

First Croatian Geomagnetic Observatory in Lonjsko Polje

Earth's magnetic field, geomagnetic field, is a very complex system that varies on a range of scales, both in the space and time domains. The variability of Earth's magnetic field is the result of various processes, ranging from Earth's deep interior, its crust, ionosphere, magnetosphere, all the way to the Sun. Geomagnetic field is a vector quantity and is described by geomagnetic elements i.e. mutually orthogonal components X (northerly intensity), Y (easterly intensity) and Z (vertical intensity, positive downwards). The elements describing the direction of the field are declination D and inclination I.

For more than 200 years the elements of the Earth's magnetic field have been periodically measured on the territory of Croatia. Study of geomagnetism started back in the early

19th century, when in the period 1806-1823 J. Marieni measured declination along the east coast of the Adriatic, but with instruments of dubious accuracy, and those data, except for Split and Rogoznica, for any subsequent epoch could no longer be used. However, these first geomagnetic measurements on Croatian territory are quite significant when it is known that in 1803 C. F. Gauss, a famous German mathematician, physicist and geodesist, began studying the Earth's magnetic field in order to explain it scientifically and, if possible, describe it mathematically.

The first series of good quality measurements (declination, inclination and horizontal intensity) was carried out in 1847 (on the mainland) and 1854 (along the coast) by K. Kreil,

then director of the observatory in Prague. All observations were reduced using observations at the astronomical observatory in Prague to epoch 1850.0 (e.g. Mokrović, 1928; Skoko, 1992).

Subsequently, magnetic measurements in specific areas of Croatia were carried out by e.g. G. Schellander, E. Gelčić, F. Laschober and V. Kesslitz, R. Eötvös. (Mokrović, 1948; Goldberg et al., 1952).

In 1873, under the auspices of the Hydrographic Office and for the needs of Austro-Hungarian Navy, after extensive efforts a construction of the magnetic observatory in began in Pula (Mokrović, 1976; Škreb, 1912) which was working until the end of the World War I (Mokrović, 1948).

In 1915 A. Kugler, assistant of the Geophysical Institute in Zagreb, began with a hitherto most complete magnetic measurement along the line Koprivnica-Zagreb and continued in 1916 to the east eventually reaching the line Vukovar-Županja. He measured declination and horizontal intensity. All observations according to photographic copies of variometer magnetograms in Ó-Gyalli (now Observatory Hurbanovo) were reduced to the epoch 1915.0. Besides absolute horizontal intensity measurements, relative measurements with horizontal deflector were also carried out.

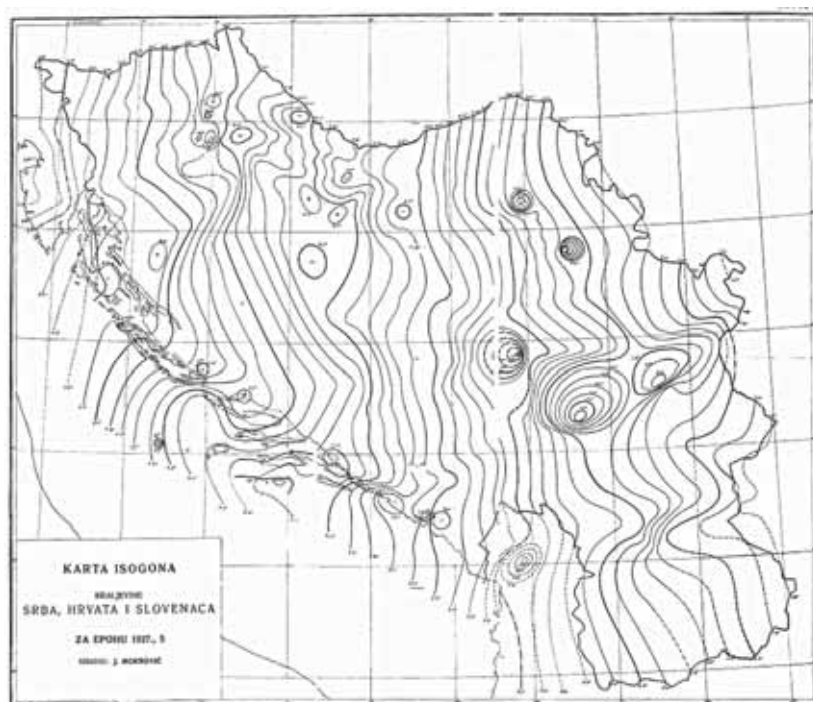


Figure 1. Isogonic map for the epoch 1927.5 (Mokrović, 1928).

Slika 1. Karta izogona za epohu 1927.5 (Mokrović, 1928).

Prvi hrvatski geomagnetski opservatorij u Lonjskom polju

Zemljino magnetsko polje, geomagnetsko polje, tvori sustav koji se odlikuje složenim promjenama, kako u prostornoj tako i u vremenskoj domeni. Promjenjivost Zemljina magnetskog polja posljedica je različitih procesa koji potiču iz duboke Zemljine unutrašnjosti, njezine kore, ionosfere, magnetosfere, pa sve do Sunca. Geomagnetsko je polje vektorska veličina opisana geomagnetskim elementima, tj. međusobno okomitim komponentama X (sjeverni intenzitet), Y (istočni intenzitet) i Z (vertikalni intenzitet,

pozitivnog usmjerenja prema dolje). Elementi koji opisuju smjer polja su deklinacija D (otklon horizontalne komponente vektora geomagnetskog polja od smjera geografskog sjevera) i inklinacija I (otklon vektora geomagnetskog polja od horizontalne ravnine).

Elementi Zemljina magnetskog polja povremeno se mjere na teritoriju današnje Hrvatske već više od 200 godina, od početka 19. stoljeća, kada je u razdoblju od 1806. do 1823. J. Marieni mjerio deklinaciju uzduž istočne

obale Jadrana. Instrumenti su bili upitne točnosti, pa se ti podaci, osim za Split i Rogoznicu, za bilo koju kasniju epohu više nisu mogli koristiti. Međutim, ta prva geomagnetska mjerenja na hrvatskom teritoriju od izuzetnog su znanstvenog, povijesnog i hereditarnog značenja, ako se uzme u obzir da je C. F. Gauss, poznati njemački matematičar, fizičar i geodet počeo 1803. godine prvi znanstveno tumačiti Zemljino magnetsko polje, dakle svega tri godine ranije.

Prvu kvalitetnu seriju mjerenja u nas obavio je godine 1847. na kopnu i 1854. na obali godine Karl Kreil, tadašnji ravnatelj zvjezdarnice u Pragu, mjerenjem deklinacije, inklinacije i horizontalnog intenziteta. Sva su opažanja reducirana s pomoću opažanja na zvjezdarnici u Pragu na epohu 1850,0 (npr. Mokrović, 1928; Skoko, 1992).

Potom su uslijedila magnetska mjerenja na pojedinim područjima Hrvatske koja su obavljali G. Schellander, E. Gelčić, F. Laschober i V. Kesslitz, R. Eötvös i dr. (npr. Mokrović, 1948; Goldberg i dr., 1952).



▲ **Figure 2.** Measurement of magnetic declination on the Jabuka Island, September 1, 1949

▲ **Slika 2.** Mjerenje magnetske deklinacije na otoku Jabuci 1. rujna 1949.

► **Figure 3.** Hydrographic ship P.H. 11, with whom magnetic declination was measured in 1949.

► **Slika 3.** Hidrografski brod P. H. 11, s kojim je mjerena magnetska deklinacija 1949. godine



During the World War I federal forces decided to make a magnetic surveying of the Balkans. All the observers worked in dependently, according to a predefined plan. Austro-Hungary, Germany and Bulgaria were involved in measurements of our area. Based on those measurements values for the epoch 1918.0 were defined (Mokrović, 1928).

Based on the reduction of all the measurements in the period 1806–1918 J. Mokrović (1928) compiled a tabular and cartographic representation of major geomagnetic elements for the epoch 1927.5 (Fig. 1).

In the 1930-ies there was a strong initiative for establishing a geomagnetic observatory, but it was not realized because of the political problems. As the most suitable location the area of Slavonski Brod – Đakovo – Vukovar was considered (Mokrović, 1948).

After the World War II the topic of geomagnetic survey was considered again, both for the economy purposes and international scientific cooperation, but also because a long time – more than 40 years – had passed from the last measurements. Geophysical Institute in Zagreb put forward the initiative to perform systematic geomagnetic survey of the territory of the former state and above all, to build two magnetic observatories, the major one close to Podgorač at the Đakovo plateau and an auxiliary one (for navigational purposes) near Metković (Goldberg et al., 1952). At the suggestion of the Geophysical Institute the Yugoslav Academy of Sciences and Arts concluded that, within its Adriatic Institute, measurements of declination would be performed in summer of 1949 along the coast and on the islands (Goldberg et al., 1952). J. Goldberg, professor of the Faculty of Science led this geomagnetic survey (Fig. 2), which was carried out with the help of geophysicists from Zagreb using the ship of the Hydrographic Institute of the Yugoslav Navy (Fig. 3) on 65 points on the eastern Adriatic coast. In order to reduce the measurement results, a

temporary station for visual observations of the variation of the measured elements was established on the Čiovo island. Based on the derived values of declination, a map of isogons for the Adriatic for epoch 1950.0 was compiled.

After a lull of about fifty years, in 2003 Prof. V. Vujnović from the Geophysical Institute of the Department of Geophysics, Faculty of Science, renewed the research of Earth's magnetism by measuring the total intensity in the northern part of central Croatia. For the reduction a temporary base station in Pokupsko was used.

The following analysis of the Croatian geomagnetic field was conducted by calculating the declination, inclination, horizontal and total intensity using global geomagnetic Comprehensive Model 4 (CM4) for the entire Croatian territory (Verbanac and Korte, 2006). These results (Fig. 4) were used for better understanding the structure of local field, which helped in finding a suitable position for the location of a new geomagnetic observatory.

Based on these studies and observations in parts of Croatia until 2005 the influence of artificial sources of magnetic field was defined, the normal (main) magnetic field was estimated, the field of crust and lithosphere was calculated, the small dimension anomalies were described and several potential locations for the magnetic observatory were chosen.

The need to know the geomagnetic elements exists in various fields of science as well as in various applications. The use of geomagnetic methods for geophysical and geological prospecting is based upon the fact that each geological body has certain physical and magnetic properties. Knowing the geomagnetic elements, especially declination, is necessary for maritime and air transport navigation. The changes of geomagnetic elements are closely related to the phenomena in the Earth's atmosphere, and they play a significant role

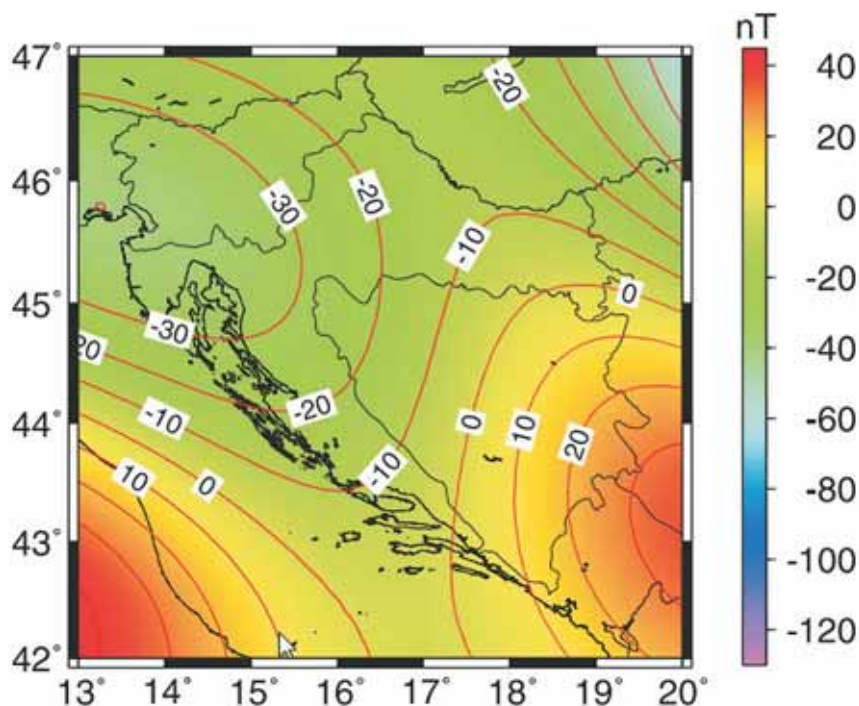
in the research of the ionosphere. Particularly important is the relationship between the phenomena on the Sun and the Earth's magnetosphere.

Monitoring the Earth's magnetic field and its secular variations constrains the estimations of motion in the upper part of the outer liquid core. It also examines the relationship of geomagnetic secular variation with other geophysical phenomena, such as irregularities in the rotation of the Earth and secular changes in climate. Exploring of the Earth's magnetic field can be used to determine the properties of the crust, and the identification of individual features of the Earth's interior. Geomagnetic measurements played one of the key roles in formulating the theory of plate tectonics, determination of convection in the outer core and a much slower rate of convection in the mantle. From all this follows the necessity of constant monitoring and studying of the Earth's magnetic field at the same place on the Earth. Thanks to the two scientific projects funded by the Ministry of Science, Education and Sports and the dedicated work of several scientists from the Department of Geophysics, Faculty of Science, all necessary observatory instruments were purchased, location in the Nature Park Lonjsko Polje was selected, and facilities for these instruments were constructed. Thus the geomagnetic observatory was completed and in early 2012 put into trial operation.

The first and the only geomagnetic observatory in Croatia is located in the area of the Nature Park Lonjsko Polje (geographic coordinates of the absolute pillar are 45°24'29" N, 16°39'33" E, altitude of 95m). After several years of exhaustive surveys this location was chosen because it is an area without magnetic anomalies, with a low field gradient and far enough from civilization noise (Verbanac and Vujić, 2012). The observatory consists of three small houses (Fig. 1), all of them made of non-magnetic material. The power for the whole

Figure 4. Map of anomalous geomagnetic field in Croatia obtained using model CM4 for the epoch 2003.76 (Verbanac and Korte, 2006)

Slika 4. Karta anomalnoga geomagnetskog polja u Hrvatskoj dobivena pomoću modela CM4 za epohu 2003.76 (Verbanac i Korte, 2006).



U Puli je u okrilju Hidrografskog zavoda, za potrebe austrougarske mornarice, nakon duljih nastojanja, godine 1873. započeta gradnja magnetskog opservatorija (Mokrović, 1976; Škreb, 1912) koji je radio do kraja Prvog svjetskog rata (Mokrović, 1948).

Asistent Geofizičkog zavoda u Zagrebu A. Kugler u srpnju 1915. počeo je s do tada najpotpunijom magnetskom izmjerom na liniji od Koprivnice do Zagreba, te nastavio 1916. istočno do linije od Vukovara do Županje. Mjerio je deklinaciju i horizontalni intenzitet. Sva su motrenja po foto-frafskim kopijama variometarskih magnetograma u Ó-Gyalli (danas Opservatorij u Hurbanovu) reducirana na epohu 1915,0. Osim apsolutnih mjerenja horizontalnog intenziteta, obavio je i relativna mjerenja s horizontalnim deflektorom.

Za vrijeme Prvog svjetskog rata savezničke su sile odlučile provesti magnetsku izmjeru Balkana. Svi su opažaci radili samostalno, ali po jedinstvenom planu. Na području Hrvatske u mjerenjima su sudjelovale Austro-Ugarska, Njemačka i Bugarska te su na osnovi toga definirane vrijednosti za epohu 1918,0 (Mokrović, 1928).

Na osnovi redukcije svih mjerenja dostupnih za razdoblje od 1806. do 1918. godine, dao je J. Mokrović (1928) tabelarni i kartografski pregled glavnih geomagnetskih elemenata za epohu 1927,5 (slika 1).

Tridesetih godina 20. stoljeća u Geofizičkom zavodu u Zagrebu postojala je snažna inicijativa za osnivanjem geomagnetskog opservatorija na području Hrvatske, no ne zbog nemogućnosti pronalaska zadovoljavajuće lokacije nego zbog političkih problema nije bila realizirana. Kao najpovoljnija lokacija spominjalo se područje između Slavenskog Broda preko Đakova do Vukovara (Mokrović, 1948).

Nakon Drugog svjetskog rata ponovo je postalo aktualno pitanje geomagnetske izmjere, kako zbog gospodarstva i međunarodne znanstvene suradnje, tako i zato što je od posljednje izmjere prošlo puno vremena, čak više od 40 godina. Iz Geofizičkog je zavoda u Zagrebu potekla inicijativa da se napravi sustavna geomagnetska izmjera bivše države, a prije svega da se izgrade dva magnetska opservatorija, glavni kod Podgorača na Đakovačkom platou i pomoćni (za potrebe navigacije) kod Metkovića (Goldberg i dr., 1952). Na prijedlog

Geofizičkog zavoda u Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti donesen je zaključak da se u okviru njezinog Jadranskog instituta u ljeto 1949. mjeri deklinacija u primorju, na obali i na otocima (Goldberg et al., 1952). Profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i član Geofizičkog zavoda u Zagrebu, J. Goldberg rukovodio je tom magnetskom izmjerom (slika 2), koji su obavili zagrebački geofizičari brodom Hidrografskog instituta JRM (slika 3) na 65 mjesta istočne obale Jadrana. Radi redukcije rezultata mjerenja, a zbog nepostojanja magnetskog opservatorija, uspostavljena je bazna stanica za vizualno mjerenje varijacija geomagnetske deklinacije, koja je bila smještena na otoku Čiovu. Na temelju izvedenih vrijednosti deklinacije nacrtana je karta izogona Jadrana za epohu 1950,0.

Nakon zatišja od pedesetak godina, prof. dr. sc. V. Vujnović s Geofizičkog zavoda Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu je 2003. godine obnovio istraživanje Zemljina magnetizma, mjerenjem ukupne jakosti polja u sjevernom dijelu središnje Hrvatske. Za redukciju podataka korištena je prijevremena bazna stanica u Pokupskom.



▲ **Figure 5.** Geomagnetic observatory in Lonjsko Polje.

▲ **Slika 5.** Geomagnetski opservatorij u Lonjskom Polju.



◀ **Figure 6.** Up left: Control house (C) with solar cells on the roof; up right: Geomagnetic theodolite; down left: dIdD magnetometer; down right: Proton magnetometer.

◀ **Slika 6.** Gore lijevo: Kontrolna kuća sa solarnim ćelijama na krovu; gore desno: Geomagnetski teodolit; dolje lijevo: dIdD magnetometar; dolje desno: Protonski magnetometar.

observatory is supplied by solar cells mounted on the roof of the control house (Fig. 6 top left). This is the only object where a small amount of magnetic materials is allowed, as it is 90 m away from other objects that house the magnetometers and their sensors. Furthermore, in the control house there is also a system for data acquisition which is connected to magnetometers in other objects. The data are transmitted to Zagreb via the public mobile network on the daily basis.

The observatory runs two proton magnetometers (Fig. 6 down right) for measurement of the total intensity (F), a geomagnetic theodolite (Fig. 6 up right) for measurements of the absolute values of declination (D) and inclination (I), and the dIdD magnetometer (Fig. 2 bottom left) which measures the relative changes

in inclination (di), declination (dD) and the total intensity (F).

With the establishment of the observatory, permanent monitoring of the geomagnetic activity in Croatia is renewed after 60 years of inactivity. This provides a good foundation for rapid development of geomagnetism which has been neglected for a long time, although it was one of the first geophysical disciplines in Croatia. Our long-term goals include collaboration with scientists from other countries, participation in the international projects, and joining the INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) thus contributing to monitoring the Earth's magnetic field on the global level. Direct contribution to daily life would be manifested in the use of these data, primarily for regional air navigation and maritime

traffic, as well as in radio and satellite communications.

The start of regular observatory measurements concludes almost a century long effort of the Geophysical Institute in Zagreb towards establishment of the observatory on the Croatian territory as a prerequisite for scientific and professional development of geomagnetism along with other geophysical disciplines. On behalf of the Geophysical Institute of the Department of Geophysics we wish to thank the Ministry of Science, Education and Sports, the Ministry of Culture and the management of the Nature Park Lonjsko Polje for their help in founding of the first Croatian geomagnetic observatory.

*Snježana Markušić
Davorka Herak
Igor Mandić ■*

Sljedeća analiza geomagnetskog polja Hrvatske provedena je računanjem deklinacije, inklinacije, horizontalnog i totalnog intenziteta uporabom globalnog geomagnetskog modela Comprehensive Model 4 (CM4) za cijelo područje Hrvatske (Verbanac i Korte, 2006). Dobiveni rezultati (slika 4) iskorišteni su za bolje upoznavanje strukture lokalnog polja radi nalaženja položaja pogodnog za lokaciju novoga geomagnetskog opservatorija.

Na osnovi navedenih istraživanja, te mjerenja u dijelovima Hrvatske do 2005. godine ustanovljen je utjecaj umjetnih izvora magnetskog polja, procijenjeno je normalno (glavno) magnetsko polje, izračunano polje kore i litosfere te su određene anomalije malih dimenzija na području Hrvatske i odabrane potencijalne lokacije za postavljanje magnetskog opservatorija.

Potreba poznavanja geomagnetskih elemenata postoji u raznim područjima znanosti i neposrednim primjenama. Na činjenici da je svako geološko tijelo nositelj određenih fizikalnih, dakle i magnetskih svojstava, temelji se uporaba geomagnetskih metoda pri istraživanju rudnih ležišta. Poznavanje geomagnetskih elemenata, osobito deklinacije, potrebno je za pomorski i zračni promet, a osim toga promjene geomagnetskih elemenata u uskoj su vezi s pojavama u Zemljinj atmosferi te njihovo poznavanje igra znatnu ulogu pri istraživanju njezine ionosfere. Posebno je pritom važan odnos pojava na Suncu i magnetosfere.

Istraživanje Zemljina magnetskog polja primjenjuje se za utvrđivanje svojstava njezine kore te utvrđivanje pojedinih značajki duboke Zemljine unutrašnjosti. Geomagnetska mjerenja odigrala su ključnu ulogu pri utvrđivanju tektonike ploča, konvekcije u vanjskoj jezgri i mnogo sporije konvekcije u plaštu. Praćenje promjena Zemljina magnetskog polja i posebno njegove sekularne varijacije omogućuju procjenu gibanja u gornjem dijelu vanjske tekuće jezgre. Istražuju se povezanosti geomagnetske sekularne

varijacije i nekih drugih geofizičkih pojava, npr. nepravilnosti u Zemljinoj rotaciji i sekularnih promjena klima. Iz svega navedenog slijedi neophodnost kako kontinuiranog mjerenja, tako i proučavanja Zemljina magnetskog polja na istom mjestu na Zemlji. Zahvaljujući dvama znanstvenim projektima što ih je financiralo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta i predanom radu nekolicine znanstvenika s Geofizičkog odsjeka PMF-a u Zagrebu nabavljeni su neophodni instrumenti, odabrana lokacija u Parku prirode Lonjsko polje i izgrađeni objekti za te instrumente pa je geomagnetski opservatorij dovršen i pušten u probni rad početkom 2012. godine.

Prvi i jedini geomagnetski opservatorij u Hrvatskoj smješten je na području Parka prirode Lonjsko polje. Koordinate apsolutnog pilara su $45^{\circ}24'29''$ sjeverne geografske širine i $16^{\circ}39'33''$ istočne geografske dužine, a nadmorska visina je 95 m. Nakon nekoliko godina iscrpnih terenskih mjerenja ta je lokacija izabrana zbog toga što je to područje bez magnetskih anomalija, s malim gradijentima polja i dovoljno je udaljeno od civilizacijskog šuma (Verbanac i Vujić, 2012). Instrumenti opservatorija su smješteni u nekoliko kućica (slika 5) izgrađenih od nemagnetičnih materijala. Čitav opservatorij se snabdijeva energijom dobivenom iz solarnih ćelija smještenih na krovu kontrolne kuće (C) (slika 6 gore lijevo) i to je jedini objekt u kojemu je dopušteno imati male količine magnetičnih materijala zbog udaljenosti od 90 m od ostalih objekata u kojem su smješteni magnetometri i njihovi senzori. Nadalje, u objektu C nalazi se sustav za akviziciju podataka koji je povezan s magnetometrima u ostalim objektima, a podaci se šalju u matičnu ustanovu, Geofizički odsjek PMF-a u Zagrebu, na dnevnoj bazi.

Opservatorij posjeduje nekoliko instrumenata: dva protonska magnetometra (slika 6 dolje desno) za mjerenje totalnog intenziteta (F),

geomagnetski teodolit (slika 6 gore desno) za mjerenje apsolutnih vrijednosti deklinacije (D) i inklinacije (I), te didD magnetometar (slika 6 dolje lijevo) koji mjeri relativne promjene inklinacije (di), deklinacije (dD) i totalnog intenziteta (F).

Uspostavom opservatorija ponovo se započelo s motrenjem geomagnetske aktivnosti u Hrvatskoj koje je prestalo prije 60 godina. Na taj način postavljen je dobar temelj za razvitak istraživanja geomagnetizma koji je dugo vremena bio zanemaren, unatoč tome što je bio jedna od prvih geofizičkih disciplina u Hrvatskoj. Dugoročni ciljevi vezani uz geomagnetski opservatorij Geofizičkog odsjeka PMF-a su: daljnji razvitak geomagnetizma kao znanosti, suradnja sa znanstvenicima iz inozemstva, sudjelovanje u međunarodnim projektima, pristupanje INTERMAGNET-u (međunarodnoj „real-time“ mreži geomagnetskih opservatorija) i na taj način doprinijeti motrenju Zemljina magnetskog polja na globalnoj razini. Izravni doprinos u svakodnevnom životu očitovao bi se u korištenju tih podataka, koji su prije svega nužni za regionalnu navigaciju u zračnom i pomorskom prometu, te pri radio i satelitskim komunikacijama.

Osnutkom ovog opservatorija sretno je završeno gotovo stoljeće dugo nastojanje Geofizičkog zavoda u Zagrebu da se uspostavi kontinuirano mjerenje elemenata Zemljina magnetskog polja na tlu Hrvatske i da se geomagnetizam, kao geofizička disciplina, znanstveno i stručno uspješno razvija. U ime Geofizičkog zavoda Geofizičkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu zahvaljujemo Ministarstvu znanosti, obrazovanja i sporta, Ministarstvu kulture i Upravi Parka prirode Lonjsko polje na svakovrsnoj pomoći pri izgradnji geomagnetskog opservatorija.

Snežana Markušić
Davorka Herak
Igor Mandić ■