovskij, 1953)
 Fig. 8. 27 days period of magnetic activities (Janovskij, 1953)

svedeni podaci na istu epohu nanesu na geografsku kartu dobije se karta geomagnetskih elemenata.

Karta s promjenama magnetske deklinacije prikazana je na slici 1 (Skoko 1992). Linije koje spajaju mjesta s jednakim vrijednostima magnetske deklinacije zovu se izogone. Izogona s vrijednostima magnetske deklinacije 0° zove se agona. Agone dijele Zemlju na područja istočnih (+) i zapadnih (-) magnetskih deklinacija.

Na slici 2 (Skoko, 1992) prikazana je karta s promjenama magnetske inklinacije. Izokline spajaju mjesta jednakih vrijednosti magnetske inklinacije. Izoklina s vrijednostima 0° zove se aklina i ona je aklinički magnetski ekvator Zemlje. Ona se nalazi u blizini geografskog ekvatora, ali se s njime ne podudara. Od aklina do oba magnetska pola inklinacija raste od 0° do 90° .

Jakost magnetskog polja Zemlje prikazuju linije jednakog intenziteta koje se nazivaju izodiname. Na kartama se prikazuju horizontalne ili vertikalne komponente jakosti magnetskog polja, te totalna jakost magnetskog polja Zemlje. Na slici 3 su izodiname vertikalnog intenziteta, a na slici 4 su izodiname totalnog intenziteta (Skoko, 1992). Na magnetskim polovima horizontalni intenzitet je jednak nula, a vertikalni je jednak totalnom, koji ovdje ima svoju najveću vrijednost. Horizontalni intenzitet od magnetskih polova prema ekvatoru raste, a totalni opada.

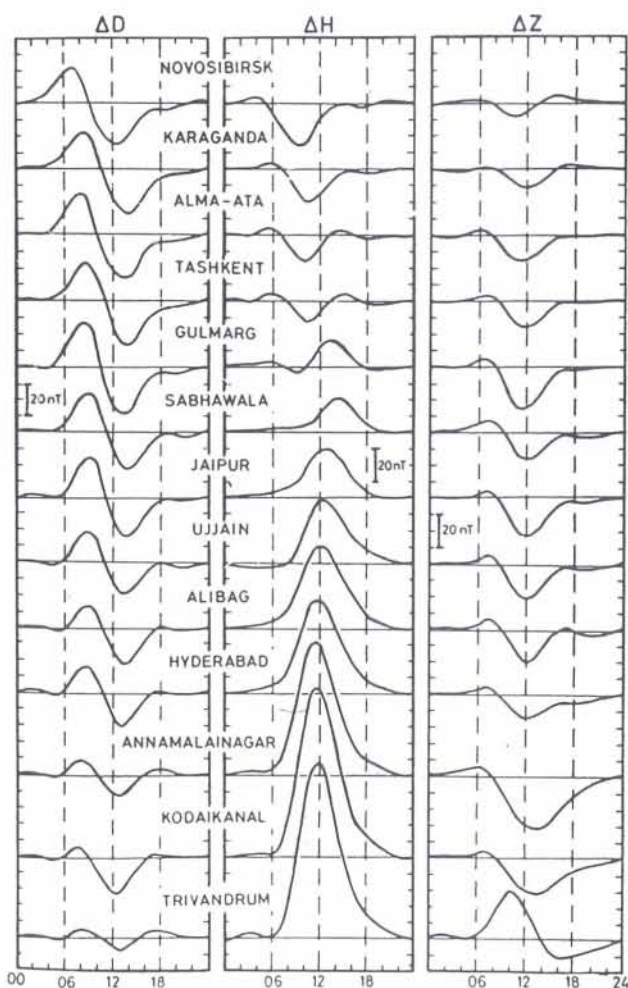
Vremenske promjene magnetskog polja Zemlje

Vanjsko magnetsko polje Zemlje nastaje kao međudjelovanje Sunca i Zemlje. Naime, s čitave površine Sunca stalno velikom brzinom i vremenski promjenljivo na sve strane teče tok elektrona i protona. To je tzv. Sunčani vjetar, i on je produljenje magnetskog polja Sunca u međuplanetarnom prostoru. »Pri sučeljavanju Sunčanog vjetra sa Zemljinim magnetskim poljem dolazi do potiskivanja tog polja na strani prema Suncu i produljenja (magnetski rep) na suprotnoj strani« (Skoko, 1992). Budući da vanjsko magnetsko polje Zemlje uzrokuju električne struje čiji je uzrok međudjelovanje Sunca i Zemlje, to polje pokazuje vremenske promjene povezane sa sunčevom aktivnosti i njegovim položajem u odnosu na Zemlju.

Prostorna raspodjela geomagnetskih elemenata mjeri se na geomagnetskim opservatorijima oko 180 godina, te se pri tome primijetilo da magnetski moment Zemlje polagano opada. Ta se promjena zbog svog polaganog hoda zove sekularna varijacija magnetskog polja Zemlje. Na slici 5 prikazana je sekularna varijacija magnetske deklinacije i inklinacije za London od 1540. godine (Kasumović, 1971).

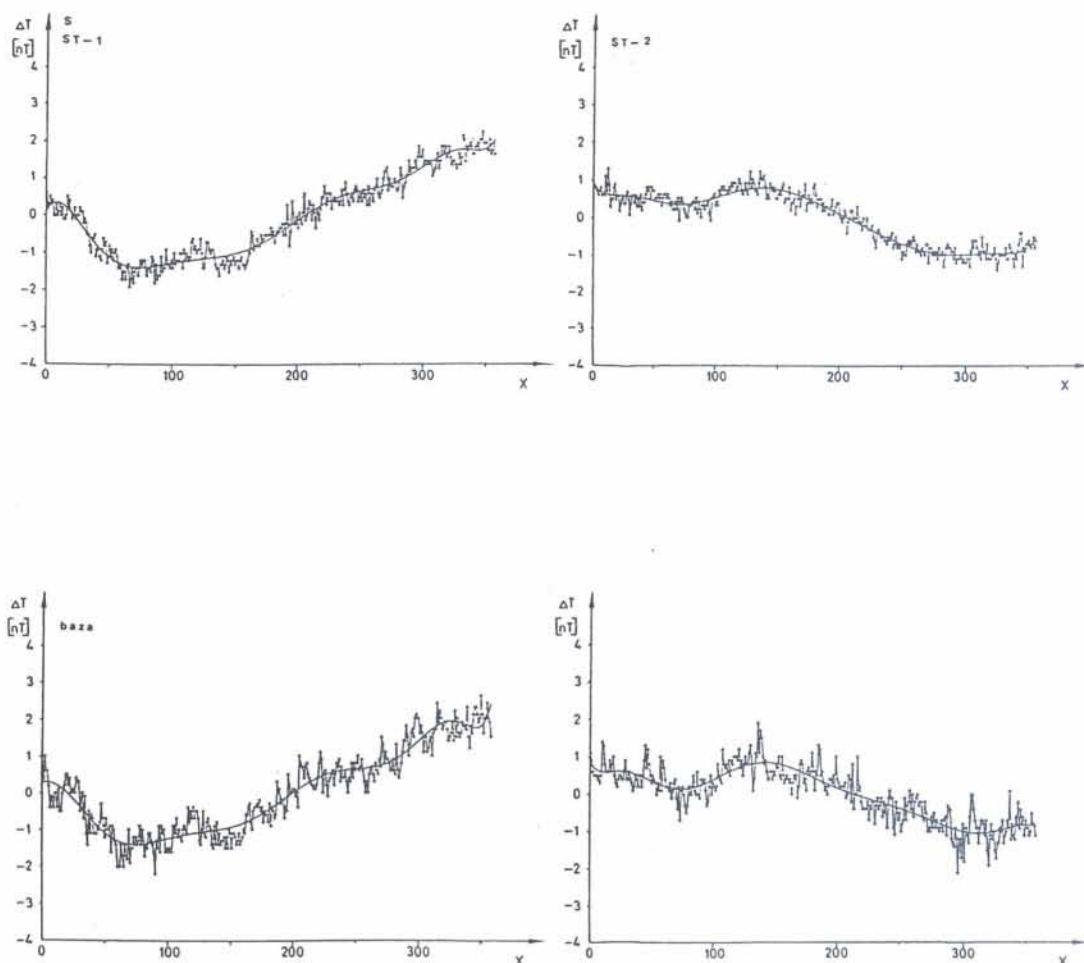
Pri analizi pojava povezanih s promjenama magnetskog polja Zemlje, a radi njihove usporedbe s pojavama aktivnosti na Suncu i pronalaženja veze među njima, treba prikladno karakterizirati te promjene. Te promjene su nazvane magnetska aktivnost ili perturbacija (u). Stupanj magnetske aktivnosti pojedinog dana karakterizira se brojem $u=0, 1$ i 2 . Najmirniji dan označuje se nulom, a najburniji brojem 2 . To je individualna ocjena niza opservatorija koja nakon statističke obrade podataka dobiva objektivno značenje. Upotrebljava se i oznaka za mjeru magnetske aktivnosti u_1 koja je povezana s oznakom u (Janovskij, 1953).

U vremenskoj slici vanjskog magnetskog polja Zemlje nalaze se komponente s periodom od 11 godina. To je ciklus pojave Sunčanih pjega. Janovskij (1953) je prikazao dijagram Sunčeve i magnetske aktivnosti za period od 1830. do 1930. godine. Iz tog se dijagrama (sl. 6) može zaključiti da magnetska aktivnost prati pojavu Sunčanih pjega. U godinama maksimuma Sunčanih



Sl. 9. Dnevna varijacija deklinacije (ΔD), te horizontalne (ΔH) i vertikalne (ΔZ) komponente jakosti magnetskog polja Zemlje (Rastogi, 1989)

Fig. 9. Daily variation (ΔD), horizontal (ΔH) and vertical (ΔZ) component of Earth's magnetic Field (Rastogi, 1989)



Sl. 10-1. Dijagram mjerenih podataka obračunatih na aritmetičke sredine pojedinog intervala mjerenja i za njih izračunata regresija polinomom 10-og stupnja, za mjerenja na profilu sjever jug (os X=broj podataka)

Fig. 10-1. The diagram of surveyed data which are then recalculated on arithmetical value for single period of measurement. For that value is calculated regression by polinoma of 10th degree for surveying on north-south profile (X-axis = number of data)

pjega (11-godišnji period) javlja se i maksimum magnetske aktivnosti.

Geomagnetsko polje podvrgnuto je promjenama čiji je period jedna godina, što daje godišnju varijaciju polja, a povezano je s godišnjim ophodom Zemlje oko Sunca (Skoko, 1963/64; 1992). Statističkom analizom magnetskih aktivnosti uočava se ta godišnja cikličnost. Janovskij (1953) je analizirao 59-godišnji period (1872–1930) i magnetsku aktivnost prema izračunatim njihovim aritmetičkim sredinama podijelio u tri grupe:

- jaka magnetska aktivnost $\bar{u}_I=68.7$
- srednja magnetska aktivnost $\bar{u}_I=50.8$
- slaba magnetska aktivnost $\bar{u}_I=31.7$

Na dijagramu (sl. 7) se vide dva maksimuma magnetske aktivnosti tijekom godine, a to je vrijeme ekvinoxija, i dva minimuma za vrijeme solsticija. Ova se zakonitost prema tome može povezati s položajem ravnine ekvatora i ravnine ekliptike.

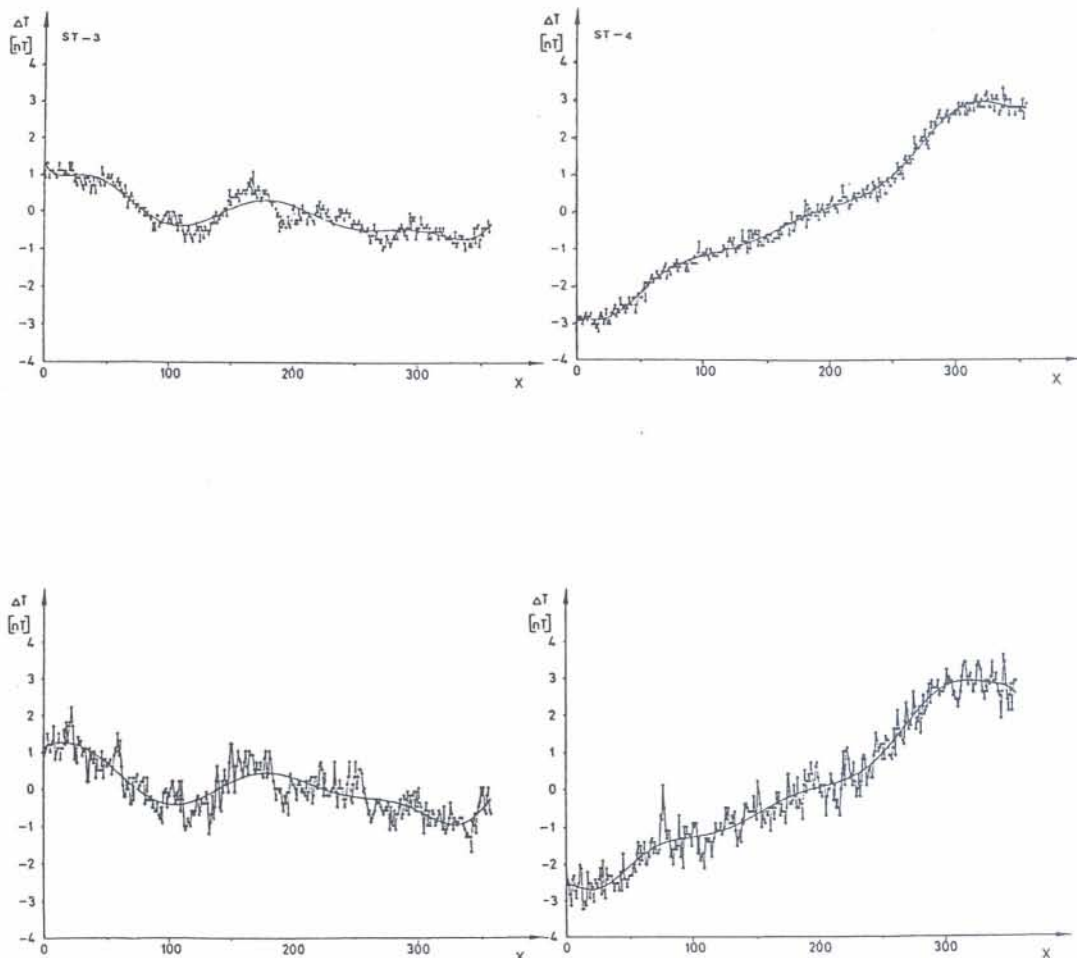
Poremećenja magnetskih elemenata pokazuju i vezu s rotacijom Sunca oko svoje osi (27.3 dana) tzv. sinodički period vrtnje Sunca (Skoko, 1963/64; 1992; Mokrović, 1978). Ilustracija te zakonitosti prikazana je na slici 8 (Janovskij, 1953). Promatrajući magnetsku aktivnost u periodu od 1890. do 1911., a uzimajući za polazište dijagrama maksimum magnetske aktivnosti,

tada se u takvom dijagramu (5 dana prije maksimuma i 35 dana poslije maksimuma magnetske aktivnosti) pojavi još jedan maksimum (ali slabiji) nakon 27–28 dana.

Promjene magnetske aktivnosti lijepo se uočavaju na magnetogramu. Za magnetski mirnih dana krivulje imaju miran i pravilan hod koji se na takve dane ponavlja gotovo iz dana u dan. Zato se govori o dnevnoj varijaciji magnetskih elemenata. Ta dnevna varijacija u vezi je s rotacijom Zemlje oko njene osi (Skoko 1963/64). Polje je nemirnije tijekom dana dok je Sunce nad horizontom, a mirnije tijekom noći (Mokrović, 1978).

Prostorna promjena magnetskih elemenata tijekom dana prikazana je na slici 9 (Rastogi, 1989). Na toj su slici prikazani magnetski elementi: deklinacija (ΔD), te horizontalna (ΔH) i vertikalna (ΔZ) komponenta jakosti magnetskog polja Zemlje mjerenih na opservatorijima na 75° istočne dužine u rasponu od opservatorija u Trivandrumu (8.5° sjeverne širine) do opservatorija u Novosibirsku (55° sjeverne širine). Središnja godišnja vrijednost izračunata je za godinu 1978.

Pojavljaju se i intenzivniji poremećaji magnetske aktivnosti koja zahvaćaju cijelu Zemlju. Oni su vezani za veliku pojavu Sunčanih pjega. To su magnetske oluje. Te su smetnje neovisne od orijentacije Sunca prema Zemlji i događaju se naglo i gotovo istovremeno iznad cijele površine Zemlje. Mogu potrajati nekoliko dana (Rid-



dihough, 1971) i za to vrijeme ne mogu se izvoditi terenska prospekcijska mjerenja.

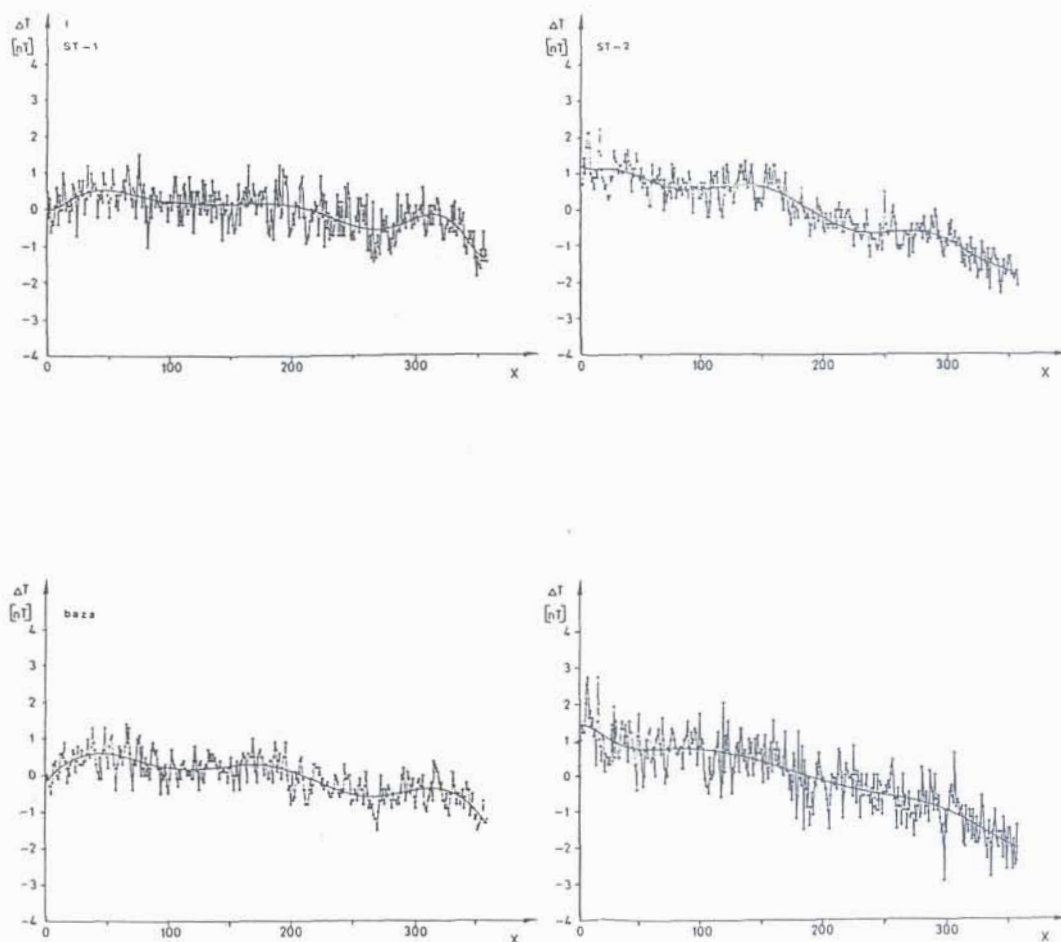
Dnevna promjena jakosti magnetskog polja Zemlje

Uvod

Za regionalna i znanstvena istraživanja dnevne varijacije magnetskog polja Zemlje mjere se u geomagnetskim opservatorijima, a za potrebe prospekcijskih premjera mjere se na terenu na nekoj odabranoj točki koju se naziva baza. Budući se dnevna varijacija magnetskog polja Zemlje mijenja vremenski i prostorno, postavlja se pitanje kako koristiti njezine podatke za korekciju, tj. kako se daleko od baze mogu ti podaci za dnevnu promjenu koristiti za korekciju terenskih podataka izmjerenih na raznim stajalištima. To je postalo aktualno budući se posljednjih godina širom svijeta bilježi sve veći i brži napredak mjerne tehnike čime se poboljšavaju rezultati mjerenja. Razvojem u konstrukciji magnetometara povećala se njihova osjetljivost, što omogućuje mjerenje i slabijeg intenziteta magnetskog polja Zemlje, ali se tada povećava utjecaj raznih čimbenika (tzv. šum smetnji) na kvalitetu rezultata mjerenja (Gregl, 1998, a, b.). Osim toga potrebno je istražiti kako se mijenja dnevna promjena udaljavanjem od baze, te ima li to utjecaj na kvalitetu rezultata mjerenja (Gregl, 1997).

Metoda mjerenja

Da bi se moglo uočiti postoji li razlika u dnevnoj promjeni na određenoj udaljenosti od mjerenja dnevne promjene na bazi, izvršeno je opažanje dnevne promjene na raznim udaljenostima od baze. Ta mjerenja su izvedena na dva profila: sjever–jug i istok–zapad. Zbog toga je bio problem pronaći odgovarajući teren bez magnetskih smetnji, gdje bi se ta mjerenja mogla izvršiti. Za profil sjever jug odabrana je cesta Velika Gorica–Kravarsko–Hotnja koja se približno podudara s tim pravcem. Za profil istok–zapad (uz istu bazu) mjerenje je izvršeno od baze na zapad u smjeru Zdenčine. Na tom je profilu bio problem prijelaz iz jednog stajališta na drugo budući su postojeće ceste uglavnom orijentirane sjever jug. To je vidljivo iz proteklog vremena između opažanja na dvije susjedne stanice (tablica 2). Baza je postavljena 125 m zapadno od ceste Velika Gorica–Kravarsko i 280 m južno od poljoprivrednog dobra. Stajališta su postavljena tako da su što bliže pravcima sjever jug i istok–zapad u odnosu na bazu, a udaljenost da bude približno 5, 10, 15 i 20 km od baze. Pozicije stajališta na terenu ucrtane su na topografske karte mjerila 1:25000, a potrebni podaci su očitani s karte i prikazani u tablici 1.



Sl. 10-2. Dijagram mjerenih podataka obračunatih na aritmetičke sredine pojedinog intervala mjerenja i za njih izračunata regresija polinomom 10-og stupnja, za mjerenja na profilu istok-zapad (os X=broj podataka)

Fig. 10-2. The diagram of surveyed data which are then recalculated on arithmetical value for single period of measurement. For that value is calculated regression by polinoma of 10th degree for surveying on east-west profile (X-axis = number of data)

Tablica 1. Pozicija stajališta u odnosu na bazu
Table 1. Position of standpoints according to the base survey point

Stajalište	P R O F I L			
	sjever - jug		istok - zapad	
	udaljenost [m]	azimut [°]	udaljenost [m]	azimut [°]
1	4770	175.0	4640	271.5
2	9630	178.5	9920	273.0
3	15750	179.0	15070	272.0
4	19220	182.0	20400	269.0

Mjerenja su izvršena s magnetometrima model GSM-18 firme Gem Systems Inc Canada.

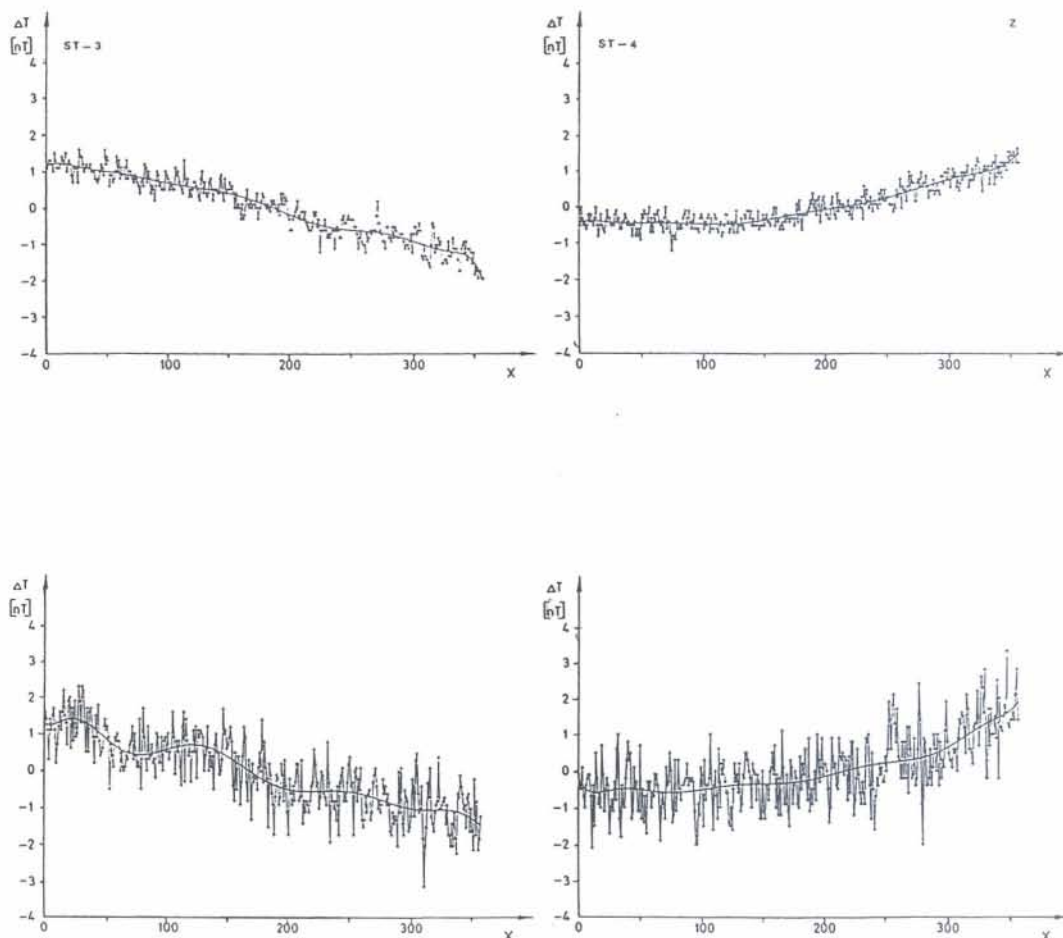
Za mjerenje na bazi korišten je magnetometar broj 6744, a kao mobilni magnetometar upotrebljen je magnetometar broj 4614.

Mjerenje na profilu sjever-jug izvršeno je 2. XII. 1992. a označeno je kao mjerenje broj 26. Mjerenje na profilu istok-zapad izvršeno je 25. V. 1993. a označeno je kao mjerenje broj 28.

Obrada podataka mjerenja

Iz analize podataka mjerenja (Gregl & Brzica, 1999) zaključeno je da korišteni magnetometri povremeno izvrše mjerenje s grubom pogreškom. Analizirajući mjerenja broj 26 i 28 moglo se ustanoviti da i kod njih ima podataka mjerenja koja se mogu tretirati kao grube pogreške.

Kod mjerenja broj 26 ocijenjeno je da mjerenja izvršena magnetometrom broj 4614 imaju jednu grubu pogrešku, a mjerenja izvršena magnetometrom broj 6744 ukupno 58 grubih pogrešaka. Uspoređujući mjerenja na oba magnetometra u vremenskim intervalima kada su oba magnetometra opažala istovremeno zaključeno je da magnetometar broj 4614 ima jednu grubu pogrešku, a magnetometar broj 6744 da ima 38 grubih pogrešaka. Budući je u vremenskom dijagramu nezgodno imati »izbačene« podatke, oni nisu izbačeni, već se u datoteku umjesto njih stavio podatak aritmetičke sredine između dva podatka prije i dva podatka poslije grube pogreške. Takav način izmjene podataka smije se provesti zbog toga što se pri mjerenju dnevne promjene »susjedni« podaci međusobno malo razlikuju, imaju isti red veličina, najčešće <1 nT. Gruba pogreška kod magnetometra broj 4614 bila je veća za 173 nT od dva susjedna podatka. Kod magnetometra broj 6744



najviše grubih pogrešaka (16) bilo je reda veličine 30–40 nT, a zatim (10) reda veličine 70–80 nT.

Kod mjerenja broj 28 ocijenjeno je da kod mjerenja magnetometrom broj 4614 ima 3 grube pogreške (8; 45,6 i 51,3 nT), a kod magnetometra broj 6744 18 grubih pogrešaka, najviše ih je reda veličine 2–3 nT (9), a najveća je 70,1 nT.

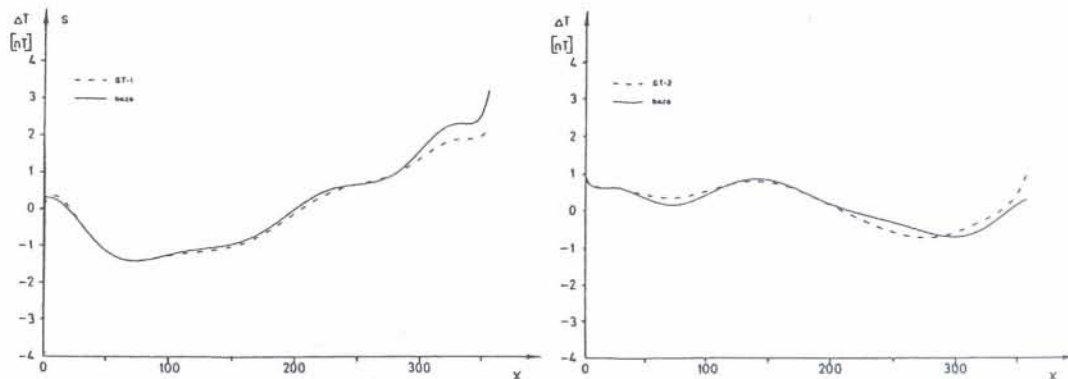
Nakon što su izmjeranim i sredenim podacima popravljene grube pogreške, određeni su u podacima jednaki i istovremeni vremenski intervali od 30 minuta, za bazu i stajališta, koji će se uspoređivati. Odabir vremenskih intervala prikazan je u tablici 2.

Budući se na profilu mjerilo dnevnu promjenu na četiri stajališta, to su ti podaci dnevne promjene »opterećeni« jakosti magnetskog polja na tim stajalištima, a isto tako razlikuju se i od dnevne promjene u bazi. Da bi se te podatke moglo međusobno uspoređivati za svaki odabrani vremenski interval izračunala se aritmetička sredina (\bar{x}) i ona se odbila od podataka mjerenja (T). Zbog potrebnog računa na svim dijagramima na osi X su podaci o vremenu opažanja zamijenjeni rednim brojem 0–360 (30 minuta opažanja x 12 opažanja/minutu). Prema tome za obradu podataka mjerenja korišten je za svako stajalište 361 podatak, znači ukupno 5776 podataka.

S tako sredenim podacima ($X=0-360$; $Y=\Delta T=T-\bar{x}$) izvršio se račun regresije s polinomom 10-og stupnja pomoću programa Grapher. Program Grapher kao kvalitetu regresije ne daje standardnu devijaciju, već rezidualnu sumu kvadrata RSK (Sums of Squares of Residuals) i koeficijent determinacije RD. Ti podaci o izvršenoj regresiji prikazani su u tablici 3.

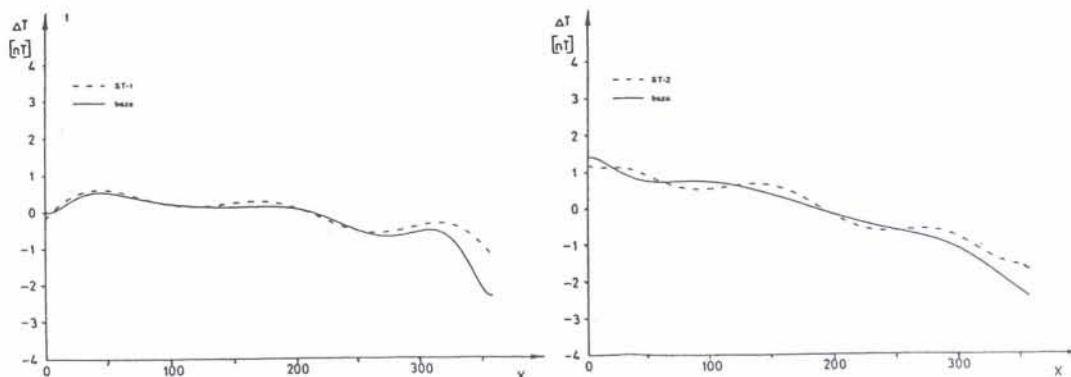
Tablica 2. Odabrana vremena za analizu
 Table 2. Selected times for analyse

		Profil: S – J	Profil: I – Z
ST – 1	od	10–10–00	09–20–00
	do	10–40–00	09–50–00
ST – 2	od	11–01–00	10–52–00
	do	11–31–00	11–22–00
ST – 3	od	12–00–00	12–10–00
	do	12–30–00	12–40–00
ST – 4	od	12–50–00	13–50–00
	do	13–20–00	14–20–00



Sl. 11-1. Izračunati dijagrami polinoma 10-og stupnja pomoću njegovih koeficijenata dobivenih regresijom, za mjerenja na profilu sjever–jug (os X=broj podataka)

Fig. 11-1. Calculated diagrams for 10th degree polinoma obtained by coefficients from regression for surveying on nord–south profile (X-axis=number of data)



Sl. 11-2. Izračunati dijagrami polinoma 10-og stupnja pomoću njegovih koeficijenata dobivenih regresijom, za mjerenja na profilu istok–zapad (os X=broj podataka)

Fig. 11-2. Calculated diagrams for 10th degree polinoma obtained by coefficients from regression for surveying on east–west profile (X-axis=number of data)

Da bi se moglo zaključiti o zavisnosti mjerenja dnevne promjene na bazi i na pojedinim stajalištima na slikama 10 (–1 i –2) prikazani su mjereni podaci (ali kao ΔT) i krivulja polinoma 10-og stupnja za mjerenja na oba profila i to na bazi i na sva četiri stajališta.

Za potrebe daljnjeg računanja izračunati su podaci polinoma 10-og stupnja, pomoću njegovih koeficijenata dobivenih regresijom, za odabrane vrijednosti ($x=361$ podatak). Na slikama 11 prikazani su u istom dijagramu izračunati polinomi za bazu i za odgovarajuće stajalište.

Iz podataka izračunatog polinoma 10-og stupnja, pomoću koeficijenata, za dnevnu promjenu na bazi i pojedinim stajalištima (slika 11) izračunata je njihova razlika (program Excel). Ta razlika polinoma je prikazana na slikama 12. Iz tih podataka (izračunatih polinoma) izračunata je standardna devijacija (SY) i koeficijent korelacije (RY). Ti podaci su prikazani na slikama 13 kao funkcije udaljenosti stajališta od baze.

Interpretacija

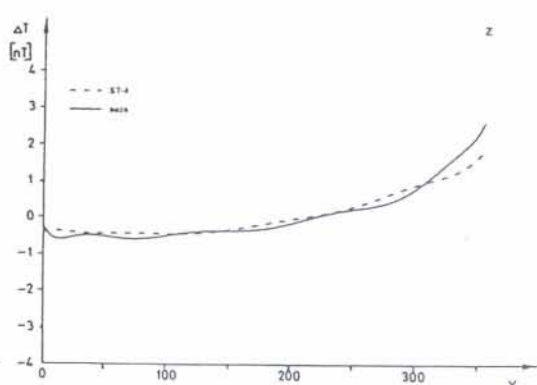
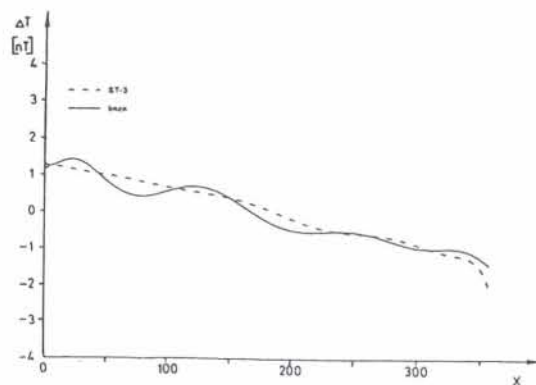
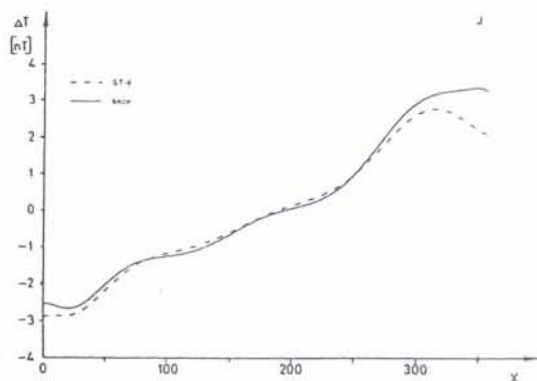
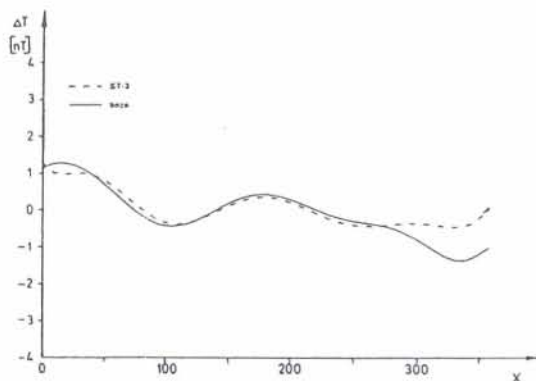
Promatrajući mjerene podatke za mjerenje broj 26 na slici 10–1 može se uočiti kako podaci izmjereni magnetometrom broj 4614 manje osciliraju od podataka izmjenjenih magnetometrom broj 6744. Zbog toga je

Tablica 3. Kvaliteta regresije izvršene polinomom 10-tog stupnja
Table 3. The quality of regression made by 10th degree polinoma

Stajalište	Profil: S – J		Profil: I – Z	
	baza	profil	baza	profil
REZIDUALNA SUMA KVADRATA				
1	44.616	20.569	66.6936	43.441
2	43.839	13.594	106.398	44.298
3	53.109	20.992	118.932	22.455
4	46.409	8.801	174.321	16.331
KOEFIČIJENT DETERMINACIJE				
1	0.905	0.953	0.463	0.618
2	0.765	0.922	0.726	0.852
3	0.701	0.823	0.666	0.915
4	0.961	0.992	0.457	0.877

izvršena regresija za magnetometar broj 4614 kvalitetnija, nego li za magnetometar broj 6744.

Na slici 10–2 prikazani su podaci mjerenja broj 28. Ti su podaci mjerenja lošiji nego li prethodni. Zbog toga je njihova regresija manje kvalitetna.



Kvaliteta regresije pojedinog polinoma 10–og stupnja vidi se u tablici 3.

Krivulje izračunatih polinoma za bazu i pojedina stajališta (sl. 11) razlikuju se vrlo malo, jedino kod nekih postoji nešto veće odstupanje na kraju krivulja, što se može uočiti i na slikama 12. Iz slika 13 se vidi da je standardna devijacija (SY) relativno mala i da se ne mijenja u ovisnosti o udaljenosti od baze. Koeficijent korelacije (RY) ima određene oscilacije, ali se ne može uočiti da postoji zavisnost u njegovoj promjeni ovisno o udaljenosti stajališta od baze.

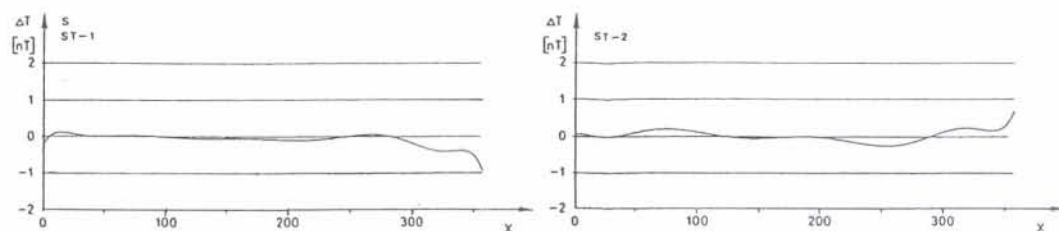
Zaključak

Iz vrijednosti u krivuljama standardne devijacije (SY) i koeficijenta korelacije (RY) (sl. 13) može se zaključiti da djelomična odstupanja u izračunatim polinomima (sl. 11 i 12) nisu bitno utjecala na rezultate. Zbog toga se iz izgleda tih krivulja (sl. 13) može zaključiti da na promatranoj udaljenosti (do 20 km) nema bitne razlike u dnevnoj varijaciji na bazi i na pojedinim stajalištima, pa se na stajalištima do te udaljenosti može upotrijebiti za korekciju dnevne varijacije onaj podatak koji se dobije mjerenjem na bazi.

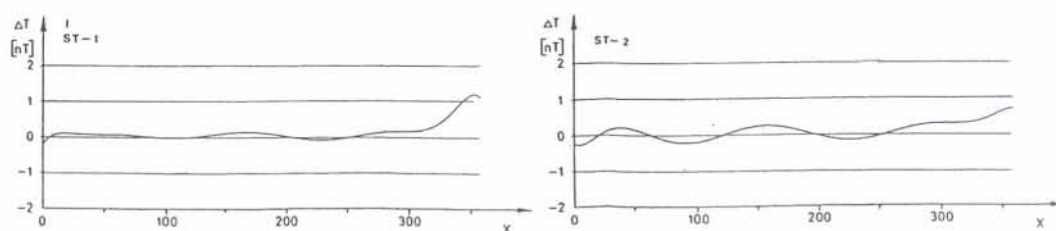
U slici 9 se vide razlike dnevne promjene u magnetogramima izmjenjenim na raznim geomagnetskim opservatorijima zbog toga što su ta mjerenja izvedena na većim udaljenostima. Taj je problem razmotren za potrebe aeromagnetometrijskih mjerenja (Riddihough, 1971; Whitham & Niblett, 1961) ili ga treba uzeti u obzir kada se izvodi regionalni premjer.

LITERATURA

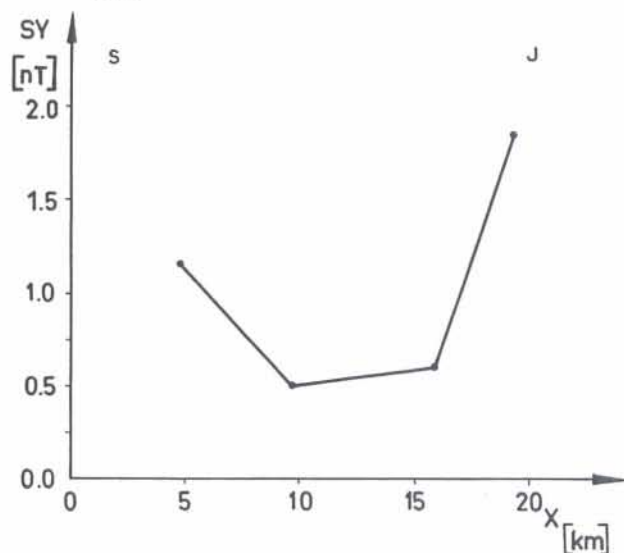
- Bremaecker, De J.-C. (1985): Geophysics: The Earth's Interior. Willey & Sons, 342 str. New York.
- Fedynskij, V. V. (1967): Razvedočnaja geofizika. Nedra, 672 str. Moskva.
- Gregl, T. (1997): Analiza kvalitete geomagnetskih istraživanja s obzirom na utjecaj dnevnih promjena i bliskih magnetskih materijala. Disertacija, 147 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Gregl, T. (1998,a): Utjecaj elektromagnetskog polja dalekovoda na kvalitetu mjerenja jakosti magnetskog polja Zemlje. 3. Međunarodno znanstveno stručno savjetovanje Energetika i procesna postrojenja. 172–177 (692–697) str. Dubrovnik.
- Gregl, T. (1998, b): Utjecaj nekih čimbenika na kvalitetu geomagnetskih mjerenja. *Rud.-geol.-naft.-zb. Vol. 10*, 25–38 str. Zagreb.
- Gregl, T. & Brzica G. (1999): Usporedba mjerenja dnevne promjene s dva jednaka modela magnetometra. *Rud.-geol.-naft.-zb. 11*, 27–31 str. Zagreb.
- Janovskij, B. M. (1953): Zemnoj magnetizm. Gosudarstvennoe izdatelstvo tehničko-teoričeskoj literatury, 591 str. Moskva.
- Kasumović, M. (1971): Opća i primijenjena geofizika s osnovama sferne astronomije, I. dio Opća geofizika. 148 str. Sveučilište, Zagreb.
- Klaić, B. (1978): Rječnik stranih riječi. NZMH, 1456 str. Zagreb.
- Mokrović, J. (1948): K problemu geomagnetizma u FNRI. *Geodetski list, God. II, br. 7 i 8*, 177–186 str. Zagreb.
- Mokrović, J. (1978): Magnetizam zemaljski. Pomorska enciklopedija, Sv. 4, 455–456 str. Zagreb.
- Podlesnik, V. & Mardešić, P. (1978): Magnetizam. Pomorska enciklopedija, sv. 4, str. 452–454 Zagreb.
- Rastog, R. G. (1989): The Equatorial Electrojet: Magnetic and Ionospheric Effects, 461–525 str. u Jacobs J. A. (editor): Geomagnetism. Academic Press, Volume 3, 550 str. London.
- Reford, M. S. & Sumner, J. (1964): Review article – Aeromagnetism. *Geophysics, Vol. 29, No 4*, 482–516 str. Tulsa.



Sl. 12-1. Razlika polinoma 10-og stupnja za mjerenje na stajalištu i bazi, za profil sjever–jug (os X=broj podataka)
 Fig. 12-1. The difference of 10th degree polinoma obtained from measurements on the base and standpoints for north-south profile (X-axis = number of data)



Sl. 12-2. Razlika polinoma 10-og stupnja za mjerenje na stajalištu i bazi, za profil istok–zapad (os X=broj podataka)
 Fig. 12-2. The difference of 10th degree polinoma obtained from measurements on the base and standpoints for east-west profile (X-axis = number of data)



Riddihough, R. P. (1971): Diurnal Corrections to Magnetic Surveys – An Assessment of Errors. *Geophysical Prospecting*, Vol. 19, 551–567 str. Haag.

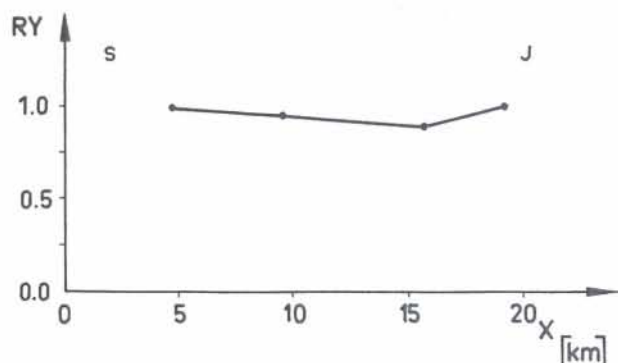
Skoko, D. (1963/64): O magnetskom polju Zemlje. *Matematičko-fizički list*, God. XIV, br. 3, 107–111 str. Zagreb.

Skoko, D. (1992): O zemljinom magnetskom polju. *Pomorski zbornik*, knj. 30, 693–728 str. Rijeka.

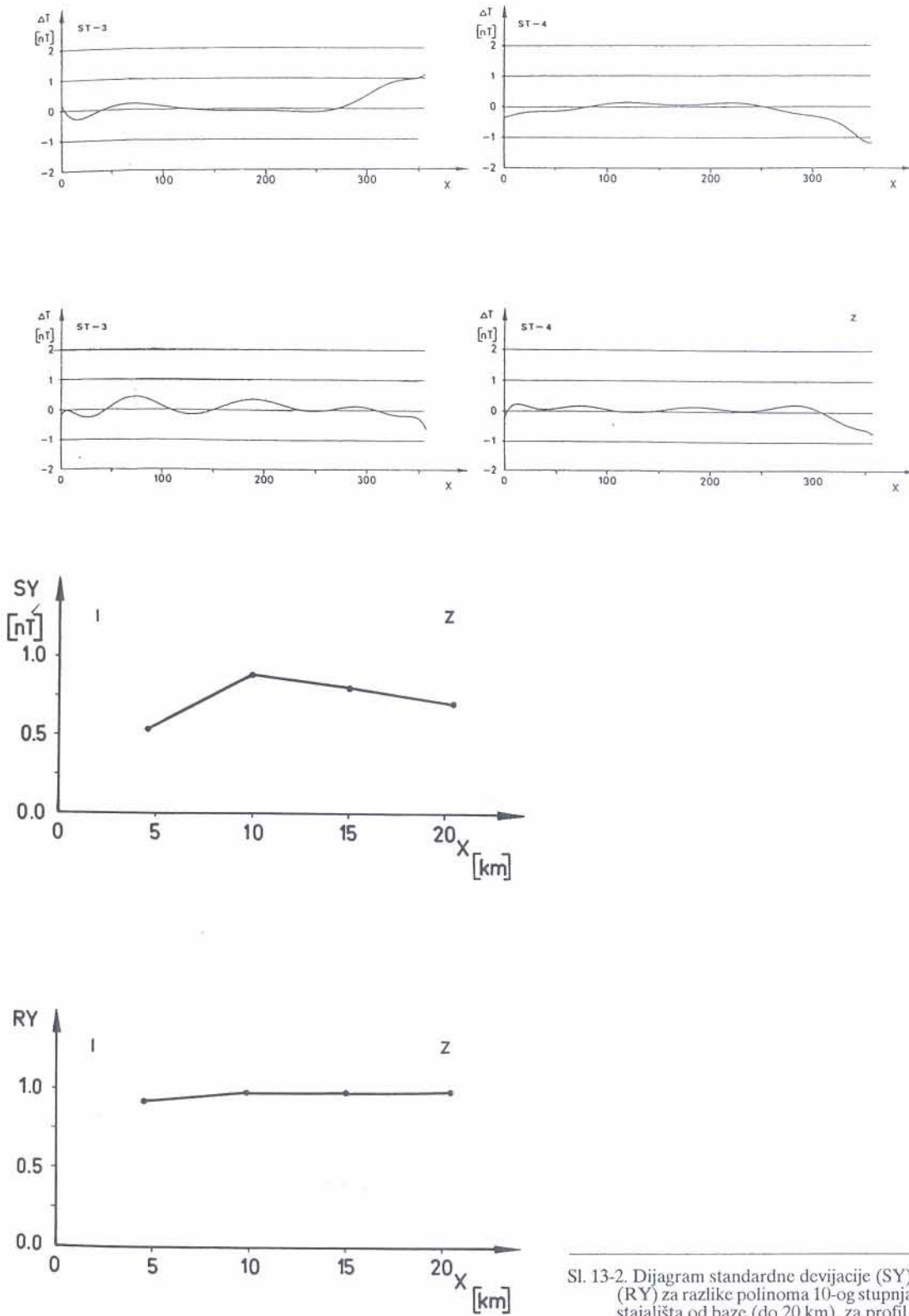
Škreb, S. (1912): Elementi zemaljskog magnetizma. *Nastavni vjesnik*, knj. XX, sv. 6, 436–442 str. Zagreb.

Whitham, K. & Niblett, E. R. (1961): The Diurnal Problem in Aeromagnetic Surveying in Canada. *Geophysics*, Vol XXI, No 2, 211–228 str. Tulsa.

Zagorac, Ž. (1948): Istraživanje ruda iz aviona. *Rudarstvo*, br. 1, 14–17 str. Beograd.



Sl. 13-1. Dijagram standardne devijacije (SY) i koeficijenta korelacije (RY) za razlike polinoma 10-og stupnja s obzirom na udaljenost stajališta od baze (do 20 km), za profil sjever jug
 Fig. 13-1. The diagram of standard deviation (SY) and coefficients of correlations (RY) calculated for differences in 10th degree polinoma according to the distances from standpoint to the base (up to 20 km) for north-south profile



Sl. 13-2. Dijagram standardne devijacije (SY) i koeficijenta korelacije (RY) za razlike polinoma 10-og stupnja s obzirom na udaljenost stajališta od baze (do 20 km), za profil istok – zapad

Fig. 13-2. The diagram of standard deviation (SY) and coefficients or correlations (RY) calculated for differences in 10th degree polinoma according to the distances from standpoint to the base (up to 20 km) for east-west profile

Daily variation in Earth's magnetic Field

T. Gregl

From the values of standard deviation (S_Y) and coefficients of correlation (R_Y) (Fig. 13) it can be concluded that partial differences in calculated polinoma (Figs. 11 and 12) are not of great influence on results. According to the shape of curves (Fig. 13) it can be concluded

that on distances up to 20 km there is no important difference in daily variation on the base and on the standpoints. According to that fact for corection of daily variation can be used value which is obtained by measuring on the base.