

UDK 550.38:528.41(497.5):631.445.6:543.2:528.91:550.383.3  
Pregledni znanstveni članak

# Određivanje geomagnetskih elemenata na odabranim lokacijama sa zemljom crvenicom

Danijel ŠUGAR<sup>1</sup>, Enio JUNGWIRTH<sup>2</sup>, Milan REZO<sup>3</sup> – Zagreb

*SAŽETAK. Prikazani su rezultati istraživanja utjecaja zemlje crvenice i pripovršine nepoznata sastava i prostiranja na određivanje geomagnetskih elemenata. Terenska su mjerenja obavljena na četiri lokacije Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja prekrivene zemljom crvenicom na području južne i zapadne Istre. Osim točaka s niskim gradijentima, opažanje D, I, F provedeno je i na obližnjim točkama s visokim gradijentima totalnog intenziteta. Na razmatranim lokacijama pronađene su maksimalne razlike D od 8'56", razlike I od 7'02" i razlike F od 67,2 nT, i to na udaljenostima od 40-ak do 330-ak metara. Opažanja D, I na različitim visinama DIM potvrdila su ispravnost kriterija maksimalnih gradijenata od 3 nT/m pri uspostavi i izmjeri geomagnetskih točaka. Magnetska svojstva uzoraka crvenice sa svih razmatranih točaka utvrđena su opažanjem polja na geomagnetskoj sekularnoj točki POKUpsko tijekom mirnih uvjeta. Provedena je kemijska analiza uzoraka crvenice s lokacije KRNIca za koje je utvrđena najveća razlika magnetskog utjecaja.*

*Ključne riječi: geomagnetski elementi, gradijenti totalnog intenziteta, zemlja crvenica, kemijska analiza, geomagnetska mreža za kartiranje polja.*

## 1. Uvod

Tijekom terenskih aktivnosti u sklopu projekta "Obnova geomagnetske informacije" za potrebe Instituta za istraživanje i razvoj obrambenih sustava Ministarstva obrane Republike Hrvatske (IROS-MORH) te projekta "Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – za potrebe službene kartografije", naručenog od Državne geodetske uprave Republike Hrvatske (DGU RH), uspostavljene su točke i obavljena je geomagnetska izmjera Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja (HGMKP). Ljeti 2008. godine uspostavljene su točke sektora jug koji pokriva

---

<sup>1</sup>mr. sc. Danijel Šugar, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: dsugar@geof.hr,

<sup>2</sup>dr. sc. Enio Jungwirth, MORH, Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava, Ilica 256b, HR-10000 Zagreb, e-mail: enio.jungwirth@morh.hr,

<sup>3</sup>dr. sc. Milan Rezo, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: mrezo@geof.hr.

područje cijele Dalmacije, dok je 2009. godine uspostava točaka i njihova geomagnetska izmjera nastavljena u sektoru zapad, koji uključuje područje Like, Gorskoga kotara, sjevernog Jadrana i Istre (Brkić i dr. 2009a, Brkić i dr. 2009b). Primjenom metoda gradiometrije (Brkić i dr. 2005, Brkić i dr. 2010) na nekoliko projektiranih lokacija određene su velike vrijednosti gradijenata totalnog intenziteta geomagnetskog polja koji su dovedeni u vezu sa zemljom crvenicom. S obzirom na prihvaćene maksimalne gradijente totalnog intenziteta od 3 nT/m brojne prethodno projektirane lokacije morale su biti napuštene, a točke premještene na lokacije s prihvatljivim gradijentima. U sklopu terenskih aktivnosti provedenih tijekom ljeta 2009. godine na području južne i zapadne Istre, osim uspostavljenih i opažanih HGMPK točaka (KAMEnjak, KRNIca, BALE i ZBANdaj), određivanja geomagnetskih elemenata (deklinacija  $D$ , inklinacija  $I$ , totalni intenzitet  $F$ ) provedena su i na obližnjim točkama s visokim gradijentima totalnog intenziteta. Svrha je takvih dodatnih opažanja bilo ispitivanje i utvrđivanje promjenjivosti geomagnetskih elemenata na odabranim lokacijama sa zemljom crvenicom. Usporedno s terenskim opažanjima, na svim razmatranim lokacijama prikupljeni su i uzorci tla (zemlje crvenice) čija su magnetska svojstva naknadno ispitana na lokaciji s provjereno niskim gradijentima (sekularna točka POKUpsko) u uvjetima vrlo mirnoga geomagnetskog polja. Pregledom dostupne literature nisu pronađeni radovi u kojima je ispitivan utjecaj zemlje crvenice na elemente geomagnetskog polja, iako se u (Šumanovac 2007) navodi da “zemlja crvenica pokazuje blago povećanje magnetičnosti u odnosu na karbonatne stijene”. Tako se geomagnetskim mjerenjima mogu otkriti rasjedne zone u kršu (ibid), a ležišta nekih građevinskih materijala zbog njihove magnetičnosti mogu se istraživati geomagnetskim metodom (Zagorac i dr. 1990).

## 2. O crvenici i boksitu

Naše kopneno zaleđe s priobaljem i otocima dio je jedinstvene cjeline Sredozemnoga područja koje, osim specifičnih klimatskih prilika, odlikuju i osebujni krški fenomeni, te jedino tlo toga područja među pukom i u znanstvenoj literaturi poznato kao “*terra rosa*”, zemlja crvenica ili zemlja crljenica (tal. “*terra rossa*; engl. “*red soil*”), ali i boksitna ležišta različitih dimenzija, starosti i geološkog položaja.

Prema staroj klasifikaciji (Fallou 1862), s geološkog stajališta crvenica je tip tla nastalog na istome mjestu (eluvijalni-tip), kao produkt trošenja matične stijene (karbonata, pretežito vapnenca starijeg od tercijara). Po morfološkim osobinama (endomorfološkim) crvenica je tipsko ime dobila po svojoj crvenoj boji, a kao razred željezastog tla dolazi u grupu tala na kojima uspijeva vazdazelena vegetacija mediteranskoga tipa. Također, sukladno morfološko-geografskom principu, crvenica pripada zonalnim poluaridnim tlima (potpuno razvijenim, tipskim) u skladu s geografskim, odnosno klimatskim prilikama podneblja. Naši proslavljeni mineralozi M. Kišpatić (1851–1918) i F. Tućan (1878–1954) zapazili su veliku sličnost između boksita, crvenice i netopivog reziduumu vapnenaca i dolomita, te su svojim analizama nastojali dokazati njihovu genetsku povezanost. Tućan (1912) je došao do zaključka da je zemlja crvenica (radije ju je nazivao “*terra rossa*”) našega krškog područja netopivi ostatak vapnenaca i dolomita, te je prema tome autogenog podrijetla, pa je po svojim svojstvima identična boksitu.



Slika 1. Sloj zemlje crvenice u blizini Rovinja.

Zemlja crvenica je pedološki sloj različite debljine, najčešće ovisan o obliku i stupnju okršavanja podloge, a kreće se najčešće od nekoliko milimetara ili centimetara do metra ili, iznimno, i više metara (npr. Istra). Najznačajnije su njezine komponente silicij, aluminij, željezo i alkaliji (osobito kalij). U najvišem dijelu sloja crvenice silicij ( $\text{SiO}_2$ ) je vrlo zastupljen i može ga biti više od 50%, a njegov sadržaj pada s dubinom za desetak posto. Sadržaj aluminija ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) je razmjerno visok (3–7%) i povećava se s dubinom. Crvenice ne obiluju željezom ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), premda se s obzirom na njezinu boju očekuje suprotno. Željeza ima 2–3 puta manje nego aluminija, a njegov se sadržaj povećava s dubinom (tablica 1).

Tablica 1. *Kemijski sastav i dubina sloja crvenice po lokalitetima (Gračanin 1951).*

Lokalitet	Dubina [cm]	Sadržaj u %								
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	CaO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2$
Dugi otok	0,00–30,00	58,69	15,69	6,51	0,80	0,50			0,17	0,99
otok Korčula	90,00–120,00	45,27	26,19	9,03	0,50	1,16			0,23	0,69
Grobničko p.		43,61	27,80	11,75	trag	1,64				

Boksit je “fosilno” tlo, odnosno očvrnuti i okamenjeni (litificirani) oblik “fosilne crvenice”, proizvod nastao kemijskim trošenjem karbonatnih stijena, ponajprije vapnenaca mezozojske starosti (kreda i dio jure). Taj je proces prisutan i danas, pa zemlja crvenica, što leži rasuta po našim okršnim vapnenačkim područjima (u širem smislu), nije ništa drugo nego boksitni materijal. Atmosferilije (voda s ugljičnom kiselinom) otapaju karbonatne stijene (vapnenice i dolomite), u kojima je prisutno tek do 0,5% drugih mineralnih tvari, ove će prijeći u kalcijev  $[Ca(HCO_3)_2]$  ili magnezijev  $[Mg(HCO_3)_2]$  kiseli karbonat, koji će biti ispran vodom, a ostatak će samo neotopljene mineralne tvari, odnosno tlo koje će se deponirati u nižim dijelovima okršnog terena. Tlo nazvano zemlja crvenica tipski je koloidni gel, koji je adsorbirao neku količinu željeznih oksida i hidroksida, te izvjesnu količinu silicijeve kiseline i vode. Među tim koloidnim tvarima mogu se pronaći sićušni kristali kremenca, cirkona, rutila, turmalina itd. Ona ima i posebno svojstvo da lako prima veću količinu vode i teško je otpušta. Boksiti i zemlja crvenica u našim su krškim krajevima tipski geli, u kojima kao glavni sastojak prevladava *sporogelit* (bijeje boje), aluminijev hidroksid  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ . Taj je hidroksid tijekom razvoja primio u sebe još koloidnu silicijevu kiselinu  $SiO_2 \cdot xH_2O$ , koloidni željezni hidroksid  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ , koloidni željezni oksid  $Fe_2O_3$ , vodu  $H_2O$  i još neke tvari (naši boksiti i zemlja crvenica imaju stalno apsorbirani litij i kalij). U onim sporogelitima u kojima prevladava koloidni željezni oksid  $Fe_2O_3$ , dolazi mjestimice do prijelaza sporogelita u tzv. hematogelit (crvene boje), u kojem je željezni oksid glavna tvar. Porastom koloidnoga željeznog hidroksida u sporogelitu dolazi do prijelaza u limonit, koji se pojavljuje s crvenicom i boksitom u obliku kongrecija. Produkti trošenja boksit ili “terra rosa” nazivaju se često geološkim termometrom, jer odražavaju prilike u kojima su nastali. Crvena boja potječe od željeznih hidroksida siromašnih vodom, boju daju željezni oksidi bez ili s vrlo malo vode, nastali u uvjetima tropsko-suptropske klime. U krajevima umjerene klime razvijaju se trošenjem željezni oksidi s mnogo vode i žute su boje.

Tablica 2. *Kemijski sastav i tipovi ležišta zemlje crvenice po lokalitetima u Istri (Marković 2002).*

Lokalitet (Istra)	Starost ( $J_3$ ; $K_2/Pg_1$ ) (tip ležišta)	Sadržaj [%]				
		$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	
Funtana (Vrsar)	malm (“otvoreni”)	16,52	47,00	20,50	2,36	
Gradina	malm (“slijepo”)	16,47	43,80	24,00	2,58	
Kloštar	malm (“slijepo”)	30,80	39,46	15,02	2,15	
Mondolaco (Rovinj)	malm (“otvoreni”)	16,78	46,67	20,20	2,40	
Umag–Pazin–Duga Luka	kreda (“slijepo”)	crveni	2,57	54,55	27,83	2,85
		žuti	1,76	60,36	20,92	3,11

Istra je najveći poluotok Jadranskog mora nejednako razvijene obalne crte (zapadni je morfološki razvijeniji i plići). Zapadna Istra poznata je i pod nazivom “Crvena Istra”, što je u skladu s pojavom glinovitog tla bogatog željeznim oksidi-

ma koji joj daju specifičnu crvenu boju različitih nijansi. Osim zemlje crvenice ondje su utvrđena i manja ležišta boksita, rjeđe ležišta većih dimenzija. Posebice valja naglasiti postojanje piritnih boksita nastalih u posebnim redukcijskim sredinama (tada su obično zelenkaste do sivkaste boje) i piritnih boksita s hematitom. Njegova je pojava s obzirom na lokalni geomagnetizam posebno važna, jer utječe na intenzitet polja oko takvih ležišta (Funtana, Rovinj).

Boksiti se u Istri pojavljuju u dva stratigrafska horizonta (Marković 2002), i to:

- a) unutar malmskih naslaga (gornja jura) sjeverno i južno od Limskog kanala,
- b) kredno-paleogenski boksiti u većem dijelu Istre, protezanje istočno od Uma-ga do Oprtlja i dalje prema Pazinu i Labinu (pojas dužine 60-ak km, širine 2–2,5 km).

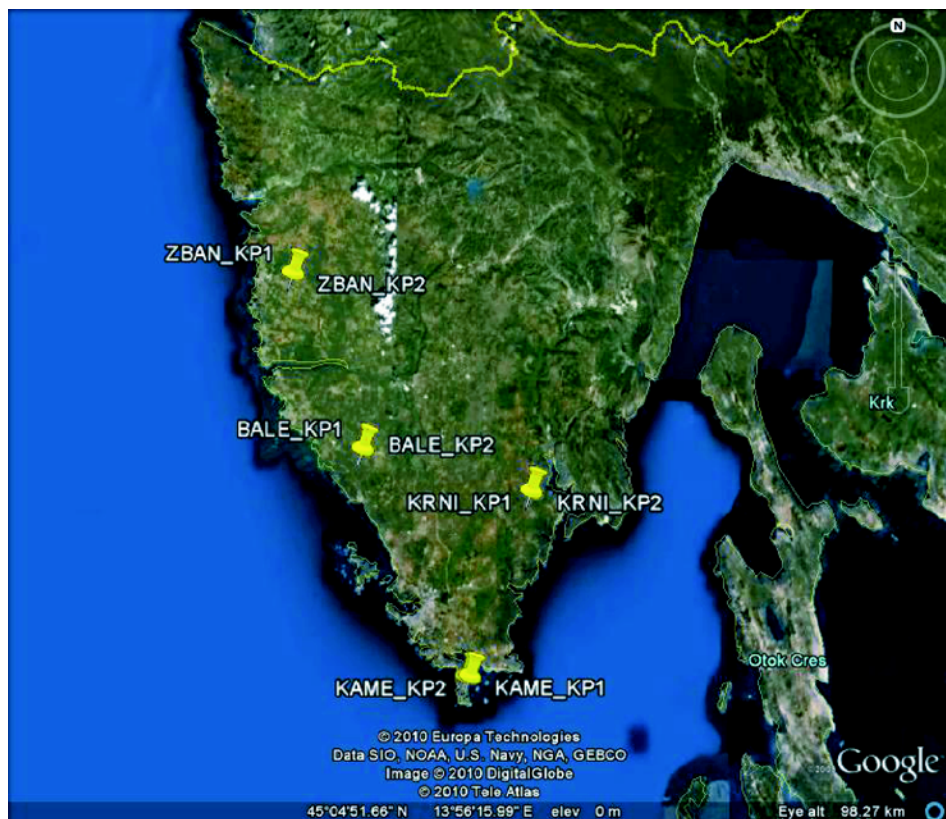
Također postoje i crvene gline (ciglarske, keramičke, cementna industrija) u zapadnoj Istri (oko Buja, istočno od Rovinja i oko Pule) koje ispunjavaju paleoudub-ljenja okršene podloge.

### 3. Uspostava i izmjera geomagnetskih točaka

Iskustva stečena tijekom uspostave HGMKP točaka na području Dalmacije kao i utvrđeni visoki gradijenti totalnog intenziteta za koje se pretpostavilo da imaju veze sa zemljom crvenicom dali su povoda daljnjim istraživanjima koja su uslijedila na području Istre. Tako su na projektiranim makrolokacijama terenskom evaluacijom kriterija (Newitt i dr. 1996, NN 2009) utvrđene točke s niskim gradijen-tima na kojima je provedena uspostava i izmjera geomagnetskih točaka (KP1). U potrazi za visokim gradijentima totalnog intenziteta ispitano je područje u okolici prethodno uspostavljenih geomagnetskih točaka. Na točkama s najvećim gradijen-tima pristupilo se uspostavi geomagnetske točke, a poslije je na tim točkama pro-vedena i geomagnetska izmjera (KP2). Uobičajeno, točke s visokim gradijentima su određene na takvim udaljenostima od HGMKP točaka tako da se za orijentaci-ju može koristiti ista geomagnetska orijentacijska točka (GOT). Ta je orijentacij-ska točka određena po koordinatama i izračunan je elipsoidni azimut s geoma-gnetskih točaka KP1 i KP2. Odabrane lokacije na kojima su provedena terenska mjerenja prikazane su na slici 2. Bilo je planirano da se terenska mjerenja obave i na području Savudrije, no od toga se odustalo zbog velikog šuma detektiranog sta-tističkom obradom podataka totalnog intenziteta geomagnetskog polja.

Položajne udaljenosti između točaka (KP1 – KP2) na pojedinim lokacijama iznose kako slijedi: KAMEnjak (331,66 m), KRNIca (52,97 m), BALE (70,49), ZBANdaj (36,35 m).

Uspostava svake razmatrane geomagnetske točke uključivala je nekoliko sljedećih koraka. Najprije su tijekom rekognosciranja terena vizualno procjenjivani kriteriji kojima geomagnetske točke trebaju udovoljiti (Newitt i dr. 1996). Zatim se pristu-pilo ispitivanju gradijenata totalnog intenziteta primjenom tzv. grube metode križa. Ako su pronađeni niski gradijenti ( $< 3$  nT/m), pristupilo se sustavnom određivanju sljedećih gradijenata: vertikalni gradijenti, gradijenti okolice točke (Quick Area), gradijenti unutarnje mreže (Inner Grid) te na kraju gradijenti odre-đeni tzv. brzom metodom križa (Quick Cross) (Brkić i dr. 2010). Svrha je proved-



Slika 2. Položaj razmatranih lokacija s opažanim točkama (izvor Google Earth).

be metoda gradiometrije utvrđivanje postojanja niskih gradijenata, tj. odsutnosti lokalnih anomalija magnetskog polja. Stanje geomagnetskog polja utvrđivano je puštanjem GEMSys GSM-19G protonsko-precesijskog magnetometra (PPM) u rad na 20-ak minuta te naknadnom statističkom obradom prikupljenih opažanja.

Deklinacija ( $D$ ) i inklinacija ( $I$ ) opažane su nemagnetičnim teodolitom Zeiss THEO 010B sa sondom i elektroničkom jedinicom Bartington Mag 010 (Deklinacijsko-Inklinacijski Magnetometar – DIM) na geomagnetskim točkama (KP1 i KP2), dok je totalni intenzitet ( $F$ ) istodobno opažan na pomoćnoj točki (POM). Na točkama KAME\_KP1 i KAME\_KP2 opažanja deklinacije i inklinacije provedena su na dvije različite (ekstremne) visine instrumenata, koje su omogućavale pouzdano centriranje i horizontaliranje te pouzdano prikupljanje očitavanja. Iz vertikalnih gradijenata totalnog intenziteta iznad geomagnetske točke interpolirane su vrijednosti koje odgovaraju visini DIM-a. Koordinate geomagnetskih točaka, ali i geomagnetskih orijentacijskih točaka, određene su primjenom VPPS servisa CROPOS-a koji omogućava položajnu točnost od 2 cm, a visinsku točnost od 4 cm (URL 1).

Za redukciju opažanja korišteni su podaci opservatorija Fuerstenfeldbruck (FUR) u Njemačkoj. Srednjaci svih geomagnetskih elemenata opservatorija FUR izraču-

nani su za razdoblje od travnja do listopada 2009. godine, čime su dobivene približne vrijednosti centrirane na epohu 2009,5. Iako nije riječ o pravim godišnjim srednjacima izračunanim iz svih opažanja prikupljenih tijekom cijele godine, za ovo istraživanje to nije relevantno. Svrha je redukcije ponajprije eliminacija utjecaja dnevne varijacije sukladno primijenjenom modelu jednostavne redukcije (Newitt i dr. 1996), ali i postizanje usporedivosti rezultata dobivenih na pojedinim točkama.

### 3.1. Lokacija KAMEnjak

Na poluotoku Kamenjaku na krajnjem jugu Istre opažanja geomagnetskih elemenata obavljena su na dvije točke (slika 2): KAME\_KP1 i KAME\_KP2. Na prvoj su točki maksimalni iznosi vertikalnih gradijenata totalnog intenziteta ( $dF/dZ$ )  $< 3$  nT/m, dok su na drugoj točki maksimalni gradijenti bili  $< 5$  nT/m. Na obje lokacije su opažanja  $D$  i  $I$  obavljena na dvije različite visine DIM-a. Svrha je takvog postupka ispitivanje postojanja razlika opažanja na različitim visinama instrumenata. Razlike (gornja – donja) reduciranih vrijednosti  $D$  i  $I$  opažane pri različitim visinama instrumenata na obje točke dane su u tablici 3.

Tablica 3. Razlike reduciranih vrijednosti  $D$  i  $I$  na KAME\_KP1 i KAME\_KP2 pri različitim visinama DIM-a.

Točka	Visina instr. [m]	$dF/dZ$ [nT/m]	Rasap $D$ [°]	$\Delta D$ [°]	Rasap $I$ [°]	$\Delta I$ [°]
KAME_KP1	1,71	1,43	19	1	7	-4
	1,44	1,23	16		5	
KAME_KP2	1,71	-1,95	8	-5	3	8
	1,37	-2,32	24		8	

Iz tablice 3 je jasno uočljivo da na točki KAME\_KP1 nema znatnijih razlika u dobivenim rezultatima  $D$  i  $I$  na dvije različite visine instrumenta. Razlika u deklinaciji je samo 1°, dok je razlika u inklinaciji 4°, što se mogu smatrati zanemarivim vrijednostima s obzirom na ocjene točnosti dane u obliku rasapa (engl. *scatter*), definiranoga kao veći od modula razlika maksimuma odnosno minimuma od sredine (URL 2). Usporedbe radi, prosječne vrijednosti rasapa geomagnetskih elemenata na točkama Hrvatske geomagnetske mreže sekularnih točaka (HGSM) za 2004. godinu iznose kako slijedi: 0,5' po  $D$ , 0,2' po  $I$  te 2,7 nT po  $F$  (Brkić i dr. 2008). Na svim su razmatranim lokacijama određeni i vertikalni gradijenti totalnog intenziteta ( $dF/dZ$ ), a u tablici 4 prikazane su interpolirane vrijednosti na visinu DIM-a. Vertikalni gradijenti su niski i vrlo ujednačeni iznad točke KAME\_KP1, dok su iznad točke KAME\_KP2 oni povećani, a veće su i njihove međusobne razlike. Veće razlike vertikalnih gradijenata iznad točke KAME\_KP2 dovede se u vezu s većim razlikama  $D$  i  $I$ .

Za potrebe analize rezultata razmatrane su reducirane vrijednosti  $D$  i  $I$ , koje su opažane na visini instrumenta 1,71 m iznad točke (fizičke površine Zemlje), i re-

ducirane vrijednosti  $F$ , opažane na prosječnoj visini od 1,62 m. Razlike reduciranih geomagnetskih elemenata na obje točke (opažano na jednakim visinama DIM-a) prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 4. Razlike geomagnetskih elemenata između točaka KAME\_KP1 i KAME\_KP2.

Točke	Visina instr. [m]	$dF/dZ$ [nT/m]	$\Delta D$ [DMS]	$\Delta I$ [DMS]	$\Delta F$ [nT]
KAME_KP1 – KAME_KP2	1,71 1,71	1,43 -1,95	-5' 15"	-25"	5,1

Sagledavajući razlike geomagnetskih elemenata na obje točke i uzimajući u obzir njihovu položajnu udaljenost od 331,66 m dolazi se do položajnih gradijenata za lokaciju KAME od 0,95"/m po  $D$ , 0,08"/m po  $I$  i 0,02 nT/m po  $F$ . Na osnovi vrijednosti gradijenata i vizualne provjere na moguće izvore anomalija može se utvrditi da ni jedna ni druga točka nisu magnetski kontaminirane. Ta činjenica potvrđuje da su pronađene razlike, ponajprije  $\Delta D$ , uzrokovane doprinosom čiji je izvor u nehomogenosti kore. Naime, iako postoji homogenost polja na lokalnoj razini, što je i utvrđeno metodama gradiometrije, homogenost polja ne postoji na skali od nekoliko stotina metara, što uzrokuje znatnije razlike vrijednosti elemenata.

### 3.2. Lokacije KRNica, BALE i ZBANdaj

Na ostalim lokacijama postupilo se slično kao i na lokaciji KAMEnjak, s tom razlikom da su udaljenosti između točaka s niskim i visokim gradijentima puno manje (maksimalno 70,49 m), a između njih postoji i optičko dogledanje. Nakon pronalaska točke s prihvatljivim gradijentima, pristupilo se pronalasku točke s visokim gradijentima. Grubom metodom gradiometrije ispitano je područje u radijusu od stotinjak metara, a detaljnije određivanje gradijenata je nastavljeno na točki s najvišim gradijentima. Na obje takve točke (KP1 i KP2) na pojedinoj lokaciji postavljena je pomoćna točka (POM) kao stajalište PPM-a u onu kardinalnu točku s najnižim vertikalnim gradijentima. DIM se na svim točkama nastojalo postaviti na približno jednake visine kako bi se dobili usporedivi rezultati. Iz vertikalnih gradijenata totalnog intenziteta na točkama KP1 interpoliranih na visinu DIM-a, može se zaključiti da su njihove vrijednosti niske i kao takve zadovoljavaju kriterij  $dF/dZ < 3$  nT/m (Newitt i dr. 1996). Na svim razmatranim točkama vrijednost rasapa po  $D$  ne prelazi 22", po  $I$  4", a  $F$  1,7 nT, što umnogome udovoljava pogreškama od 1' po  $D$ , 0,5' po  $I$  te 5 nT po  $F$  na srednjim geomagnetskim širinama (ibid).

Vertikalni gradijenti interpolirani na visinu DIM-a na točkama KP2 pokazuju raspon od -36,69 nT/m do 12,27 nT/m. Njihovi su iznosi povezani s razlikama po  $D$  od -1' 28" do 8' 56", po  $I$  od -2' 16" do 7' 02" te po  $F$  od -67,2 nT do 41,0 nT. Treba istaknuti da su negativni predznaci vertikalnih gradijenata povezani s negativnim razlikama geomagnetskih elemenata između točaka KP1 i KP2 na pojedinim lokacijama.



Tablica 5. *Razlike reduciranih vrijednosti  $D$ ,  $I$ ,  $F$  na lokacijama KRNI, BALE i ZBAN.*

Točka	Visina DIM [m]	dF/dZ [nT/m]	Rasap $D$ ["]	$\Delta D$ [DMS]	Rasap $I$ ["]	$\Delta I$ [DMS]	Rasap $F$ [nT]	$\Delta F$ [nT]
KRNI_KP1	1,51	1,59	14	8'56"	4	7'02"	1,7	41,0
KRNI_KP2	1,57	12,27	11		3		1,2	
BALE_KP1	1,53	0,68	22	-1'28"	2	-2'16"	0,6	-67,2
BALE_KP2	1,59	-36,69	17		3		0,4	
ZBAN_KP1	1,56	-0,40	6	2'47"	2	-39"	0,5	36,5
ZBAN_KP2	1,59	13,16	16		3		0,4	

Sagledavajući razlike geomagnetskih elemenata ( $\Delta D$ ,  $\Delta I$ ,  $\Delta F$ ) na pojedinim točkama (KP1 i KP2) i njihove međusobne položajne udaljenosti ( $d$ ) dolazi se do vrijednosti položajnih gradijenata prikazanih u tablici 6. Takvi gradijenti vrijede samo za pojedinu lokaciju na koju se i odnose.

Tablica 6. *Položajni gradijenti geomagnetskih elemenata po lokacijama.*

Lokacija	$D/d$ ["/m]	$I/d$ ["/m]	$F/d$ [nT/m]
KRNI	10,1	8,0	0,8
BALE	1,2	1,9	1,0
ZBAN	4,6	1,1	1,0

## 4. Opažanje totalnog intenziteta s uzorcima crvenice

U sklopu izmjere geomagnetskih elemenata na lokacijama KAME, KRNI, BALE i ZBAN prikupljeni su pripovršinski uzorci tla (zemlje crvenice), i to uz same stabilizacije točaka KP1 i KP2 na kojima su obavljena opažanja. Iako se iz rezultata određivanja gradijenata na točkama HGMKP već 2008., ali i 2009. godine, pretpostavilo da crvenica posjeduje magnetska svojstva i kao takva ima vlastiti doprinos na opažanja, uzimanjem uzoraka te njihovim kasnijim ispitivanjem željelo se taj doprinos i kvantificirati. Upravo zbog toga je sastavljen plan ispitivanja uzoraka crvenice koji je uključivao postupke objašnjene u nastavku.

### 4.1. Metodologija opažanja totalnog intenziteta s uzorcima crvenice

Opažanje totalnog intenziteta (polja) s uzorcima crvenice obavljeno je na geomagnetskoj sekularnoj točki POKU<sub>psko</sub>, koja po svojim niskim gradijentima  $F$  i odsutnosti magnetskih smetnji i civilizacijskog šuma zadovoljava kriterije uspostave

geomagnetskih sekularnih točaka (Newitt i dr. 1996). U takvim je uvjetima moguće kvalitetno odrediti magnetski doprinos svakoga pojedinog uzorka, tim više što je tijekom ispitivanja 3. prosinca 2009. godine vrijednost  $K_p$  indeksa bila 0 (URL 3).

Cijeli postupak je uključivao opažanje  $F$  s uzorcima i bez uzoraka crvenice. Uzorci mase od 0,3 do 0,6 kg bili su pakirani u plastične vrećice. Svaki se uzorak stavljao na senzor PPM-a u trajanju od 20 sekundi. Nakon toga je uzorak skinut sa senzora i opažanje PPM-a je nastavljeno tijekom sljedećih 20 sekundi. Nakon proteka tog vremena uzorak se ponovno stavljao na senzor. Prilikom opažanja s uzorkom crvenice na senzoru opažač se udaljavao sjeverno od senzora na udaljenost od 5 m. Ondje je pričekao istek vremena od 20 sekundi, nakon čega se približio senzoru kako bi preuzeo uzorak i ponovno se vratio na udaljenost od 5 m od senzora. Cijeli je postupak s pojedinim uzorkom crvenice obavljen u 10 ponavljanja. Tim je postupkom ispitano svih prikupljenih 8 uzoraka s točaka: KRNI\_KP1, KRNI\_KP2, KAME\_KP1, KAME\_KP2, BALE\_KP1, BALE\_KP2, ZBAN\_KP1 i ZBAN\_KP2.

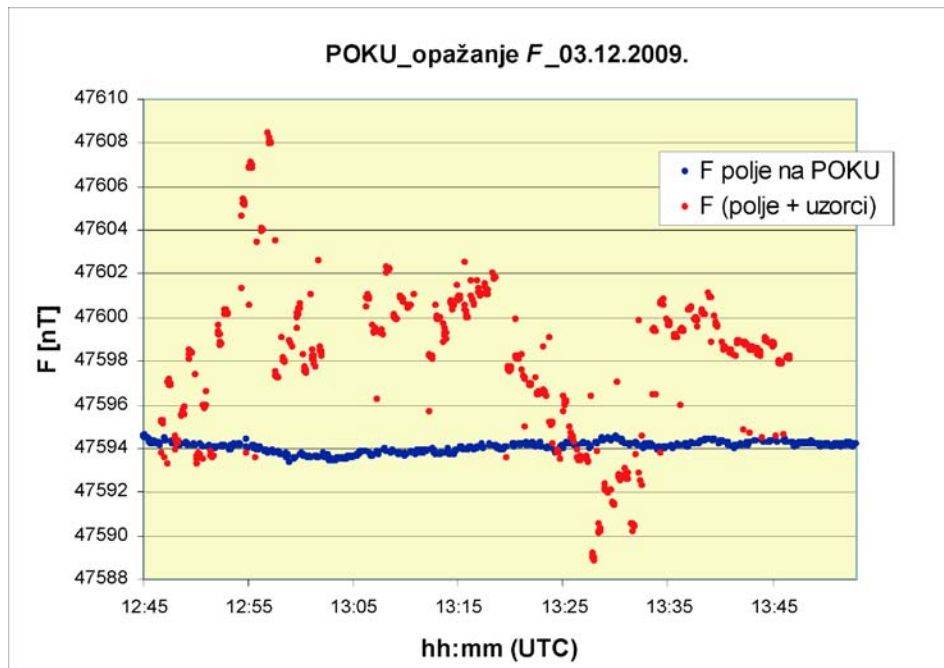
Udaljavanje opažača (s uzorkom ili bez uzorka) na udaljenost 5 m od senzora imalo je svrhu smanjivanja utjecaja vlastitog magnetskog polja uzorka crvenice na opažanje  $F$ , ali i minimiziranja mogućeg utjecaja opažača. Treba naglasiti da se pri tom ispitivanju kao i pri svim drugim postupcima opažanja geomagnetskog polja dužna pozornost posvećivala magnetskoj higijeni opažača.



Slika 3. a) opažanje  $F$  bez uzorka crvenice; b) opažanje  $F$  s uzorkom crvenice.

Osim vrijednosti  $K_p$  indeksa, mirnoću geomagnetskog polja tijekom opažanja zorno prikazuje srednja vrijednost totalnog intenziteta 47594,0 nT s rasapom od 0,7 nT u vremenskom razdoblju ispitivanja od 12:55 do 14:03 UTC. Spomenuto vrijedi samo za ona opažanja bez uzorka crvenice na senzoru. Na slici 4 dan je kontinuirani prikaz opažanja  $F$  prikupljen tijekom ispitivanja uzoraka crvenice.

Plavom su bojom označena opažanja kada na senzoru nije bilo uzoraka crvenice (mirno polje), crvenom bojom su označene vrijednosti prikupljene kada su uzorci bili na senzoru ili u njegovoj neposrednoj blizini (rezultanta vlasti-

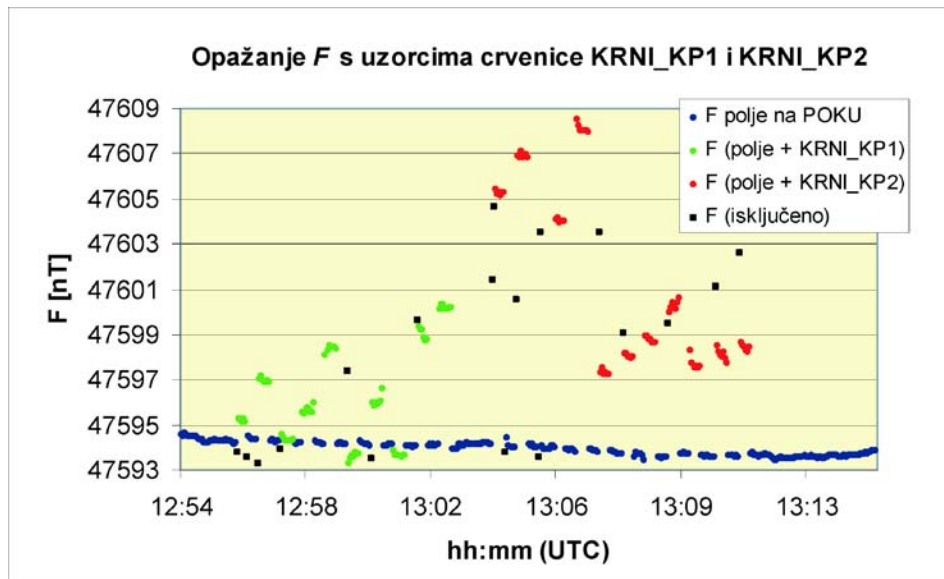


Slika 4. Opažanja  $F$  s uzorcima i bez uzoraka crvenice na POKU 03.12.2009.

toga magnetskog polja uzoraka i mirnog polja). Heterogenost podataka i broj od 8 različitih uzoraka rezultirali su rasponom svih opažanja od 19,6 nT, dok ekstremne vrijednosti odstupanja od sredine iznose  $-5,2$  nT, odnosno  $+14,4$  nT. Budući da uzorci evidentno imaju magnetska svojstva, prilikom njihova stavljanja i skidanja sa senzora došlo je do skoka u iznosu  $F$ . Uz odabranu maksimalnu frekvenciju pohranjivanja PPM uređaja od 3 sekunde i trajanja opažanja s uzorkom crvenice na senzoru od 20 sekundi, tijekom ispitivanja je prikupljeno 6 do 7 opažanja po pojedinom uzorku. Kada je početno i zadnje opažanje s pojedinim uzorkom na senzoru znatno odstupalo od preostalih opažanja, ona su isključena iz daljnjeg razmatranja. Nakon isključenja takvih opažanja, standardna odstupanja  $F$  s uzorcima crvenice na senzoru kreću se u rasponu od 0,0 nT do 0,3 nT, prosječno 0,1 nT. Iz opažanja  $F$  bez uzorka crvenice (mirno polje) prije i nakon stavljanja uzorka na senzor izračunana su standardna odstupanja, kojih se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0 nT do 0,1 nT, prosječno 0,1 nT, što govori o vrlo mirnom polju tijekom ispitivanja.

## 4.2. Uzorci crvenice s lokacije KRNI

Opažanja  $F$  tijekom ispitivanja uzoraka s lokacije KRNI prikazana su na slici 5. Najprije je u 10 ponavljanja ispitivan utjecaj uzorka KRNI\_KP1, nakon čega je provedeno ispitivanje, također u 10 ponavljanja uzorka točke s visokim vertikalnim gradijentima  $F$  (KRNI\_KP2).



Slika 5. Opažanja  $F$  s uzorcima crvenice KRNI\_KP1 i KRNI\_KP2.

Određivanje utjecaja svakoga pojedinog uzorka provedeno je na sljedeći način: izračunan je prosjek opažanja mirnog polja prije i nakon opažanja s nekim uzorkom crvenice, te je za sva takva opažanja mirnog polja izračunano standardno odstupanje čime je kontrolirana njegova mirnoća. Zatim su iz opažanja s uzorkom crvenice uklonjene one vrijednosti koje znatnije odstupaju od ostalih vrijednosti (crni kvadratići na slici 5), a riječ je o opažanjima koja se u ovom kontekstu smatraju opterećenima grubim pogreškama. Na osnovi opažanja koja nisu opterećena grubim pogreškama izračunana je srednja vrijednost polja. Utjecaj uzorka je izračunan tako da je od srednje vrijednosti opažanja s uzorkom na senzoru oduzeta srednja vrijednost opažanja mirnog polja.

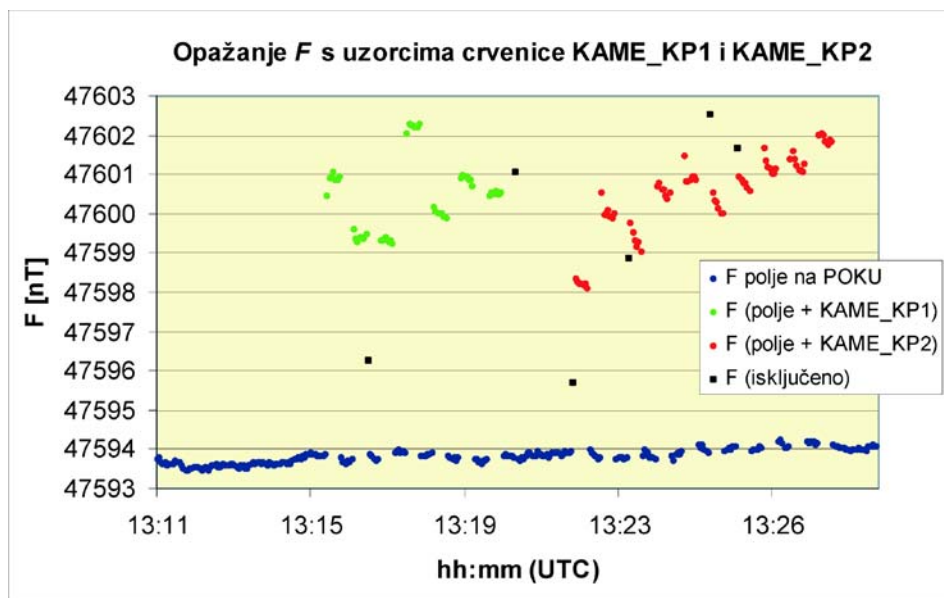
Opažanje  $F$  s uzorkom crvenice KRNI\_KP1 općenito je pokazalo manja magnetska svojstva od uzorka KRNI\_KP2. Naime, prosječna vrijednost utjecaja uzorka KRNI\_KP1 iznosi 2,1 nT sa standardnim odstupanjem 2,3 nT. Standardna odstupanja polja tijekom ponavljanja opažanja s uzorkom KRNI\_KP1 na senzoru kreću se u rasponu od 0,1 nT do 0,3 nT. Prosječna vrijednost utjecaja uzorka KRNI\_KP2 iznosi 7,7 nT sa standardnim odstupanjem 4,0 nT. Ponavljanja opažanja s istim uzorkom na senzoru imaju standardna odstupanja u rasponu od 0,1 nT do 0,3 nT, dok je standardno odstupanje polja bez uzorka na senzoru u rasponu od 0,0 nT do 0,1 nT. Iz toga je vidljivo da je tijekom opažanja geomagnetsko polje bilo vrlo mirno.

Općenito, raspon standardnih odstupanja mirnog polja manji je od raspona standardnih odstupanja polja s uzorkom na senzoru. Nadalje, na slici 5 je vidljivo da je nakon isključivanja opažanja  $F$  (opažanja označena crnim kvadratićima) koja znatnije odstupaju od prosjeka došlo do njihova grupiranja, a to vrijedi za oba uzorka. Iako je standardno odstupanje polja s uzorkom KRNI\_KP2 veće (4,0 nT)

od onoga s uzorkom KRNI\_KP1 (2,3 nT), njihova se pojava može objasniti na sljedeći način: uzorci vjerojatno nisu postavljeni na senzor uvijek pri istoj orijentaciji te nisu postavljeni u potpuno isti položaj na senzoru. Osim toga, uzorci rastresite crvenice nalazili su se u plastičnim vrećicama kojih se oblik prilikom postavljanja na senzor prilagođavao obliku senzora te je moguće da sadržaj nije bio potpuno statičan (vidi sliku 3b).

### 4.3. Uzorci crvenice s lokacije KAME

Na slici 6 jasno je uočljiva razlika između opažanja s uzorcima i bez uzoraka crvenice. Ispitivanje uzoraka KAME\_KP1 provedeno je u sedam (7) ponavljanja, za razliku od ispitivanja uzoraka KAME\_KP2 koje je provedeno u planiranih deset (10) ponavljanja. Nakon što su opažanja koja znatnije odstupaju od prosjeka isključena, izračunane su srednje vrijednosti utjecaja pojedinog uzorka, standardna odstupanja ponavljanja opažanja s pojedinim uzorkom kao i standardna odstupanja opažanja bez uzoraka.



Slika 6. Opažanja  $F$  s uzorcima crvenice KAME\_KP1 i KAME\_KP2.

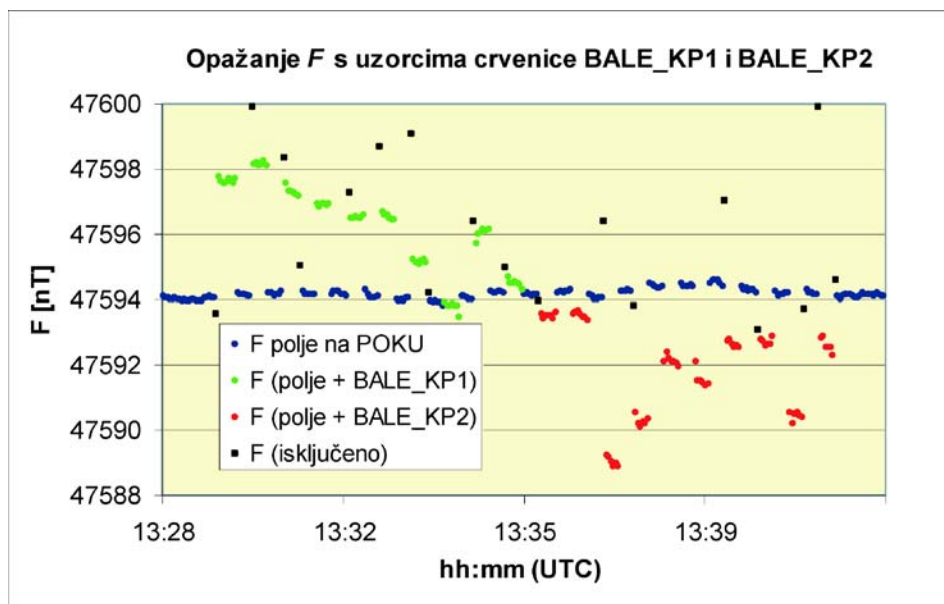
Srednja vrijednost utjecaja uzorka KAME\_KP1 iznosi 6,7 nT sa standardnim odstupanjem 1,0 nT. Standardna odstupanja pojedinih ponavljanja opažanja kreću se u rasponu 0,0 nT do 0,2 nT, a mirnoća polja je potvrđena standardnim odstupanjima opažanja bez uzorka na senzoru od 0,0 nT do 0,1 nT. Srednja vrijednost utjecaja uzorka KAME\_KP2 iznosi 6,5 nT sa standardnim odstupanjem 1,0 nT. Standardna odstupanja ponavljanja opažanja kreću se u rasponu 0,1 nT do 0,3 nT, a mirnoća polja je i ovdje potvrđena standardnim odstupanjima opažanja bez uzorka na senzoru od 0,0 nT do 0,1 nT.

Vrlo male međusobne razlike utjecaja uzoraka KAME\_KP1 i KAME\_KP2 mogu se dovesti u vezu s malim međusobnim razlikama vertikalnih gradijenata  $F$  svedenih na visinu instrumenta DIM (vidi tablicu 3). Da ipak postoje razlike magnetskih svojstava uzoraka, posebice onog s točke KAME\_KP2, vidljivo je iz opažanja na slici 6, gdje postoji malo, ali primjetno opadanje vrijednosti  $F$  tijekom opažanja s uzorkom. To je najjače naglašeno pri trećem ponavljanju ispitivanja utjecaja čija je standardna devijacija 0,3 nT, dok je standardna devijacija (mirnog) polja za isti interval vremena samo 0,1 nT.

#### 4.4. Uzorci crvenice s lokacije BALE

Na slici 7 prikazana su opažanja  $F$  s uzorcima crvenice s obje točke na lokaciji BALE. Iz prikaza je odmah uočljiv približno jednak utjecaj obaju uzoraka, ali suprotnog predznaka. Naime, utjecaj uzorka BALE\_KP1 iznosi +2,1 nT sa standardnim odstupanjem 1,4 nT, a utjecaj uzorka BALE\_KP2 iznosi -2,4 nT sa standardnim odstupanjem 1,5 nT. Ta činjenica govori o vjerojatnim suprotnim predznacima magnetizacije spomenutih uzoraka crvenice.

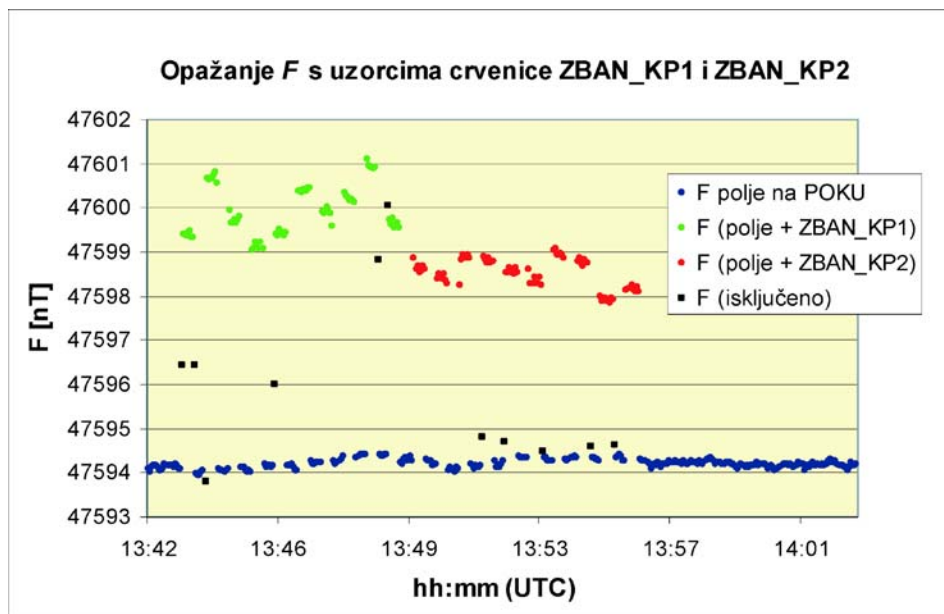
Zajedničko je obilježje ispitivanja obaju uzoraka veliki broj opažanja koja znatnije odstupaju od prosjeka njihova utjecaja pa su isključena iz daljnjeg razmatranja. Njihova je učestalost veća pri opažanjima s uzorkom BALE\_KP1, iako je rang odstupanja od prosjeka veći s uzorkom BALE\_KP2 i iznosi 7,3 nT. Približno konstantan utjecaj uzoraka iskazan je u rasponu standardnih odstupanja od 0,0 nT do 0,2 nT za uzorak BALE\_KP1, te u rasponu od 0,1 nT do 0,3 nT za uzorak BALE\_KP2. Mirnoća polja bez uzoraka crvenice na senzoru potvrđena je standardnim odstupanjima od 0,0 nT do 0,1 nT.



Slika 7. Opažanja  $F$  s uzorcima crvenice BALE\_KP1 i BALE\_KP2.

#### 4.5. Uzorci crvenice s lokacije ZBAN

Opažanja  $F$  s uzorcima crvenice ZBAN\_KP1 i ZBAN\_KP2 prikazana su na slici 8.



Slika 8. Opažanja  $F$  s uzorcima crvenice ZBAN\_KP1 i ZBAN\_KP2.

Mirnoća polja tijekom opažanja vidljiva je iz standardnih odstupanja koja se kreću od 0,0 nT do 0,1 nT. Srednja vrijednost utjecaja uzorka ZBAN\_KP1 iznosi 5,8 nT uz standardno odstupanje 0,6 nT, dok je srednja vrijednost utjecaja uzorka ZBAN\_KP2 4,3 nT uz standardno odstupanje 0,4 nT. Zanimljivost je opažanja s jednim i drugim uzorkom da ona pokazuju sličnu razinu konzistentnosti te da je utjecaj uzorka ZBAN\_KP2 manji od uzorka ZBAN\_KP1.

Vrijednosti opažanja koja su isključena iz razmatranja fluktuiraju između mirnog polja i srednje vrijednosti utjecaja pojedinog uzorka. Imajući u vidu navedena mala standardna odstupanja opažanja s oba uzorka, može se izvesti zaključak o postojanosti njihova utjecaja s bitno manje tzv. induktivnih efekata koji su se pojavili u opažanjima s uzorcima s drugih lokacija.

### 5. Kemijska analiza uzoraka crvenice

Iz opažanja totalnog intenziteta s uzorcima crvenice, najveća je razlika utjecaja zabilježena za uzorke s lokacije Krnica: KRNI\_KP1 i KRNI\_KP2. Zbog tog razloga, a sumnjajući na povećani udio željeznih oksida u sastavu zemlje crvenice, odlučeno je provesti kemijsku analizu tih uzoraka. Analiza je provedena u *Hrvatskom geološkom institutu* u Zagrebu, gdje su uzorci najprije homogenizirani i fino

samljeveni te osušeni na 105 °C. Tako pripremljeni uzorci razloženi su taljenjem s bezvodnim natrijevim karbonatom. Taj postupak odabran je zbog pretpostavke da je riječ o boksitima.

Tablica 7. *Rezultati kemijske analize uzoraka tla.*

Kemijski spojevi	KRNI-KP1 [%]	KRNI-KP2 [%]
SiO <sub>2</sub>	62,88	62,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,99	16,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,49	5,36
FeO	0,69	0,67
CaO	0,81	0,75
MgO	<0,01	<0,01
K <sub>2</sub> O	1,51	1,49
Na <sub>2</sub> O	0,73	0,68
Gubitak žarenjem 1100 °C	10,25	10,72

Kemijski spoj SiO<sub>2</sub> izdvojen je iz solno-kisele otopine nastale otapanjem taljevine, te žarenjem i isplinjavanjem s HF-om. U filtratu nastalom nakon izdvajanja SiO<sub>2</sub>, određeni su sadržaj ostalih elemenata. Kemijski elementi Ca, Mg, Na i K određeni su AAS-om, a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> titracijom s EDTA uz odogovarajuće indikatore. Kemijski spoj FeO rađen je iz posebne odvage titrimetrijskom metodom s dikromatom. Rezultati kemijske analize obaju uzoraka dani su u tablici 7, a izraženi su u postocima (%) masenih udjela.

Na osnovi rezultata analize može se zaključiti da su uzorci po kemijskom sastavu vrlo slični, te se mogu definirati kao zemlja crvenica. Sadržaj aluminija i željeza je prenizak da bi mogli biti okarakterizirani kao boksiti. Sastav je uzoraka usporidiv s podacima iz tablice 1. S obzirom na nizak i vrlo ujednačen udio željeznih oksida koji jesu uzrokom dokazanih magnetskih svojstava uzoraka ostaje i dalje nepoznat izvor utjecaja pripovršine na geomagnetska opažanja. Ta spoznaja otvara mogućnosti daljnjih istraživanja radi otkrivanja uzroka utvrđenih pojava.

## 6. Rasprava

Rezultati ispitivanja uzoraka crvenice s četiri lokacije, odnosno 8 točaka pokazuju njihova heterogena svojstva. Uzorci s lokacije KRNI pokazuju najveću apsolutnu razliku utjecaja od 5,6 nT i razliku standardnih odstupanja od 1,7 nT. Također, uzorak KRNI\_KP2 daje najveći prosječni utjecaj od +7,7 nT, ali i najveće standardno odstupanje opažanja s uzorkom. S druge strane, kemijska analiza obaju uzoraka s lokacije KRNI daje gotovo podjednake rezultate, što vodi zaključku da su razlike utjecaja uzoraka posljedica razlike u magnetskoj susceptibilnosti crve-



nice. Uzimajući u obzir vrijednosti iz tablice 5, najveća razlika u  $D$  i  $I$  na točkama KP1 i KP2 je upravo na lokaciji KRNI. Na lokaciji KAME mala razlika prosječnog utjecaja uzoraka od 0,2 nT u suglasju je s malom razlikom vertikalnih gradijenata (svedenih na visinu DIM) od 3,38 nT/m. Karakteristika je opažanja s uzorcima BALE\_KP1 i BALE\_KP2 promjena predznaka njihova utjecaja. U usporedbi s drugim lokacijama, razlike geomagnetskih elemenata između točaka BALE\_KP1 i BALE\_KP2 su negativnog predznaka, što zajedno s promjenom predznaka vertikalnih gradijenata (svedenih na visinu DIM) i njihovom najvećom međusobnom razlikom od 37,37 nT/m vodi zaključku o suprotnim predznacima magnetizacije pripovršine. Posebnost je utjecaja uzoraka crvenice s lokacije ZBAN da, suprotno očekivanju, uzorak ZBAN\_KP2 ima manji utjecaj od uzorka ZBAN\_KP1, ali i manje standardno odstupanje opažanja. Na osnovi prikazanih rezultata može se zaključiti da crvenica općenito ima određeni doprinos koji nije poznat zbog nepoznata geološkog sastava, strukture i prostiranja pojedine lokacije.

Sve do sada izneseno upućuje na nekoliko činjenica:

- 1) opažanje geomagnetskog polja s uzorcima crvenice dalo je nekonzistentne rezultate: ne prepoznaje se jasna veza između utjecaja uzorka i iznosa vertikalnih gradijenata,
- 2) nije utvrđena veza i proporcionalnost između razlika pojedinih geomagnetskih elemenata i razlike utjecaja uzoraka s KP1 i KP2 točaka. Tako se, primjerice, razlika utjecaja pojedinih uzoraka različito reflektira na razlike po elementima, na nekim lokacijama više na  $D$  i  $F$  (znatno manje na  $I$ ), a na drugima pretežito samo na  $D$ ,
- 3) na svim razmatranim lokacijama izražena je razlika u  $D$ , čime se i ovdje taj geomagnetski element karakterizira kao “najosjetljiviji”,
- 4) raznolikost utjecaja uzoraka crvenice i raznolikost razlika geomagnetskih elemenata upućuju na različit intenzitet, orijentaciju i prostorni raspored izvora magnetskog polja pripovršine.

Crvenica na razmatranim lokacijama nedvojbeno posjeduje magnetska svojstva o čemu treba voditi računa prilikom uspostave geomagnetskih točaka, izmjera na njima, a ponajprije prilikom korištenja podataka o geomagnetskim elementima. U praktičnom smislu to znači da bi za određivanje trenutačne vrijednosti geomagnetskog elementa na vrijednost danu za određenu epohu trebalo dodati popravak zbog sekularne varijacije, popravak zbog dnevne varijacije  $i$ , na kraju, popravak zbog vlastitog doprinosa pripovršine na kojoj se obavlja opažanje. Sukladno dobivenim rezultatima iz provedenog istraživanja razlike između dviju točaka s nepoznatom pripovršinom na nekoj lokaciji su po  $D$  gotovo 9', po  $I$  više od 7', a po  $F$  67,2 nT.

## 7. Zaključak

Zemlja crvenica nedvojbeno posjeduje magnetska svojstva, što je utvrđeno opažanjem polja s uzorcima na sekularnoj točki POKUpsko tijekom mirnih uvjeta. Ispitivanja uzoraka pokazala su nekonzistentne rezultate pa nije moguće dovesti u čvrstu vezu iznose vertikalnih gradijenata totalnog intenziteta nad točkom i mag-

netskih svojstava uzoraka zemlje crvenice s te iste točke. Kemijska analiza uzoraka crvenice s točaka lokacije KRNIca, koji su pokazali najveće razlike magnetskih svojstava, dala je male razlike udjela željeznih oksida za koje se pretpostavljalo da najviše doprinose magnetičnosti same crvenice. S obzirom na ujednačenost kemijskog sastava uzoraka i njihove utvrđene magnetičnosti može se pretpostaviti da su razlike geomagnetskih elemenata, poglavito deklinacije, uzrokovane debljinom sloja crvenice i pripovršine nepoznate magnetske susceptibilnosti, sastava, strukture i prostiranja. Razlike deklinacija između točaka na promatranim lokacijama kreću se u rasponu od 1'28" do 8'56", za inklinaciju od 25" do 7'02" te za totalni intenzitet od 5,1 nT do 67,2 nT. Te razlike geomagnetskih elemenata zabilježene su nad točkama koje su međusobno udaljene od 36,35 m do 331,66 m. Dobivene prostorne varijacije geomagnetskih elemenata uzrokovane magnetskim svojstvima pripovršine općenito nisu reprezentativne već vrijede samo za razmatrane lokacije. Razlike vertikalnih gradijenata totalnog intenziteta svedene na približno jednake visine DIM na razmatranim točkama KP1 i KP2 kreću se u rasponu od 10,68 nT/m na lokaciji KRNI do 37,37 nT/m na lokaciji BALE. Da bi se odredila vrijednost geomagnetskog elementa na nekom području gdje postoji utjecaj pripovršine, potrebno je na podatak dan za neku epohu dodati popravak zbog sekularne varijacije na aktualnu epohu opažanja, pridodati očekivani doprinos dnevne varijacije i konačno doprinos od magnetičnosti pripovršine. Prilikom uspostave geomagnetske točke i provedbe geomagnetske izmjere potrebno je voditi računa o rezultatima metoda gradiometrije, posebice vertikalnih gradijenata iznad same točke. Maksimalni iznos vertikalnih gradijenata od 3 nT/m pokazao se pouzdanim indikatorom malog doprinosa magnetičnosti tla na određivanje geomagnetskih elemenata. Zbog utvrđene male promjene deklinacije i inklinacije s visinom na točkama lokacije KAME, pri izmjeri i uspostavi HGMKP točaka prihvatljivi su i maksimalni vertikalni gradijenti od 5 nT/m. Na taj se način povećava pouzdanost da podaci o geomagnetskim elementima dobiveni opažanjem i naknadnom redukcijom više sadrže doprinose od glavnog polja i polja litosfere, a manje doprinose od magnetskih svojstava pripovršine. Zbog spoznaje da postoje lokalne nehomogenosti koje mogu znatno utjecati na opažanja, poželjno je prije uspostave mreže geomagnetskih točaka imati detaljnu kartu anomalija. Treba istaknuti da su vrijednosti geomagnetskih elemenata opterećene pogreškama različitih izvora poput izbora referentnog(ih) opservatorija, metoda redukcije, vremenskih varijacija, ali i točnošću mjernih sustava. Prilikom terenske izmjere nije korišten lokalni variometar, zbog čega ostaju nepoznati vjerojatno prisutni induktivni efekti. Za vremensku redukciju prikupljenih mjerenja korišteni su podaci opservatorija FUR, a pouzdanost rezultata redukcije svakako bi unaprijedili podaci nacionalnog opservatorija.

*ZAHVALA. Autori ovog rada zahvaljuju Institutu za istraživanje i razvoj obrambenih sustava MORH i Državnoj geodetskoj upravi RH na financiranju projekata u sklopu kojih su obavljena predmetna istraživanja kao i Hrvatskom geološkom institutu.*

*Zahvaljujemo prof. dr. Mariu Brkiću na mnogobrojnim savjetima, korisnim sugestijama i potpori u provedbi istraživanja i pri izradi ovoga rada. Također zahvaljujemo organizaciji INTERMAGNET na ustupljenim podacima geomagnetskog opservatorija Fuerstenfeldbruk (FUR). Zahvaljujemo i kolegi Milanu Mihoviloviću, dipl. ing. geol.*

## Literatura

- Brkić, M., Šugar, D., Rezo, M., Markovinović, D., Bašić, T. (2005): Hrvatska geomagnetska mreža sekularnih točaka, *Geodetski list*, 2, 113–127.
- Brkić, M., Šugar, D. (2008): Hrvatsko geomagnetsko normalno referentno polje polje 2004,5, *Geodetski list*, 2, 1–18.
- Brkić, M., Šugar, D., Pavasović, M., Rezo, M. (2009a): Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – za potrebe službene kartografije – faza II i III, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.–2008., Državna geodetska uprava, Zagreb.
- Brkić, M., Jungwirth, E., Šugar, D., Pavasović, M. (2009b): Tehničko izvješće projekta “Obnova geomagnetske informacije – III. faza”, MORH – Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava, Zagreb.
- Brkić, M., Jungwirth, E., Šugar, D., Pavasović, M. (2010): Croatian Geomagnetic Surveys 2004 – 2009, poster presentation, European Geosciences Union, General Assembly 2010, Vienna, May 2–7, 2010.
- Fallou, F. A. (1862): *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde*, G. Schönfeld’s Buchhandlung, Dresden.
- Gračanin, M. (1951): *Pedologija III. dio – Sistematika tala*, Školska knjiga, Zagreb.
- Marković, S. (2002): *Hrvatske mineralne sirovine*, Institut za geološka istraživanja, Zavod za geologiju, Zagreb.
- Narodne novine (2009): *Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova*, 87.
- Newitt, L. R., Barton, C. E., Bitterly, J. (1996): *Guide for Magnetic Repeat Station Surveys*, IAGA, Boulder, SAD.
- Šumanovac, F. (2007): *Geofizička istraživanja podzemnih voda*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Tučan, F. (1912): *Terra rossa, deren Natur- und Entstehung*, *Neues Jahrb. Min. Geol. Pal.*, 34, 401–430, Stuttgart.
- Zagorac, Ž., Šumanovac, F. (1990): *Geomagnetska istraživanja ležišta građevinskih materijala*, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 2, 35–39.
- URL 1: CROPOS,  
[http://www.cropos.hr/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr](http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr), (16.11.2010.).
- URL 2: GFZPOTSDAM,  
[http://www.gfzpotdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec23/infrastructure/repeat\\_stations/MagNetE](http://www.gfzpotdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec23/infrastructure/repeat_stations/MagNetE), (12.11.2010.).
- URL 3: NOAA, [http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse/2009/2009\\_plots.html](http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse/2009/2009_plots.html), (9.11.2010.).

## Geomagnetic Elements Determination on the Selected Locations with the Red Soil (Terra Rossa)

*ABSTRACT. The results of investigation of the red soil and subsurface of unknown composition and spreading on the geomagnetic elements determination are presented. Geomagnetic field surveys took place on four locations of the Croatian Geomagnetic Network for Field Mapping covered with red soil on the territory of southern and western Istria. In addition to the points with low gradients, the D, I, F observations were performed on the nearby points with high total intensity gradients. The maximum differences in D (8'56"), I (7'02") and F (67.2 nT) were found on the investigated locations at the distance of approx 40 m to 330 m. The acceptability of the 3 nT/m maximum gradient criterion for the establishment and survey of geomagnetic stations was proved by D and I observations at different DIM heights. Magnetic properties of the red soil samples from all investigated locations were determined during total intensity observations at POKU repeat station in quiet magnetic conditions. The chemical analysis of the red soil samples from KRNI location with maximum difference in magnetic properties was performed.*

*Keywords: geomagnetic elements, total intensity gradients, red soil (terra rossa), chemical analysis, geomagnetic network for field mapping.*

*Prihvaćeno: 2011-08-29*