

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK



## Mjesečno izvješće: Rezultati mjerenja u geomagnetskom opservatoriju „Lonjsko polje“

---

Travanj 2023.

**Igor Mandić, Dino Curman**

Zagreb, svibanj 2023.

## Sadržaj

1. Uvod.....	2
1.1. Lokacija i tehnički opis opservatorija.....	3
1.2. Mjerenja i obrada podataka.....	7
2. Rezultati geomagnetskih mjerenja Opservatorija za travanj 2023. godine .....	10
2.1. Značajni događaji i napomene.....	10
2.2. Apsolutna mjerenja i kalibracijske vrijednosti .....	12
2.3. Tablični i grafički rezultati geomagnetskih mjerenja u Opservatoriju.....	15
Literatura.....	20
3. Dodatak - Dnevni (minutni) magnetogrami u periodu od 01.04.-31.04.2023.....	21

## 1. UVOD

Gotovo 100 godina nakon prestanka rada geomagnetskog opservatorija u Puli, na teritoriju Republike Hrvatske nisu postojala permanentna mjerenja geomagnetskih elemenata. Ovakav tip mjerenja danas se vrši u geomagnetskom opservatoriju „Lonjsko polje“ koji je počeo sa radom sredinom 2012. godine. Geomagnetski Opservatorij radi pod okriljem Geofizičkog odsjeka PMF-a uz financijsku potporu Ministarstva znanosti i obrazovanja.

U ovom izvještaju prikazani su rezultati mjerenja za travanj 2023. godine. Izvještaj se sastoji od nekoliko zasebnih cjelina. U prvom dijelu opisane su osnovne tehničke specifikacije opservatorija, zatim metode obrade podataka, te su predstavljeni rezultati geomagnetskih mjerenja u tabličnom i grafičkom obliku.

Na početku 2. poglavlja izvješća dani su komentari značajnijih događaja i napomene vezane za podatke koji fale. Potom slijede rezultati apsolutnih motrenja, procjena apsolutne točnosti podataka, te tablični i grafički prikazi geomagnetskih elemenata kao i indeksa lokalne geomagnetske aktivnosti.

Opservatorijski minutni srednjaci (St-Louis 2020) javno su dostupni putem web-a u okviru programa INTERMAGNET (<http://www.intermagnet.org>). Jednosekundni podaci i ostali proizvodi opservatorija, u digitalnom obliku dostupni su na zahtjev:

### KONTAKT OSOBE:

Igor Mandić – e-mail: [mandici@gfz.hr](mailto:mandici@gfz.hr) , tel: +385 1 460 5936

Dino Curman – e.mail: [dino.curman@gfz.hr](mailto:dino.curman@gfz.hr) , tel: +385 1 460 5937

### WEB:

Hrv.: [https://www.pmf.unizg.hr/geof/znanost/geomagnetizam\\_i\\_aeronomija](https://www.pmf.unizg.hr/geof/znanost/geomagnetizam_i_aeronomija)

Engl:

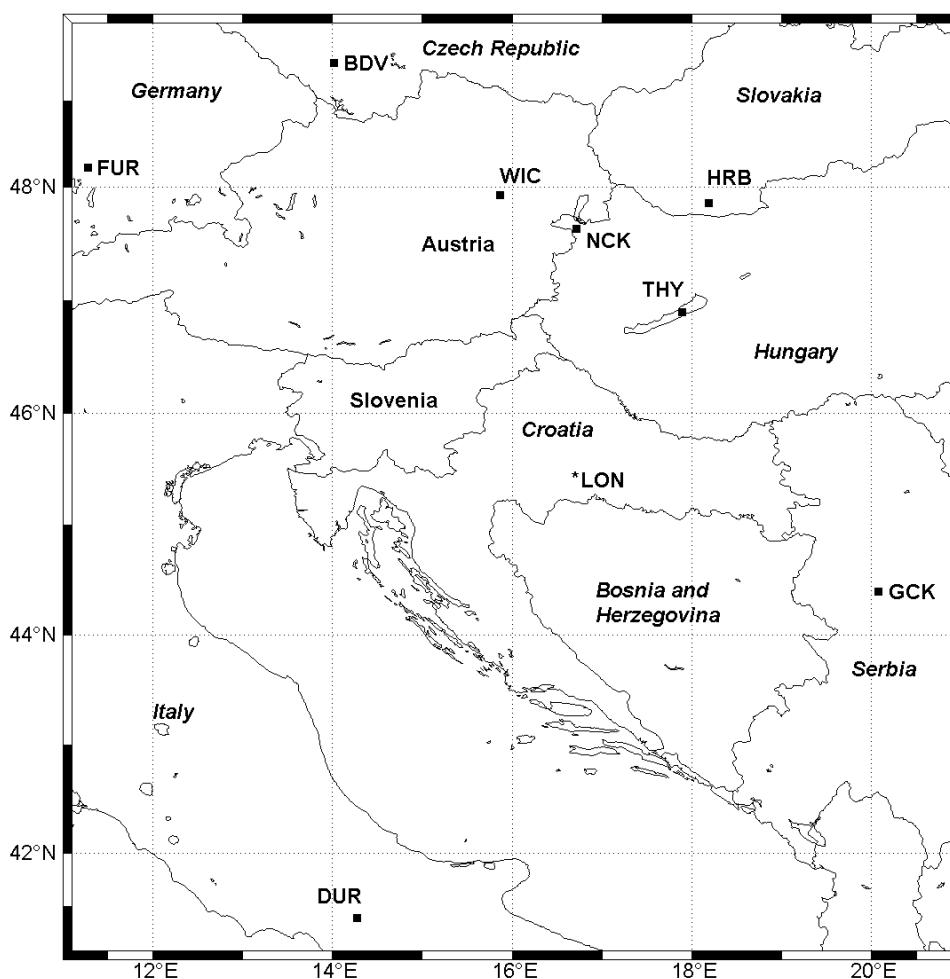
[https://www.pmf.unizg.hr/geof/en/research/geomagnetism\\_and\\_aeronomy/lonjsko\\_polje\\_geomagnetic\\_observatory](https://www.pmf.unizg.hr/geof/en/research/geomagnetism_and_aeronomy/lonjsko_polje_geomagnetic_observatory)

Obzirom da se izvješće publicira unutar mjesec dana od prikupljanja recentnih podataka u izvješću predstavljeni su preliminarne rezultati magnetskih mjerenja. Konkretno u ovom izvješću predstavljeni su kvazi-definitivni podaci (St-Louis 2020) za travanj 2023. godine. To znači da su podaci očišćeni od većih degradacija u podacima (šumovi i magnetske kontaminacije) te su kalibrirani na kvazi-definitivne apsolutne vrijednosti. Uslijed operativnih problema moguće je postojanje dužih perioda u kojima nema podataka. Broj podataka koji nedostaju minimizirati će se nakon detaljnije analize i publikacije definitivnih podataka. Konačni definitivni podaci obično se publiciraju s kašnjenjem od godinu dana.

Autori se također zahvaljuju Damiru Ptičaru i Josipu Modriću na tehničkoj podršci i apsolutnim motrenjima bez kojih prema Opservatorijskih podataka ne bi bila moguća.

### 1.1. Lokacija i tehnički opis opservatorija

Geomagnetski opservatorij je smješten na području Parka prirode Lonjsko polje, 65 km (zračne udaljenosti) jugoistočno od Zagreba (Slika 1.1). Na temelju opširnih dugogodišnjih izmjera i detaljne analize prikupljenih podataka, ova lokacija je odabrana jer to područje bez magnetskih anomalija, s malim prostornim gradijentima, te je dovoljno udaljeno od izvora civilizacijskog šuma (Mandić i sur. 2017, Verbanac i Vujić 2012, te reference ondje). Opservatorij spada u klasu „ne opsluživanih“ (*engl.* „remotely operated“ ili „unmanned“), odnosno gotovo u potpunosti automatiziranih opservatorija. Naime opservatorij se posjećuje samo u svrhu održavanja i vršenja kalibracijskih mjerenja, tj. manualnih opažanja geomagnetskih elemenata.



Slika 1.1 – Lokacija opservatorija u Lonjskom Polju (LON – službeni IAGA kod) i susjednih INTERMAGNET opservatorija Budkov (BDV), Duronia (DUR), Fürstenfeldbruck (FUR), Grocka (GCK), Hurbanovo (HRB), Nagycenk (NCK), Tihany (THY) i Conrad (WIC).

Opservatorij Lonjsko polje (LON – službeni IAGA kod, <http://www.bgs.ac.uk/iaga/vobs/home.html>) sastoji se od nekoliko objekata (Slika. 1.2), u potpunosti izgrađenih od nemagnetičnih materijala (drvo, stiropor, aluminijski i bakreni okovi i sl.). Temelji kuća kao i pilari unutar njih sačinjeni su od nemagnetičnog bijelog cementa. Kontrolna kuća (lokacija 1) je jedini objekt u kojem je dopušteno imati relativno male količine magnetskih materijala (akumulatori,

računalna oprema, alat sl.) zbog udaljenosti od 90-100 metara od ostalih objekata u kojima se nalaze magnetometri visoke preciznosti. U svrhu pouzdanijeg rada Opservatorij se napaja energijom s tri neovisna sustava solarnih panela smještenih na krovu kontrolne kuće (Slika 1.3). Dva solarna sustava koriste se isključivo za napajanje magnetometara i akvizicijskih sustava, dok se treći koristi za napajanje ostale informatičke i elektroničke opreme. U kontrolnoj kući također se nalaze akvizicijski sustavi MAGREC-4 i MAGREC-4B (URL1), mađarskog proizvođača MinGeo, specijalno konfiguriranih za pohranu digitalnih podataka LON opservatorija.



Slika 1.2 – Pet objekata LON opservatorija: 1) Kontrolna kuća, 2) Lokacija magnetometra LEMI-18, 3) referentna lokacija Opservatorija gdje se nalaze DIM i PPM magnetometar, 4) lokacija DIDD magnetometra, 5) lokacija magnetometra LEMI-35. (Podloga slike je preuzeta s „Google Earth“ aplikacije).

Trenutno u radu Opservatorija koriste se 3 apsolutna instrumenta i 3 relativna instrumenta. Na lokacijama 2, 4 i 5 kontinuirano mjere vektorski magnetometri (relativni instrumenti). Sva tri apsolutna instrumenta vrše mjerenja u apsolutnoj kući (A, lokacija 3). Ovim mjerenjima kalibriraju se kontinuirani vektorski magnetometri, a detalji su predstavljeni u poglavlju 2. Apsolutni pilar (A-pilar) predstavlja opservatorijsku referencu na koju se svode sva mjerenja. Njegove WGS-84 koordinate su  $45^{\circ} 24' 29''$  N,  $16^{\circ} 39' 33''$  E, a nadmorska visina je 95 m. Geomagnetska orijentacijska točka (GOT) nužna za određivanje apsolutne vrijednosti deklinacije nalazi se 512 m sjeveroistočno od pilara A. Geografski azimut GOT-a u odnosu na pilar A iznosi  $64^{\circ} 58' 08''$ . Osnovne tehničke specifikacije Opservatorijskih magnetometara prikazani su u Tablici 1.1.

U variometarskoj kući (V, lokacija 4), mjeri senzor DIDD magnetometar na V-pilaru (Slika 1.4). Zbog najboljih termo-mehaničkih parametara ovaj instrument predstavlja glavni vektorski magnetometar Opservatorija. U DIF koordinatnom sustavu ovaj magnetometar mjeri varijaciju deklinacije ( $dD$ ), varijaciju inklinacije ( $dI$ ), te apsolutni iznos polja ( $F$ ) na V-pilaru. Alternativno, ovim magnetometrom možemo također mjeriti varijacije triju komponenti u HEZ ili XYZ koordinatnom sustavu (Heilig 2007, Alldredge 1960). Na lokaciji 2 mjeri vektorski magnetometar LEMI-18 (URL2), u tzv. geografskom XYZ sustavu (X - u smjeru sjevera, Y - u smjeru istoka, Z - vertikalno prema dolje). Na lokaciji 5 mjeri vektorski magnetometar LEMI-35 (URL3), u tzv. geografskom HEZ sustavu (H - u smjeru magnetskog sjevera, E - u smjeru magnetskog istoka, Z - vertikalno prema dolje). Ovaj visoko-precizni magnetometar instaliran je 2012. u okviru FP7 Plasmon projekta (Lichtenberg i sur 2013, Heilig i sur 2012), specijalno za praćenje kratko-periodičkih geomagnetskih varijacija. Sirovi uzorci LEMI-35 automatski se filtriraju s dva Gaussova filtra ugrađena u akvizicijski sustav, koji je posebno dizajniran za potrebe Plasmon projekta (Merényi i sur. 2012). Prvi filter generira 16 Hz srednjake, a drugi 1 Hz srednjake iz kojih se računaju standardni minutni srednjaci (St-Louis 2020).

U apsolutnoj kući, jednom tjedno vrše se apsolutna motrenja deklinacije ( $D$ ) i inklinacije ( $I$ ) koristeći Deklinacijsko-Inklinacijski Magnetometar (DIM, URL4). Ovaj instrument bazira se na nemagnetičnom Zeiss 010A geodetskom teodolitu s rezolucijom od jedne lučne sekunde, sa senzorom tzv. jedno-osnog DI fluxgate magnetometra, Model G, 0.1 nT rezolucije (proizvođač: Danish Meteorological Institute) koji je fiksiran na teleskop teodolita (Sl. 1.5, lijevo). Za mjerenje  $F$  unutar apsolutne kuće koriste se dva skalarna (tzv. „Overhauser-efekt“) magnetometra (Slika 1.5, desno). Skalarni magnetometar GSM-19 (URL5) mjeri kontinuirano na udaljenosti 2,5 m od referentne lokacije (A-pilara). Drugim skalarnim magnetometrom GSM-19F (URL5) vršimo povremena mjerenje  $F$  na A-pilaru kako bismo naknadno mogli korigirati mjerenja totalnog intenziteta GSM-19 i DIDD magnetometra na referentnu lokaciju.

Tablica 1.1 – Instrumenti LON opservatorija, elementi koji se mjere, te osnovne tehničke specifikacije.

Tip instrumenta	Naziv magnetometra	Element	Uzorkovanje	Rezolucija	Apsolutna točnost	Osjetljivost	Proizvođač
Apsolutni	Deklinacijsko-Inklinacijski magnetometar (DIM)	$D, I$	tjedna manualna motrenja	1" (lučna sekunda)	2" - 3" (ovisi o motritelju)	ovisi o motritelju	MinGeo, Mađarska
Apsolutni	Overhauser GSM-19F	$F$	5 s	0.01 nT	0.2 nT	0.022 nT/Hz	GemSystems, Kanada
Apsolutni	Overhauser GSM-19	$F$	5 s	0.01 nT	0.2 nT	0.022 nT/Hz	
Kvazi-apsolutni	Vektorski DIDD	$dI, dD, F$	5 s	0.01 nT	0.2 nT (u $F$ )	3" za $dI/dD$ ; 0.018 nT/Hz za $F$	
Relativni	Vektorski LEMI-18	$dX, dY, dZ$	1 s	0.01 nT	/	0.015 nT/Hz	Lemi Sensors, Ukrajina
Relativni	Vektorski LEMI-35	$dH, dE, dZ$	1 s	0.001 nT	/	0.01 nT/Hz	





Slika 1.3 – Solarni paneli na krovu kontrolne kuće.



Slika 1.4 – Lijevo: Ovješeni (*engl. suspended*) DIDD senzor koji mjeri na V-pilaru u variometarskoj kući. Oko senzora je postavljena izolacijska kutija kako bi se osigurala bolja temperaturna stabilnost. Desno: Elektronička jedinica DIDD magnetometra (GSM-19FD).



Slika 1.5 – Lijevo: Deklinacijsko-Inklinacijski magnetometar na pilaru u A kući. Desno: Mjerenja totalnog intenziteta  $F$  u A kući. Senzor GSM-19 magnetometra (u plastičnoj kutiji) permanentno mjeri  $F$  na udaljenosti od 2,5 metra od A pilara. Senzor GSM-19F magnetometra koji povremeno mjeri na referentnom A pilaru.

## 1.2. Mjerenja i obrada podataka

Putem mobilnog Interneta, sirovi podaci se u gotovo realnom vremenu šalju na server Geofizičkog odsjeka PMF-a u Zagreb. Podaci LEMI-35 magnetometra također se šalju na PLASMON-ov server koji se nalazi u opservatoriju Tihany (Mađarska). Na serveru u Zagrebu podaci se obrađuju u gotovo realnom vremenu i šalju u INTERMAGNET bazu podataka ([www.intermagnet.org](http://www.intermagnet.org)). Putem INTERMAGNET servisa korisnici mogu preuzeti dostupne podatke LON opservatorija. Recentni podaci su tipa „\*.vmin“ i „\*.pmin“. Kvalitetniji podaci tipa „qmin“ dostupni su s kašnjenjem od mjesec dana, a konačni definitivni podaci „dmin“ tipa publiciraju se s kašnjenjem od godinu dana, pa i duže. Svi podaci se publiciraju u geografskom XYZ sustavu. Za detalje o podatkovnim tipovima pogledajte St-Louis 2020, poglavlje 6.1.2.

Iz 1-sekundnih i 5-sekundnih podataka, računaju se 1-minutni Gaussovi srednjaci (St-Louis B., 2020) dok se satne, dnevne, mjesečne i godišnje vrijednosti dobivaju jednostavnim aritmetičkim usrednjavanjem. U koliko unutar određenog perioda fali  $\geq 10\%$  podataka, srednjak se prijavljuje kao podatak koji nedostaje. Npr. ukoliko smo unutar jednog sata uklonili 6 (ili više) minutnih podataka zbog magnetskih kontaminacija ili nekih drugih operativnih problema, tada ne možemo izračunati srednjak za taj sat. U IAGA2002 formatu, vrijednost 99999.00 označava podatak koji nedostaje.

Sva mjerenja imaju vremenski potpis u UTC (Universal Time Coordinated).

Detaljna analiza; vizualna inspekcija i kontrola kvalitete podataka, uklanjanje degradacija iz podataka kao i usporedba s podacima susjednih opservatorija radi se u programskom okružju „Matlab“. Svi korišteni programi i skripte razvijeni su na Geofizičkom odsjeku PMF-a.



Apsolutna DI-motrenja, vrše se jednom tjedno prema naputcima asocijacije INTERMAGNET (St-Louis 2020). Vrši se popodnevni i jutarnji set kako bi se dobila informacija stabilnosti vektorskog magnetometra (variometra) u toku dana. Iz apsolutnih motrenja i podataka skalarnog magnetometra dobivamo  $D(t_0)$ ,  $I(t_0)$  i  $F(t_0)$  apsolutne vrijednosti u referentnom trenutku motrenja  $t_0$ . Iz njih možemo lako izračunati i ostale elemente ( $H$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) koji su potrebni za određivanje kalibracijskih vrijednosti magnetometara LEMI-35 i LEMI-18. Za detalje o postupku apsolutnih motrenja u LON opservatoriju pogledajte Mandić, 2017 (Appendix A). Odstupanje apsolutnih vrijednosti od variometarske, u trenutku  $t_0$ , nazivamo motrena kalibracijska vrijednost. Tako iz jednog seta apsolutnih mjerenja možemo odrediti kalibracijske vrijednosti za svaki vektorski magnetometar:

- Za DIDD magnetometar

$$D_0(t_0) = D(t_0) - dD(t_0);$$

$$I_0(t_0) = I(t_0) - dI(t_0);$$

$$F_0(t_0) = F(t_0) - F_{\text{DIDD}}(t_0);$$

gdje su  $dD(t_0)$ ,  $dI(t_0)$ ,  $F_{\text{DIDD}}(t_0)$  vrijednosti koje je zabilježio DIDD magnetometar u referentnom trenutku motrenja.

- Za LEMI-18 magnetometar

$$X_0(t_0) = X(t_0) - dX(t_0);$$

$$Y_0(t_0) = Y(t_0) - dY(t_0);$$

$$Z_0(t_0) = Z(t_0) - dZ(t_0);$$

gdje su  $dX(t_0)$ ,  $dY(t_0)$ ,  $dZ(t_0)$  vrijednosti koje je zabilježio LEMI-18 magnetometar u referentnom trenutku motrenja.

- Za LEMI-35 magnetometar

$$H_0(t_0) = H(t_0) - dH(t_0);$$

$$D_0(t_0) = D(t_0) - dD(t_0);$$

$$Z_0(t_0) = Z(t_0) - dZ(t_0);$$

gdje su  $dH(t_0)$ ,  $dD(t_0)$ ,  $dZ(t_0)$  vrijednosti koje je zabilježio LEMI-35 magnetometar u referentnom trenutku motrenja. Magnetometar LEMI-35 zapravo bilježi varijaciju u smjeru magnetskog istoka ( $dE$ ) u nT te se ona tradicionalno pretvara u varijaciju deklinacije po formuli:

$$dD [^\circ] = dE[\text{nT}]/(H \sin(1^\circ)),$$

gdje je  $H$  apsolutni iznos horizontalne komponente.

Motrenu kalibracijsku vrijednost za neovisni skalarni magnetometar GSM-19 predstavlja srednja vrijednost razlike mjerenja GSM-19 ( $F_{\text{GSM}}$ ) i GSM-19F koji mjeri na A-pilaru  $F(t_0)$  u periodu od 10-15 minuta. Kalibracijsku vrijednost za skalarni magnetometar možemo pisati kao  $S_0(t_0) = F(t_0) - F_{\text{GSM}}(t_0)$ .

Motrene kalibracijske vrijednosti (*engl. basevalues*), izračunate iz tjednih apsolutnih motrenja koriste se za konstrukciju, tj. prilagodbu kontinuiranih kalibracijskih krivulja kojima se kalibriraju vremenski nizovi vektorskih i skalarnih magnetometara. Superpozicija prilagođenih kalibracijskih vrijednosti (*engl. adopted basevalues*) i „sirovih“ podataka, svodi podatke magnetometra na apsolutne vrijednosti referentne lokacije, te eliminira dugoročne nestabilnost u podacima uzrokovane starenjem elektroničkih komponenti magnetometra, termo-mehaničkim nestabilnostima (Csontos 2007), gradiometarskim varijacijama (Iype 2017) i sl.

Obzirom da je DIDD glavni vektorski magnetometar, ukoliko je potrebno podaci LEMI-18 i LEMI-35 se kalibriraju u DIF koordinatni sustav DIDD magnetometra. Zbog operativnih problema (instrumentalnih ili antropogenih), DIDD vremenske nizove je ponekad potrebno očistiti i komplimentirati kvalitetnijim podacima s pomoćnih magnetometara. U tom slučaju, koriste se LEMI-18 i LEMI-35 podaci kalibrirani na DIDD-DIF sustav, a kalibracijske vrijednosti DIDD magnetometra su ujedno kalibracijske vrijednosti pomoćnih magnetometara (u DIF sustavu). S druge strane, kada je DIDD u potpunosti van operative koriste se podaci pomoćnih magnetometara koji su kalibrirani u svojim originalnim XYZ ili HEZ sustavima.

Naposljetku, FMI algoritam (Menvielle i sur. 1995) se koristi za računanje trosatnih indeksa lokalne geomagnetske aktivnosti  $K$  i  $ak$  (Bartels i sur. 1939; Matsushita i Campbell 1967) s donjom  $K_9$  granicom od 350 nT. U LON opservatoriju indeks  $ak$  (ekvivalent  $K$  indeksu u nT) računa se iz  $K$  indeksa prema Tablici 1.2. Dnevni  $AK$  indeks predstavlja aritmetičku sredinu 8 trosatnih indeksa  $ak$ .

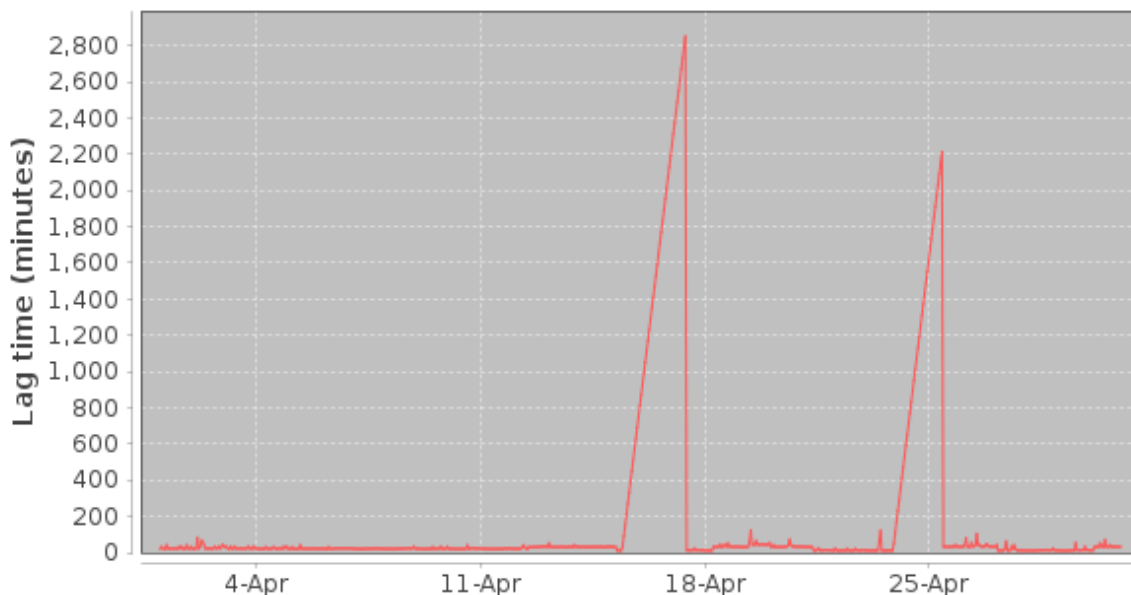
Tablica 1.2 – Konverzija  $K$  indeksa u  $ak$ .

$K$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ak/\text{nT}$	0	4	10	21	38	67	112	196	336	560

## 2. REZULTATI GEOMAGNETSKIH MJERENJA U OPSERVATORIJU ZA TRAVANJ 2023. GODINE

### 2.1. Značajni događaji i napomene

- Automatsko prikupljanje, obrada i distribucija podataka u gotovo realnom vremenu uredno je radila. Na slici 2.1 prikazana je dostupnost aktualnih podataka na INERMAGNET serveru za travanj. Generalno, aktualni podaci su se ažurirali unutar jednog sata, osim u razdobljima kada je bio otežan prijenos podataka zbog slabog signala Interneta.
- Obzirom da postoji šum u očitavanju Inklinacije kod DIDD magnetometra, podaci magnetometra LEMI-35 kalibrirali su se u DIF sustav DIDD magnetometra, te su se zatim kalibracijske vrijednosti DIDD magnetometra korištene za kalibraciju magnetometra LEMI-35. Za mjesec travanj korišteni su podaci LEMI-35 magnetometra za kompilaciju apsolutnih vremenskih nizova LON opservatorija.
- Nakon manualne analize, čišćenja i korekcije podataka, broj dostupnih (minutnih) kvazi-definitivnih podataka je prikazan u Tablici 2.1. Broj nedostajućih podataka biti će eventualno manji nakon detaljne analize podataka magnetometra LEMI-18.
- Dana, 20.04.2023. degradacije u podacima očišćene su u periodu od 20-22 h UTC. Zbog određenih numeričkih nedostataka FMI algoritma kojim računamo K indekse, podatkovna rupa između 20-22h uzrokovala je pogrešni izračun K indeksa za taj dan, te su K indeksi za dan 20.04. prijavljeni kao da nedostaju (-1, vidi Tablicu 2.5).



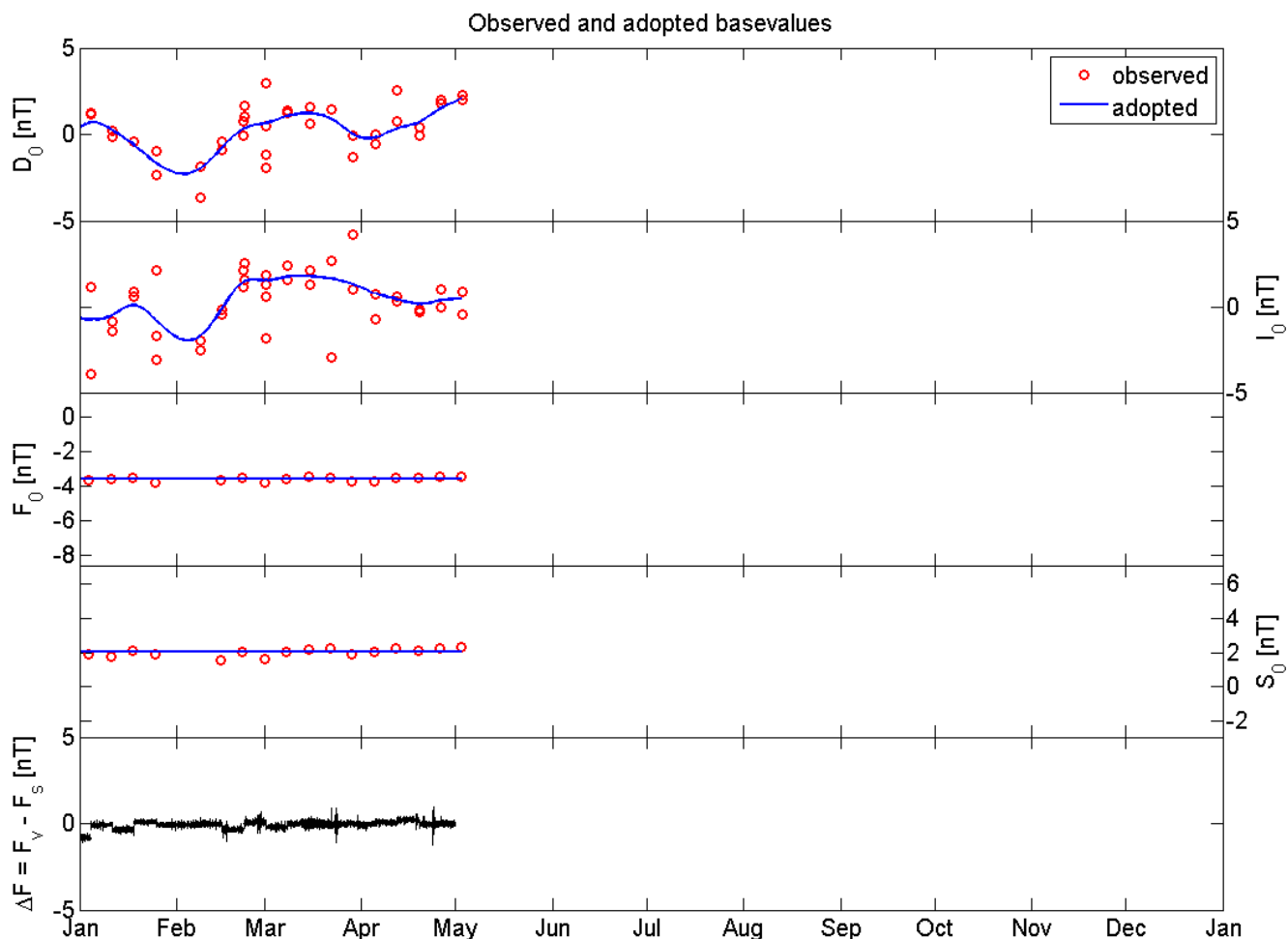
Slika 2.1 – Kašnjenje u dostupnosti podataka u realnom vremenu, travanj 2023.

Tablica 2.1. – Dostupnost kvazi-definitivnih podataka

Dan	Broj dostupnih kvazi-definitivnih podataka	Broj nedostajućih	Postotak dostupnih podataka
1	1440	0	100%
2	1440	0	100%
3	1440	0	100%
4	1440	0	100%
5	1440	0	100%
6	1440	0	100%
7	1440	0	100%
8	1440	0	100%
9	1440	0	100%
10	1440	0	100%
11	1440	0	100%
12	1440	0	100%
13	1440	0	100%
14	1440	0	100%
15	1440	0	100%
16	1440	0	100%
17	1439	1	99.9%
18	1440	0	100%
19	1440	0	100%
20	1337	103	92.8%
21	1440	0	100%
22	1440	0	100%
23	1440	0	100%
24	1439	1	99.9%
25	1440	0	100%
26	1415	25	98.3%
27	1439	0	100%
28	1440	0	100%
29	1440	0	100%
30	1440	0	100%

## 2.2. Apsolutna mjerenja i kalibracijske vrijednosti

Motrene kalibracijske vrijednosti (*engl. basevalues*) za DIDD variometar, dobivene iz apsolutnih motrenja prikazane su na Slici 2.2 (kružići), a numeričke vrijednosti u Tablici 2.2. U svrhu jasnijeg vizualnog prikaza, kalibracijske vrijednosti za  $D$  i  $I$  na Slici 2.2, centrirane su i prikazane u nanoTeslama. Raspon ordinate na svih 5 dijagrama Slike 2.2 iznosi 10 nT. Izmjerene kalibracijske vrijednosti  $F_0$  predstavljaju srednju vrijednost razlike mjerena  $F$  na A-pilaru skalarnim magnetometrom GSM-19F (10-15ak minuta nakon apsolutnih DI-motrenja) i simultanog mjerenja  $F$  DIDD magnetometrom na lokaciji V-pilara. Iz mjerenja  $F$  na A-pilaru također su određene kalibracijske vrijednosti  $S_0$  za skalarni magnetometar GSM-19. Generalno, u LON opservatoriju stabilnost kalibracijskih vrijednosti  $F_0$  i  $S_0$  puno je veća nego kod komponenti smjera  $D_0$  i  $I_0$ . Posljednji  $\Delta F$  dijagram prikazuje razliku minutnih podataka vektorskog i skalarnog  $F$ . Ukoliko je kalibracijski protokol ispravno obavljen, te su podaci očišćeni od degradacija, tada su  $\Delta F$  vrijednosti približno jednake nuli.



Slika 2.2 – Opažene (*engl. observed*) i prilagođene (*engl. adopted*) kalibracijske vrijednosti za DIDD variometar. Na slici su također prikazani rezultati motrenja s početka svibnja koji su korišteni u izračunu kalibracijskih krivulja za travanj.



Tablica 2.2 – Numeričke vrijednosti kalibracijskih vrijednosti za DIDD variometar dobivene iz apsolutnih motrenja.  $\Delta D$ ,  $\Delta I$ ,  $\Delta F$  su razlike rezultata motrenja i prilagođenih kalibracijskih vrijednosti.  $\Delta \varepsilon$  i  $\Delta OF$  razlike parametara teodolita dobivenih iz motrenja deklinacije i inklinacije. RMS nepouzdanost predstavlja procjenu apsolutne točnosti LON podataka.

2023											
Mjesec	Dan	Theo. Par.		Deklinacija			Inklinacija			Totalno polje	
		$\Delta \varepsilon /''$	$\Delta OF / nT$	$D / ^\circ$	$D / ''$	$\Delta D / ''$	$I / ^\circ$	$I / ''$	$\Delta I / ''$	$F / nT$	$\Delta F / nT$
Jan	4	0,03	0,87	4	36,23	0,10	62	9,01	0,15	-3,67	-0,08
Jan	4	-0,02	0,12	4	36,24	0,11	62	8,65	-0,21	-3,67	-0,08
Jan	11	0,04	-1,64	4	36,03	-0,06	62	8,87	-0,01	-3,56	0,03
Jan	11	0,14	-1,66	4	36,08	-0,01	62	8,83	-0,05	-3,56	0,03
Jan	18	0,07	0,54	4	35,99	0,00	62	8,99	0,07	-3,54	0,05
Jan	18	0,12	-0,21	4	35,99	0,00	62	8,97	0,05	-3,54	0,05
Jan	25	0,03	-0,53	4	35,69	-0,14	62	8,81	0,00	-3,76	-0,17
Jan	25	-0,03	-0,56	4	35,90	0,07	62	8,71	-0,10	-3,76	-0,17
Feb	8	-0,06	0,61	4	35,49	-0,25	62	8,75	-0,04		
Feb	8	0,09	-0,77	4	35,77	0,03	62	8,79	0,00		
Feb	15	0,04	-0,58	4	35,91	-0,04	62	8,92	0,02	-3,68	-0,07
Feb	15	0,01	0,99	4	35,99	0,04	62	8,90	0,00	-3,68	-0,07
Feb	22	-0,01	-0,22	4	36,04	-0,07	62	9,08	0,05	-3,52	0,09
Feb	22	0,08	-0,43	4	36,17	0,06	62	9,01	-0,02	-3,52	0,09
Feb	22	0,12	0,13	4	36,30	0,19	62	9,04	0,01	-3,52	0,09
Feb	22	0,06	0,03	4	36,21	0,10	62	9,11	0,08	-3,52	0,09
Mar	1	-0,09	0,79	4	36,50	0,34	62	9,02	-0,01	-3,78	-0,17
Mar	1	-0,09	-1,06	4	36,12	-0,04	62	8,97	-0,06	-3,78	-0,17
Mar	1	-0,12	0,44	4	35,87	-0,29	62	8,80	-0,23	-3,78	-0,17
Mar	1	-0,17	-1,87	4	35,75	-0,41	62	9,06	0,03	-3,78	-0,17
Mar	8	0,1	-0,56	4	36,24	0,02	62	9,10	0,06	-3,6	0,01
Mar	8	0,13	-0,66	4	36,26	0,03	62	9,04	0,00	-3,6	0,01
Mar	15	0	0,65	4	36,15	-0,11	62	9,02	-0,03	-3,46	0,15
Mar	15	-0,02	0,73	4	36,29	0,03	62	9,08	0,03	-3,46	0,15
Mar	22	0,13	-0,45	4	36,27	0,05	62	8,72	-0,32	-3,5	0,11
Mar	22	-0,06	1,10	4	36,27	0,05	62	9,12	0,08	-3,5	0,11
Mar	29	0,38	0,99	4	36,04	-0,04	62	9,23	0,21	-3,73	-0,12
Mar	29	0,1	-0,01	4	35,85	-0,23	62	9,00	-0,02	-3,73	-0,12

Tablica 2.1 – Nastavak s prethodne strane.

2023											
Mjesec	Dan	Theo. Par.		Deklinacija			Inklinacija			Totalno polje	
		$\Delta\epsilon/'$	$\Delta OF/nT$	$D/^{\circ}$	$D/'$	$\Delta D/'$	$I/^{\circ}$	$I'$	$dI/'$	$F/nT$	$\Delta F/nT$
Apr	5	-0,01	-1,68	4	35,97	-0,07	62	8,98	0,01	-3,69	-0,11
Apr	5	0,12	0,14	4	36,05	0,01	62	8,88	-0,09	-3,69	-0,11
Apr	12	-0,06	0,78	4	36,44	0,33	62	8,97	0,02	-3,49	0,09
Apr	12	0,03	0,44	4	36,17	0,06	62	8,95	0,00	-3,49	0,09
Apr	19	0,01	-0,47	4	36,11	-0,06	62	8,91	-0,02	-3,5	0,08
Apr	19	0,04	-0,75	4	36,04	-0,13	62	8,92	-0,01	-3,5	0,08
Apr	26	0,12	0,45	4	36,32	0,03	62	8,93	-0,01	-3,46	0,12
Apr	26	0,14	-0,45	4	36,36	0,07	62	9,00	0,06	-3,46	0,12
May	3	0,1	0,77	4	36,36	-0,02	62	8,99	0,04	-3,41	0,17
May	3	-0,06	0,76	4	36,40	0,02	62	8,90	-0,05	-3,41	0,17
RMS						0,14			0,1		0,1

Na temelju vrijednosti iz Tablice 2.2 (i Slike 2.2) moguće je procijeniti apsolutnu točnost kalibriranih podataka, odnosno nepouzdanost mjerenja. Kao mjeru nepouzdanosti koristili smo srednje kvadratno odstupanje (RMS, *engl. root mean square*) motrenih kalibracijskih vrijednosti od prilagođenih. Dodatno, razlike parametara teodolita dobivenih neovisno iz motrenja deklinacije i inklinacije  $\Delta\epsilon$  i  $\Delta OF$  prikazane su također za svaki set mjerenja. Parametar  $\epsilon$  predstavlja neslaganje optičke osi teodolita i osi senzora u vertikalnoj ravnini.  $OF$  predstavlja tzv. „offset“ elektronike (za detalje pogledajte Mandić 2017). Konverzijom kutne RMS, u mjeru intenziteta dobiva se procjena od 0.9 nT RMS za  $D$ , te 0.9 nT RMS za  $I$ . U kontekstu elemenata intenziteta mjerenih u geografskom koordinatnom sustavu, procijenjene nepouzdanosti iznose 0.8 nT RMS za  $X$ , 0.8 nT RMS za  $Y$  i 0.5 nT RMS za  $Z$ . Procjena apsolutne preciznosti LON podataka je unutar INTRMAGNET standarda od 5 nT.

**2.3. Tablični i grafički rezultati geomagnetskih mjerenja u Opservatoriju**

WGS-84 koordinate: 45° 24' 29" N, 16° 39' 33" E  
 Geomagnetske koordinate: 45° 32' 59" N, 98° 43' 12" E (prema IGRF13)  
 Nadmorska visina: 95 m

Tablica 2.3 – Dnevni srednjaci geomagnetskih elemenata. Minimalne vrijednosti u mjesecu označene su plavom bojom, a maksimalne crvenom bojom.

Dan	Geomagnetski elementi						
	I/° ' "	D/° ' "	H/nT	X/nT	Y/nT	Z/nT	F/nT
1	62 15,29	4 46,80	22438,4	22360,4	1869,8	42657,3	48198,8
2	62 15,22	4 46,84	22437,0	22358,9	1869,9	42652,3	48193,7
3	62 15,21	4 46,78	22439,1	22361,1	1869,7	42656,0	48198,0
4	62 14,54	4 46,91	22446,9	22368,8	1871,2	42650,8	48197,0
5	62 14,84	4 46,89	22443,5	22365,4	1870,8	42653,4	48197,8
6	62 14,52	4 46,68	22447,6	22369,6	1869,8	42651,3	48197,8
7	62 14,54	4 47,17	22447,1	22368,8	1872,9	42650,9	48197,2
8	62 14,22	4 46,58	22451,3	22373,3	1869,4	42649,3	48197,7
9	62 14,21	4 46,89	22450,3	22372,2	1871,4	42647,4	48195,6
10	62 14,03	4 46,89	22452,7	22374,6	1871,6	42646,4	48195,9
11	62 13,77	4 45,88	22457,2	22379,6	1865,4	42647,0	48198,5
12	62 13,63	4 45,97	22459,2	22381,5	1866,1	42646,5	48198,9
13	62 13,42	4 46,31	22462,3	22384,4	1868,6	42646,2	48200,1
14	62 13,50	4 46,30	22460,8	22383,0	1868,4	42645,9	48199,2
15	62 14,04	4 46,36	22452,7	22374,9	1868,1	42646,9	48196,3
16	62 13,86	4 46,10	22455,1	22377,4	1866,6	42645,7	48196,3
17	62 13,57	4 46,21	22459,5	22381,7	1867,7	42645,4	48198,1
18	62 13,12	4 45,57	22465,9	22388,4	1864,1	42644,1	48199,9
19	62 14,71	4 46,56	22445,2	22367,3	1868,8	42652,7	48197,9
20	62 13,83	4 46,16	22456,3	22378,5	1867,1	42647,0	48198,0
21	62 14,15	4 46,70	22452,0	22374,0	1870,3	42648,6	48197,5
22	62 14,03	4 47,06	22455,0	22376,8	1872,9	42650,8	48200,8
23	62 16,33	4 48,28	22424,2	22345,4	1878,2	42661,5	48195,9
24	62 19,25	4 50,49	22380,3	22300,4	1888,9	42665,9	48179,4
25	62 16,58	4 48,57	22421,3	22342,4	1879,9	42663,6	48196,5
26	62 15,57	4 47,11	22435,9	22357,7	1871,6	42660,9	48200,9
27	62 15,78	4 47,77	22432,4	22353,9	1875,6	42660,6	48199,0
28	62 15,80	4 47,81	22433,0	22354,4	1875,9	42662,2	48200,6
29	62 15,80	4 48,21	22432,6	22353,8	1878,5	42661,5	48199,8
30	62 14,99	4 47,28	22443,9	22365,6	1873,4	42658,5	48202,5
Srednjak	62 14,75	4 46,97	22444,6	22366,5	1871,4	42652,6	48197,5

Tablica 2.4 – Reziduali dnevnih vrijednosti od mjesečnog srednjaka.

Dan	Geomagnetski elementi						
	I/° '	D/° '	H/nT	X/nT	Y/nT	Z/nT	F/nT
1	0 0,56	0 -0,21	-6,5	-6,4	-1,9	4,3	0,8
2	0 0,49	0 -0,18	-8,0	-7,9	-1,8	-0,7	-4,3
3	0 0,47	0 -0,24	-5,9	-5,7	-2,0	3,0	0,0
4	0 -0,19	0 -0,11	1,9	2,0	-0,5	-2,2	-1,0
5	0 0,11	0 -0,12	-1,5	-1,4	-0,9	0,4	-0,3
6	0 -0,22	0 -0,33	2,6	2,8	-1,9	-1,7	-0,2
7	0 -0,20	0 0,15	2,1	2,0	1,2	-2,1	-0,9
8	0 -0,52	0 -0,44	6,3	6,5	-2,3	-3,7	-0,3
9	0 -0,52	0 -0,12	5,3	5,4	-0,3	-5,6	-2,4
10	0 -0,71	0 -0,12	7,8	7,8	-0,1	-6,6	-2,2
11	0 -0,97	0 -1,13	12,2	12,8	-6,3	-6,0	0,4
12	0 -1,11	0 -1,05	14,2	14,7	-5,6	-6,5	0,9
13	0 -1,31	0 -0,70	17,3	17,6	-3,1	-6,8	2,1
14	0 -1,24	0 -0,71	15,9	16,2	-3,3	-7,1	1,1
15	0 -0,69	0 -0,66	7,8	8,1	-3,6	-6,1	-1,7
16	0 -0,88	0 -0,92	10,1	10,6	-5,1	-7,3	-1,7
17	0 -1,17	0 -0,80	14,5	14,9	-4,0	-7,6	0,1
18	0 -1,61	0 -1,44	20,9	21,6	-7,6	-8,9	1,9
19	0 -0,02	0 -0,45	0,2	0,5	-2,9	-0,3	-0,1
20	0 -0,91	0 -0,86	11,3	11,7	-4,6	-6,0	0,0
21	0 -0,59	0 -0,31	7,0	7,2	-1,4	-4,4	-0,6
22	0 -0,71	0 0,05	10,1	10,0	1,2	-2,2	2,8
23	0 1,60	0 1,26	-20,8	-21,4	6,5	8,5	-2,1
24	0 4,52	0 3,48	-64,7	-66,4	17,2	12,9	-18,7
25	0 1,85	0 1,56	-23,6	-24,4	8,2	10,6	-1,6
26	0 0,84	0 0,10	-9,1	-9,1	-0,1	7,9	2,8
27	0 1,05	0 0,76	-12,5	-12,9	3,9	7,6	0,9
28	0 1,07	0 0,80	-12,0	-12,4	4,2	9,2	2,6
29	0 1,07	0 1,20	-12,4	-13,0	6,8	8,5	1,8
30	0 0,25	0 0,27	-1,1	-1,2	1,7	5,5	4,4

Tablica 2.5 – Indeksi geomagnetske aktivnosti, K, SK (suma K), KM (maksimalni K) i AK (dnevni AK indeks u nT).

Travanj 2023											
Dan	K								SK	KM	AK
1	2	1	2	4	3	3	3	4	22	4	22
2	4	3	2	3	3	1	2	3	21	4	21
3	4	1	1	2	3	3	4	3	21	4	21
4	3	3	2	3	2	2	3	3	21	3	21
5	3	1	2	2	3	4	4	3	22	4	22
6	1	1	2	2	2	1	4	2	15	4	15
7	3	2	1	2	2	1	2	3	16	3	16
8	2	2	1	2	2	2	1	3	15	3	15
9	3	2	1	2	2	2	3	3	18	3	18
10	3	3	4	3	2	3	2	2	22	4	22
11	0	1	3	1	2	2	2	1	12	3	12
12	0	0	1	2	1	1	1	1	7	2	7
13	2	1	1	1	1	2	2	3	13	3	13
14	2	1	1	2	2	2	2	3	15	3	15
15	3	1	2	2	2	2	2	3	17	3	17
16	1	1	2	1	2	2	1	2	12	2	12
17	1	2	2	2	1	3	2	2	15	3	15
18	1	1	1	1	4	5	4	3	20	5	20
19	3	1	2	3	3	3	2	1	18	3	18
20	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
21	2	2	2	2	2	3	4	4	21	4	21
22	2	2	1	1	1	2	2	3	14	3	14
23	2	2	1	2	4	4	7	6	28	7	28
24	5	6	5	5	4	3	3	3	34	6	34
25	1	0	2	2	3	3	4	4	19	4	19
26	3	2	2	4	-1	3	3	4	-1	4	20
27	4	4	3	4	3	4	3	3	28	4	28
28	3	3	2	3	3	4	4	3	25	4	25
29	2	2	3	4	4	4	3	3	25	4	25
30	3	2	2	2	2	2	1	2	16	3	16
Srednjak:									19,0	3,7	18,1
Max:									34	7	34
Min:									7	2	7



Tablica 2.6 – Frekvencije K indeksa u trosatnim intervalima; mjesečna suma.

K	UTC vremenski interval								SUM
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	
0	2	2	0	0	0	0	0	0	4
1	5	11	10	5	4	4	4	3	46
2	8	10	14	14	12	10	10	5	83
3	10	4	3	5	8	9	7	16	62
4	3	1	1	4	4	5	7	4	29
5	1	0	1	1	0	1	0	0	4
6	0	1	0	0	0	0	0	1	2
7	0	0	0	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

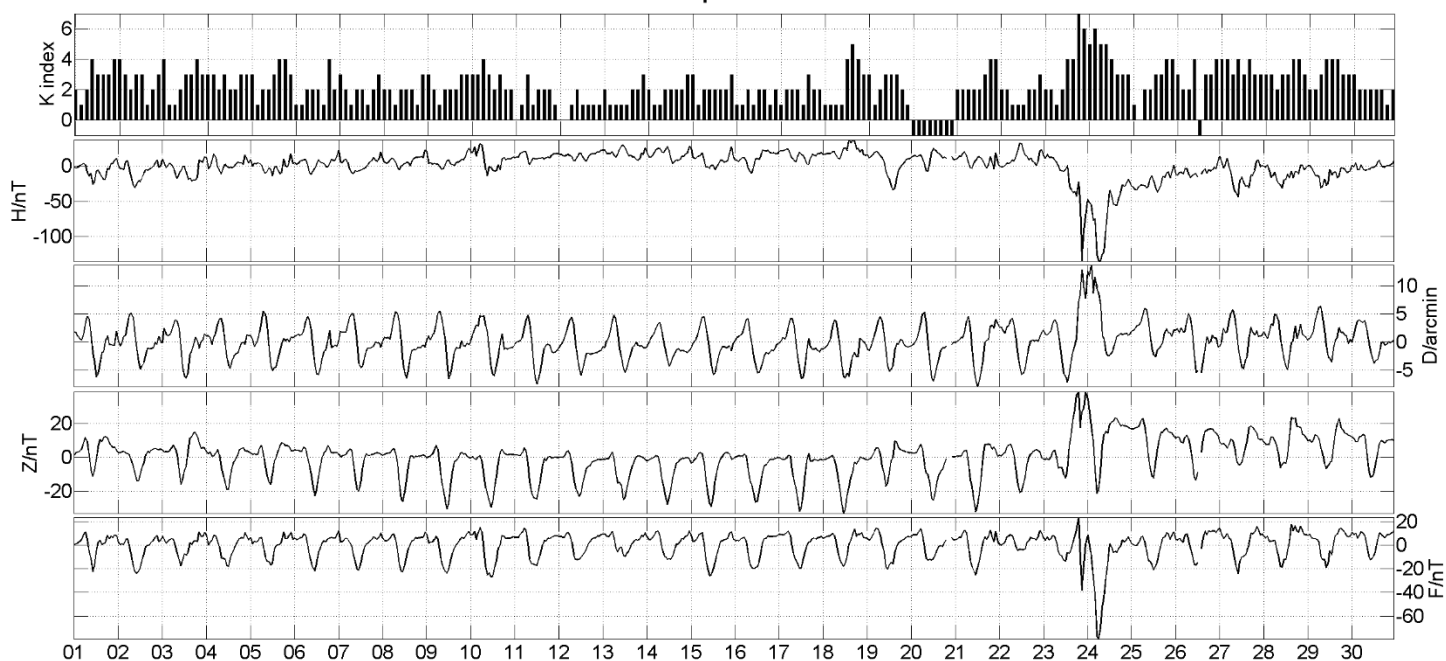
Tablica 2.7 – Mjesečni srednjaci K indeksa u trosatnim intervalima.

	UTC vremenski interval								Srednjak
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	
<b>K (srednjak)</b>	2,3	1,8	1,9	2,4	2,4	2,6	2,8	2,9	2,4

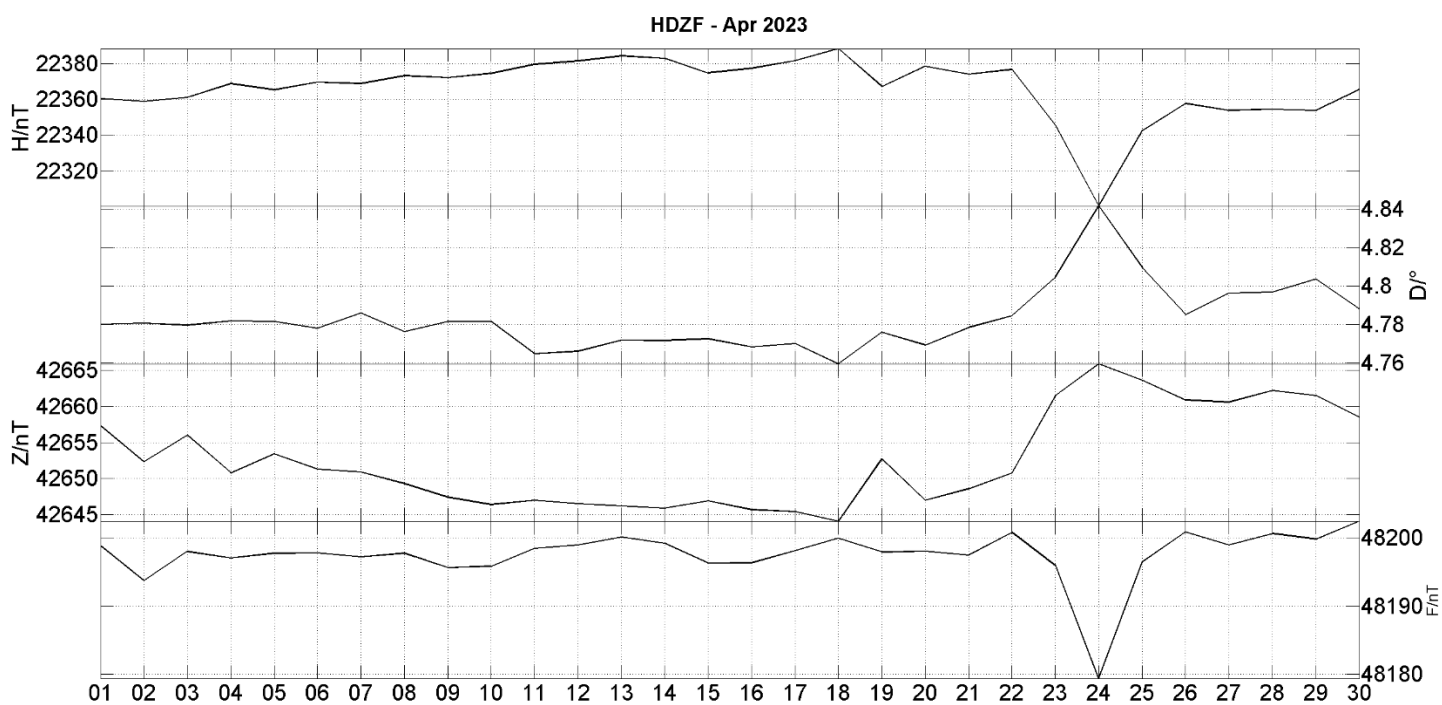
Tablica 2.8 – Frekvencije K indeksa; mjesečna suma.

	K									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Suma</b>	4	46	83	62	29	4	2	1	0	0

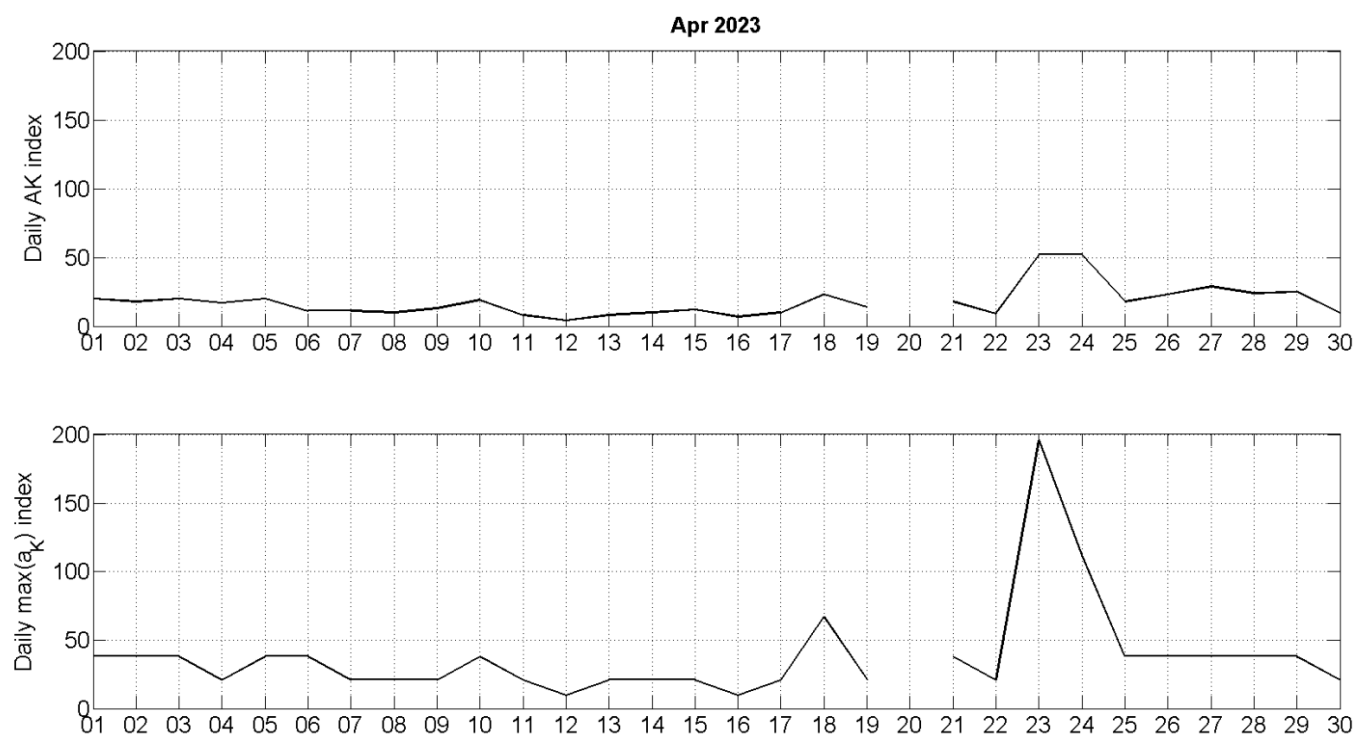
Apr 2023



Slika 2.3 – Trosatni K indeks, varijacije satnih vrijednosti od mjesečnog srednjaka (Tablica 2.3) za H, D, Z, F komponentu.



Slika 2.4 – Dnevni srednjaci  $H$ ,  $D$ ,  $Z$  i  $F$  komponente.



Slika 2.5 – Dnevni AK indeks i maksimalni trosatni  $a_K$  indeks.

## Literatura

- Allredge L.R. (1960), A proposed automatic standard magnetic observatory, *J. Geophys. Res.* **65**, 11, 3777-3786, DOI: 10.1029/JZ065i011p03777
- Bartels, J., N.H. Heck, and H.F. Johnston (1939), The three-hour range index measuring geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.* **44**, 4, 411-454, DOI: 10.1029/TE044i004p00411.
- Csontos, A., Hegymegi, L. and Heilig, B. (2007), Temperature tests on modern magnetometers, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, C-99 (398), 171-177.
- Heilig B., J. Lichtenberger, M. Vellante, J. Reda, T. Rita, P. Sutcliffe, M. Váczyová, D. Herak, M. Neska, L. Merényi, A. Csontos, P. Kovács, M. Srbecky, and I. Mandić (2012), EMMA for near real time Monitoring of the Plasmasphere, *Proceedings of the XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition, and Processing*, San Fernando, Spain, 127-130.
- Heilig B., (2007), Intercalibration of dIdD and Fluxgate Magnetometers, *Publs. Inst. Geophys. Acad. Sc.*, C-99 (398), 2007.
- Iype, A., Deshmukh, A.T. and Veenadhari, B. (2017), Long term drifts in baselines of ground magnetic observatories, *Measurement*, **102**, 33-41.
- Jankowski J. and C. Sucksdorff (1996), *Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*, International association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, USA.
- Lichtenberger, J., M. Clilverd, B. Heilig, M. Vellante, J. Manninen, C. Rodger, A. Collier, A. Jorgensen, J. Reda, R. Holzworth, R. Friedel and M. Simon-Wedlund (2013), The plasmasphere during a space weather event: First results from the PLASMON project, *J. Space Weather Space Clim.*, **3**, A23, DOI:10.1051/swc/2013045.
- Mandić, I., (2017), Quality issues and proposals for improvements in the baseline adaption at geomagnetic observatories, *Doctoral dissertation*. Appendix A, 76-84, (<https://repozitorij.pmf.unizg.hr/islandora/object/pmf:3229>)
- Mandić, I., Vujić, E., Heilig, B., Pelajić, I. and D. Herak (2016), Recent efforts toward the establishment of the Lonjsko Polje geomagnetic observatory, *Acta Geophys.* **64**, 5, 1311-1339, DOI: 10.1515/acgeo-2016-0051.
- Matsushita, S. and W.H., Campbell (1967), *Physic of Geomagnetic Phenomena*, Academic Press, New York and London, USA.
- Menvielle, M., Papitashvili, N., Häkkinen, L. and C. Sucksdorff (1995), Computer production of K-indices: Review and comparison of methods. *Geophys. J. Int.* **123**, 3, 866-886, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1995.tb06895.x
- Merényi L., Heilig B., and L. Szabados (2012), Geomagnetic Data Acquisition System developed for PLASMON project, *Proceedings of the XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition, and Processing*, San Fernando, Spain, 54-56.
- St-Louis B. (2020), Intermagnet Technical Reference Manual (Version 5.0.0).
- Verbanac, G. and E. Vujić (2012), Determination of the Croatian geomagnetic observatory location, *Acta Geophys.* **60**, 2, 337-356, DOI:10.2478/s11600-012-0001-4.

Poveznice:

URL1: <http://www.mingeo.com/prod-magrec4c.html>

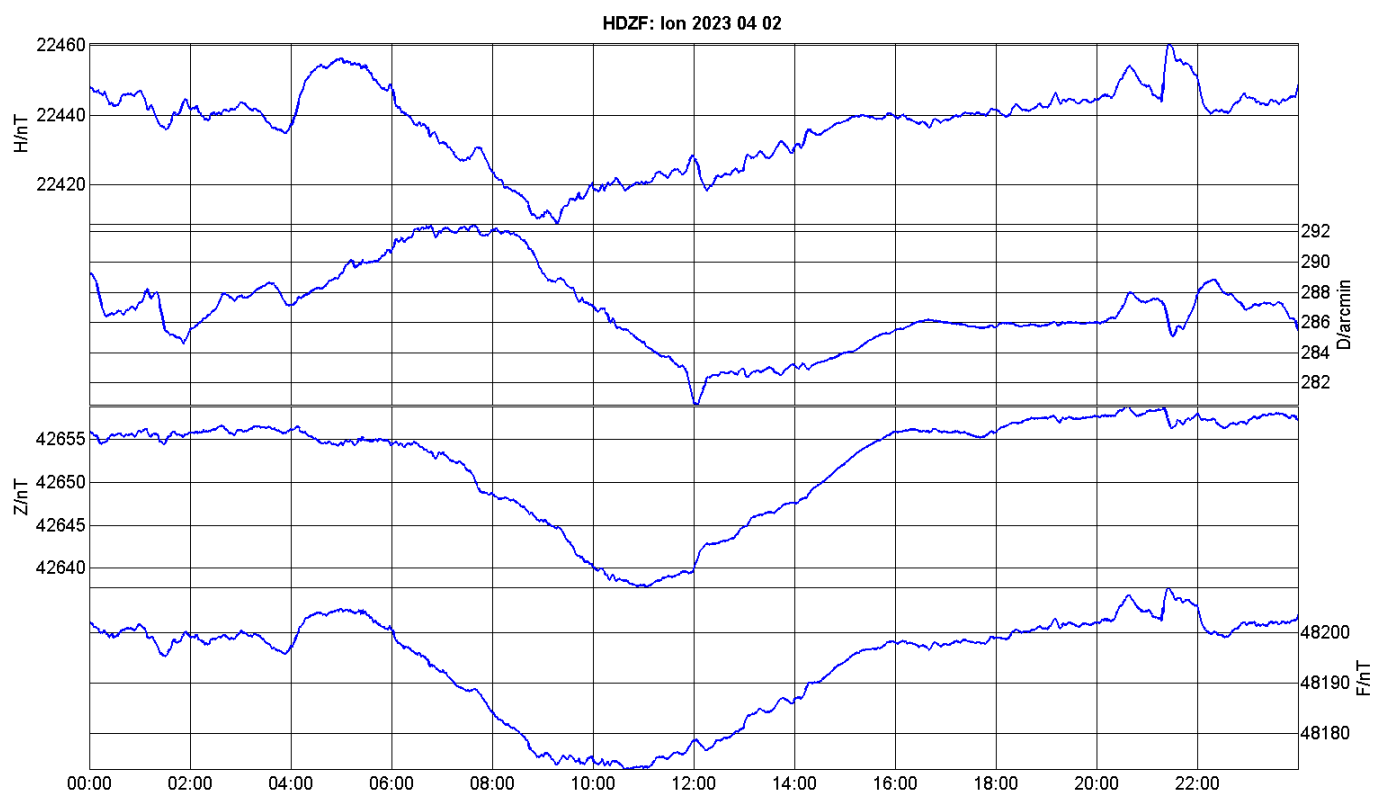
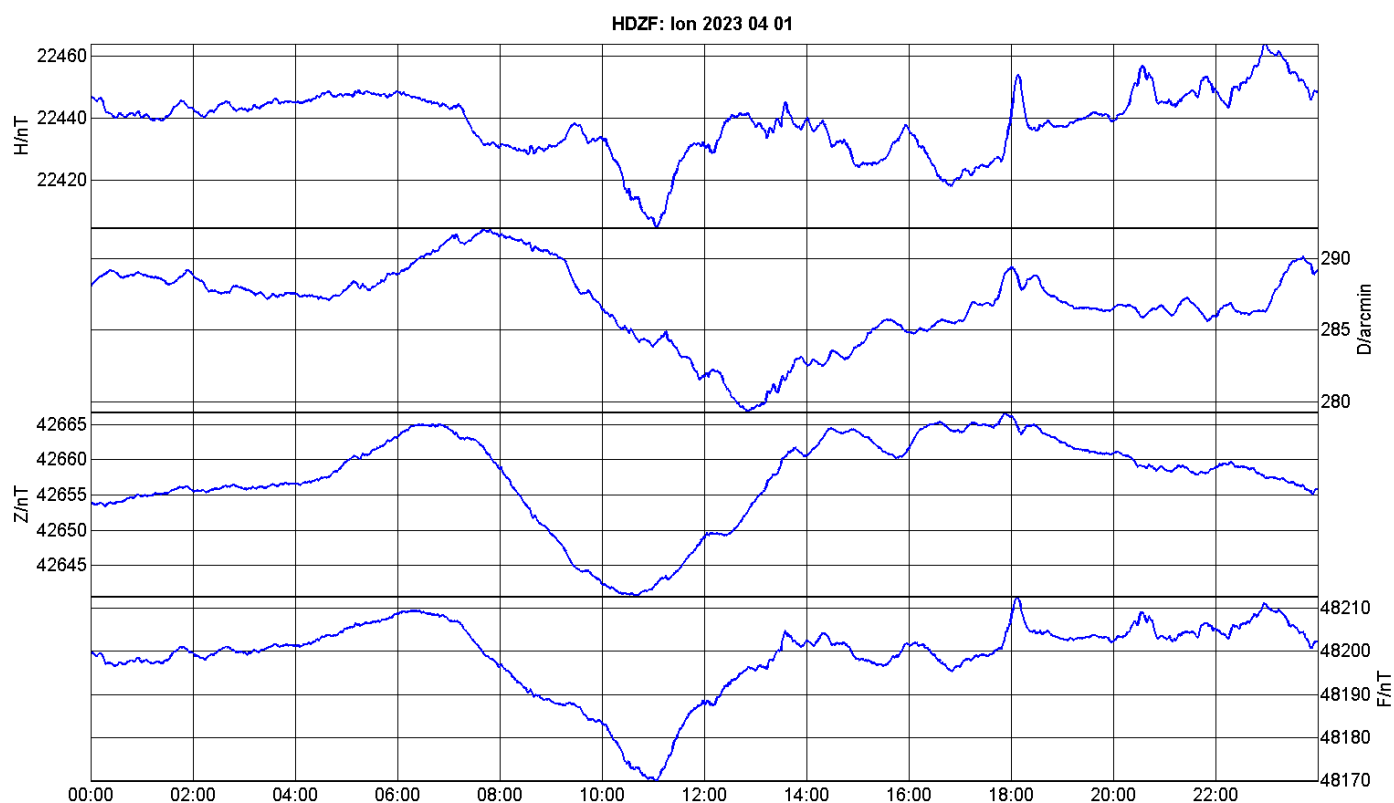
URL2: <https://lemisensors.com/?p=163>

URL3: <https://www.isr.lviv.ua/lemi035.htm>

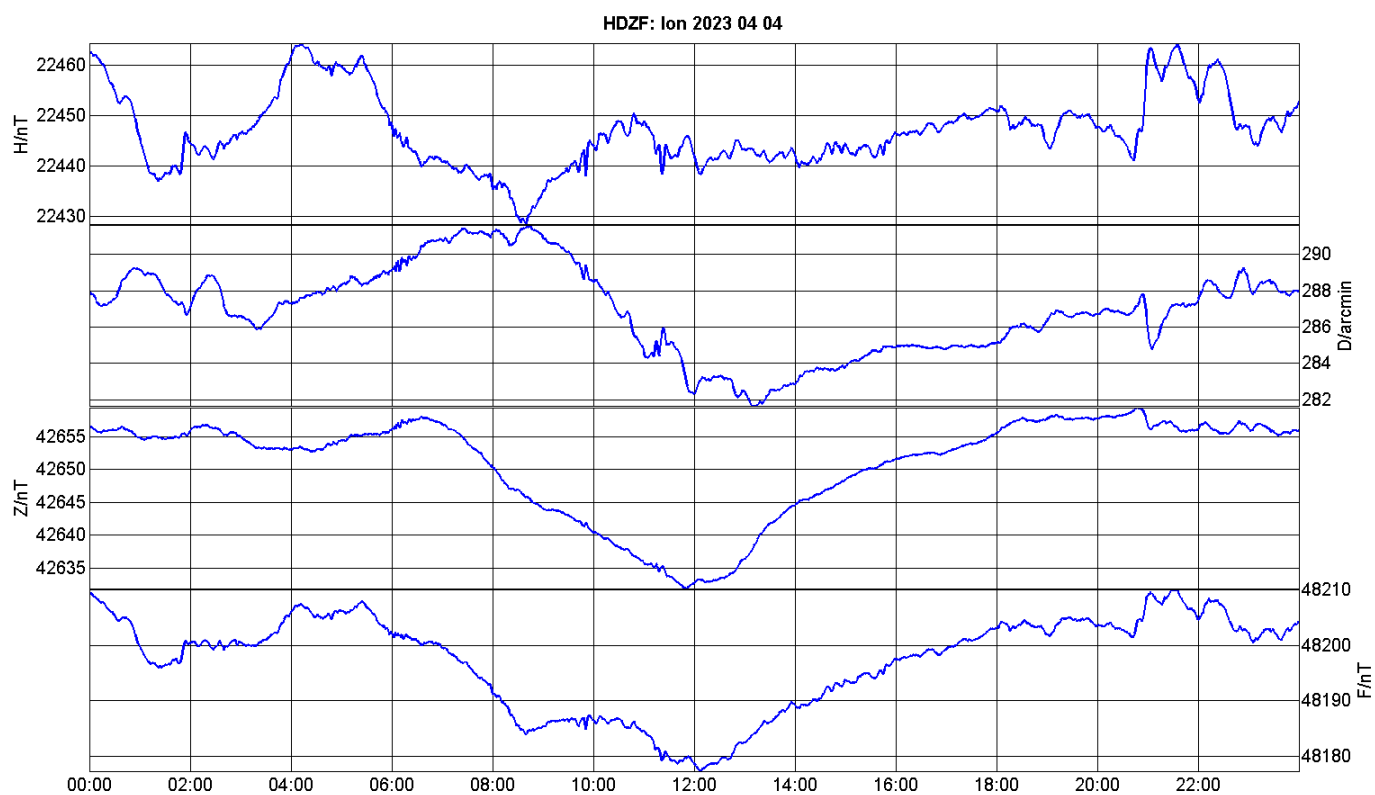
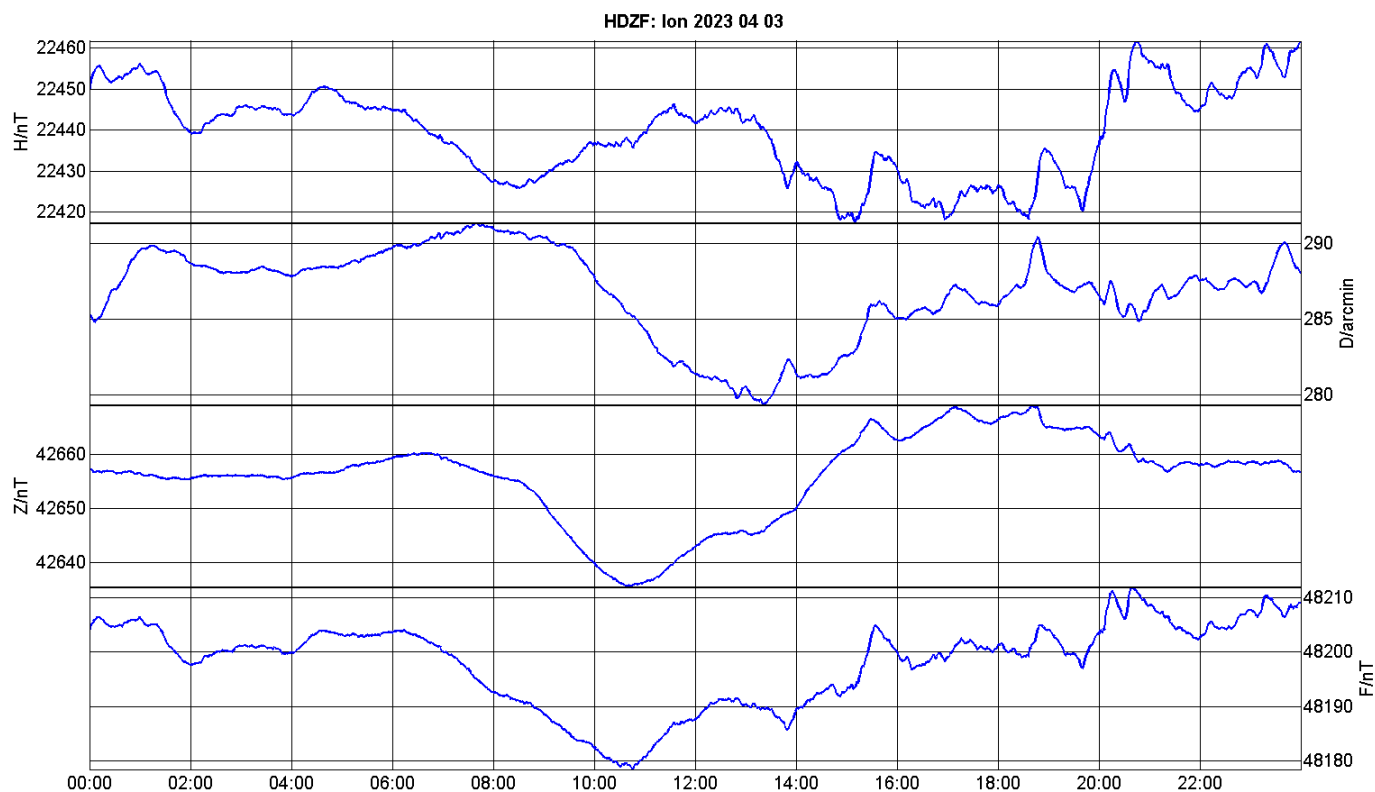
URL4: <http://www.mingeo.com/prod-cable10.html>

URL5: <https://www.gemsys.ca/rugged-overhauser-magnetometer/>

### 3. DODATAK – DNEVNI (MINUTNI) MAGNETOGRAMI U PERIODU OD 01.04.-31.04. 2023.

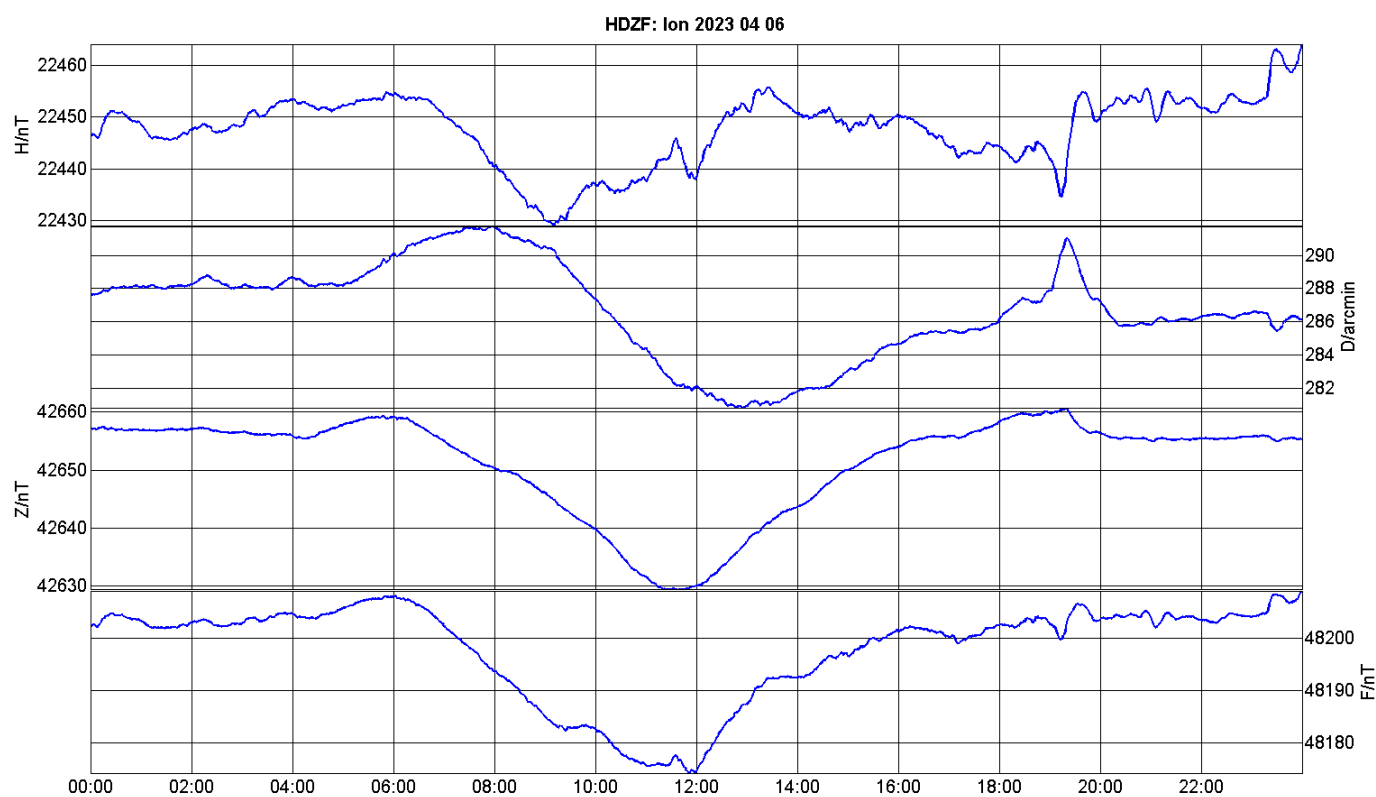
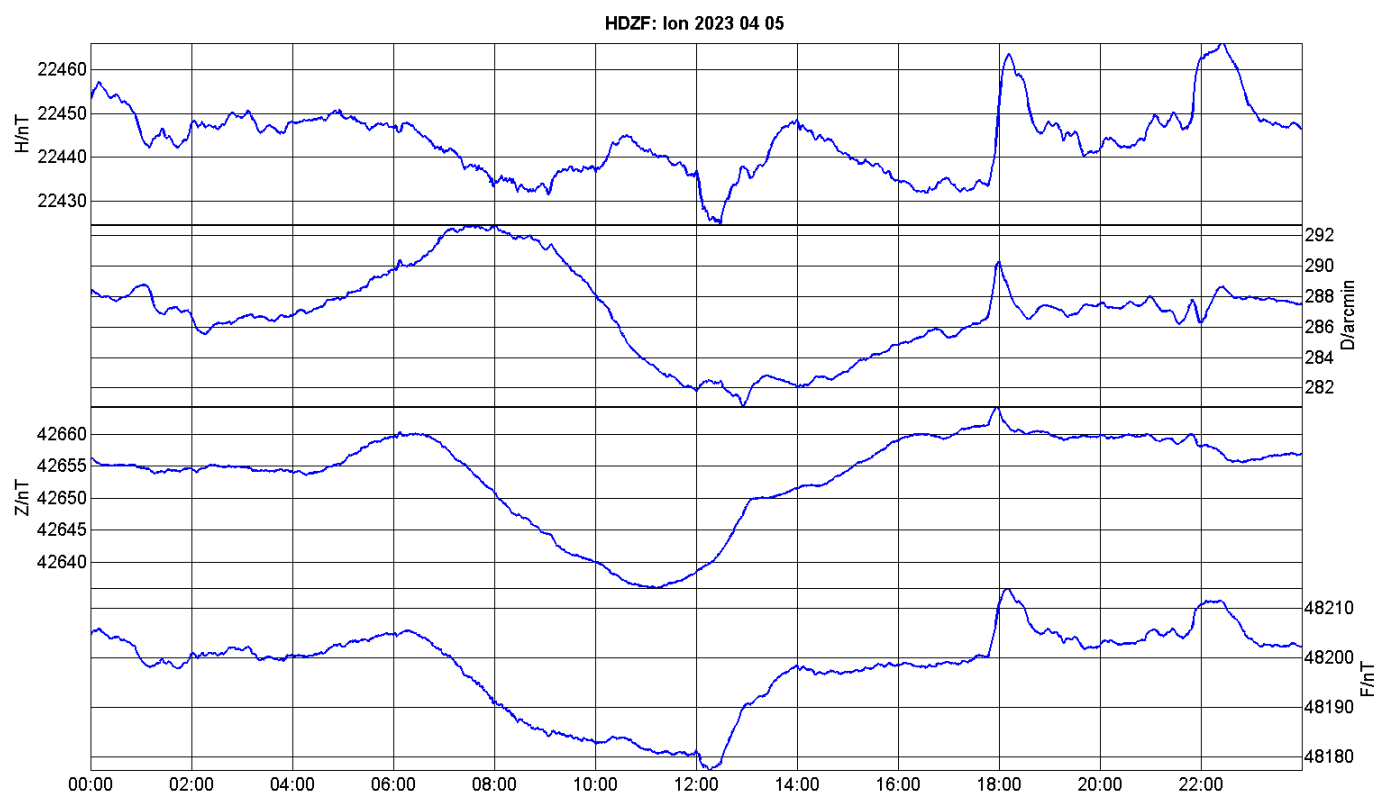


# GMO Lonjsko polje – travanj 2023.

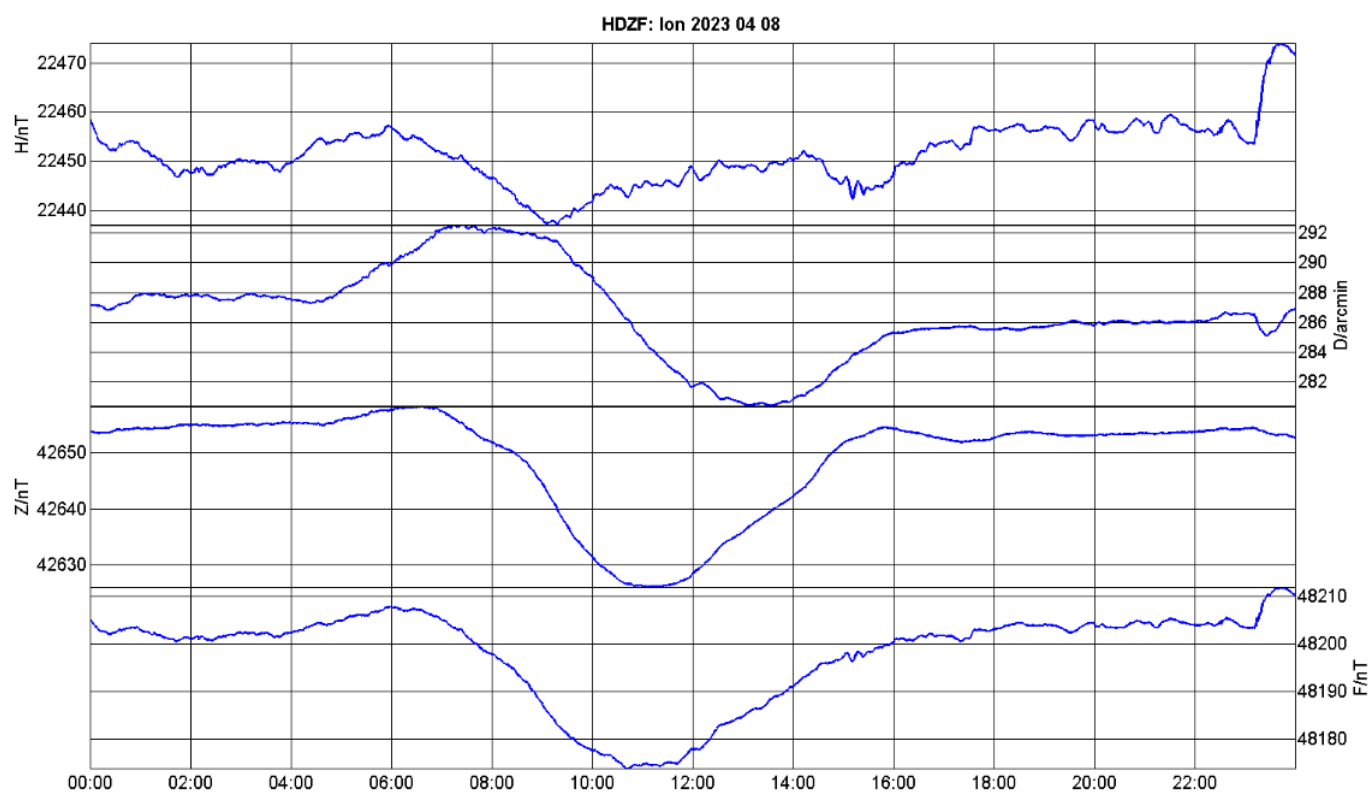
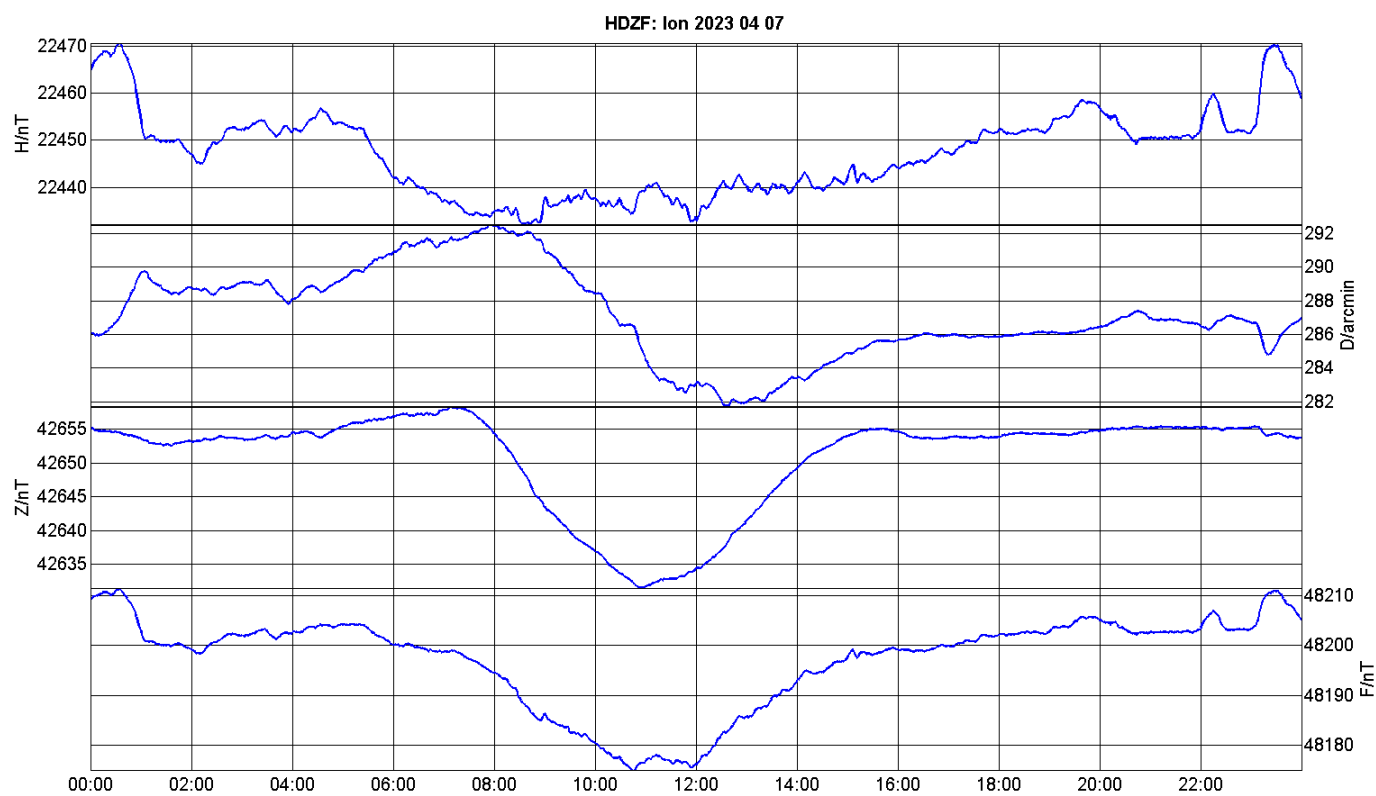




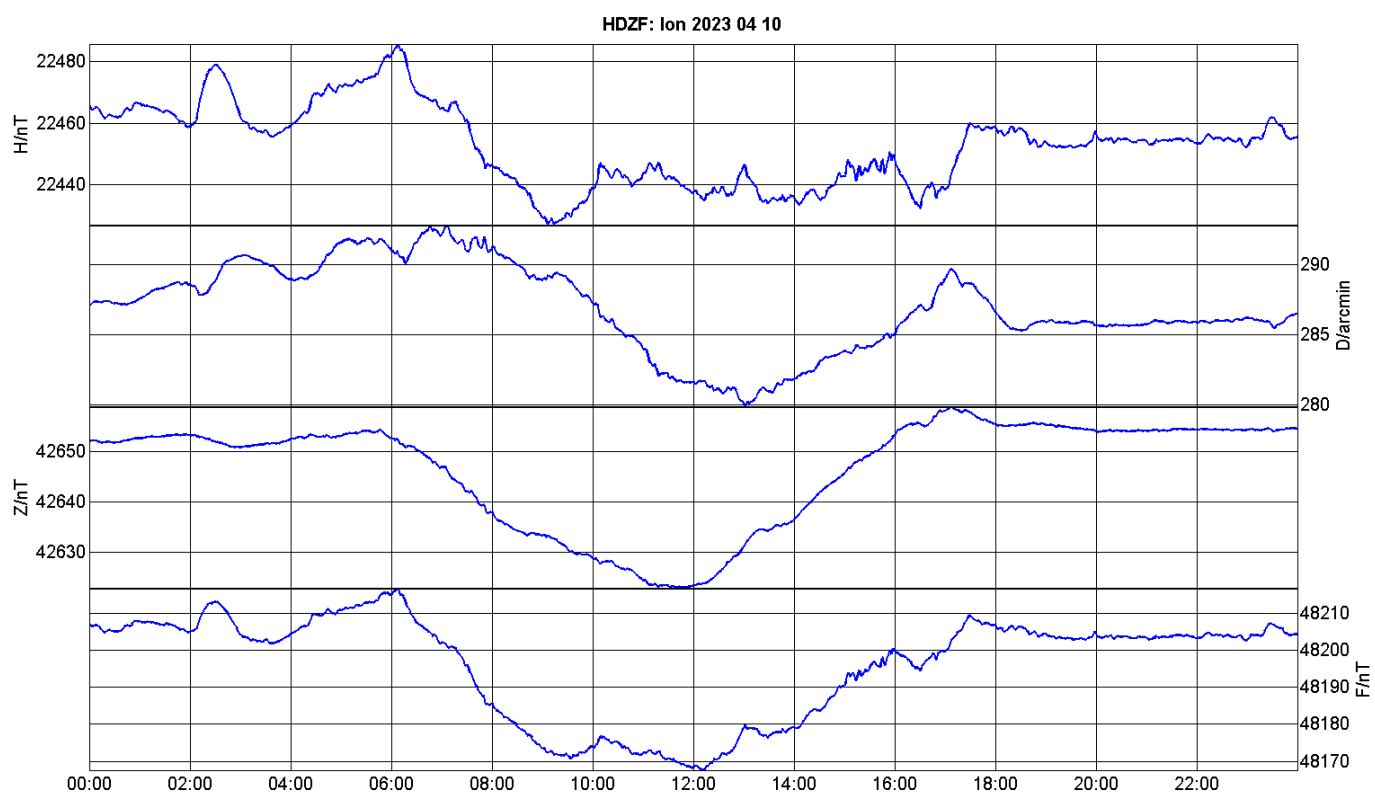
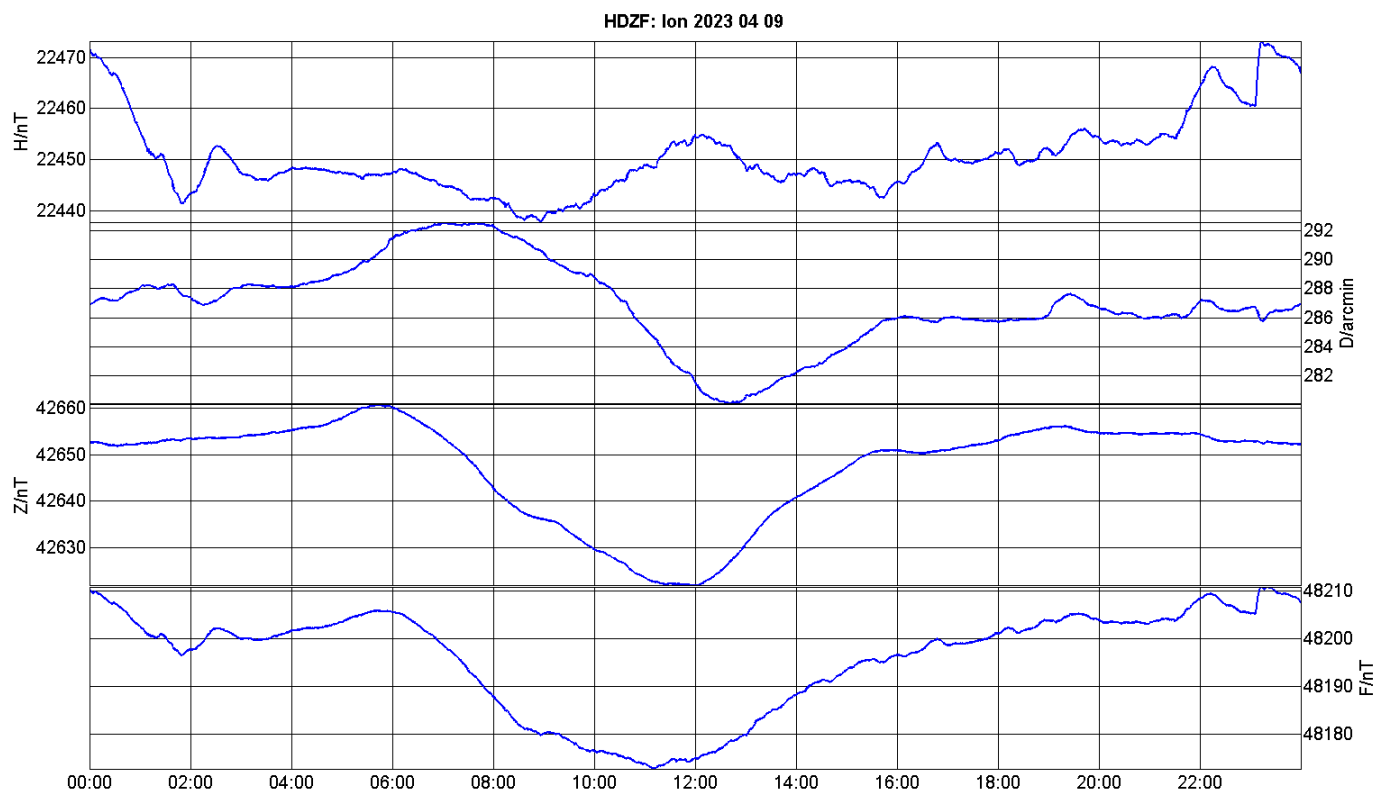
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



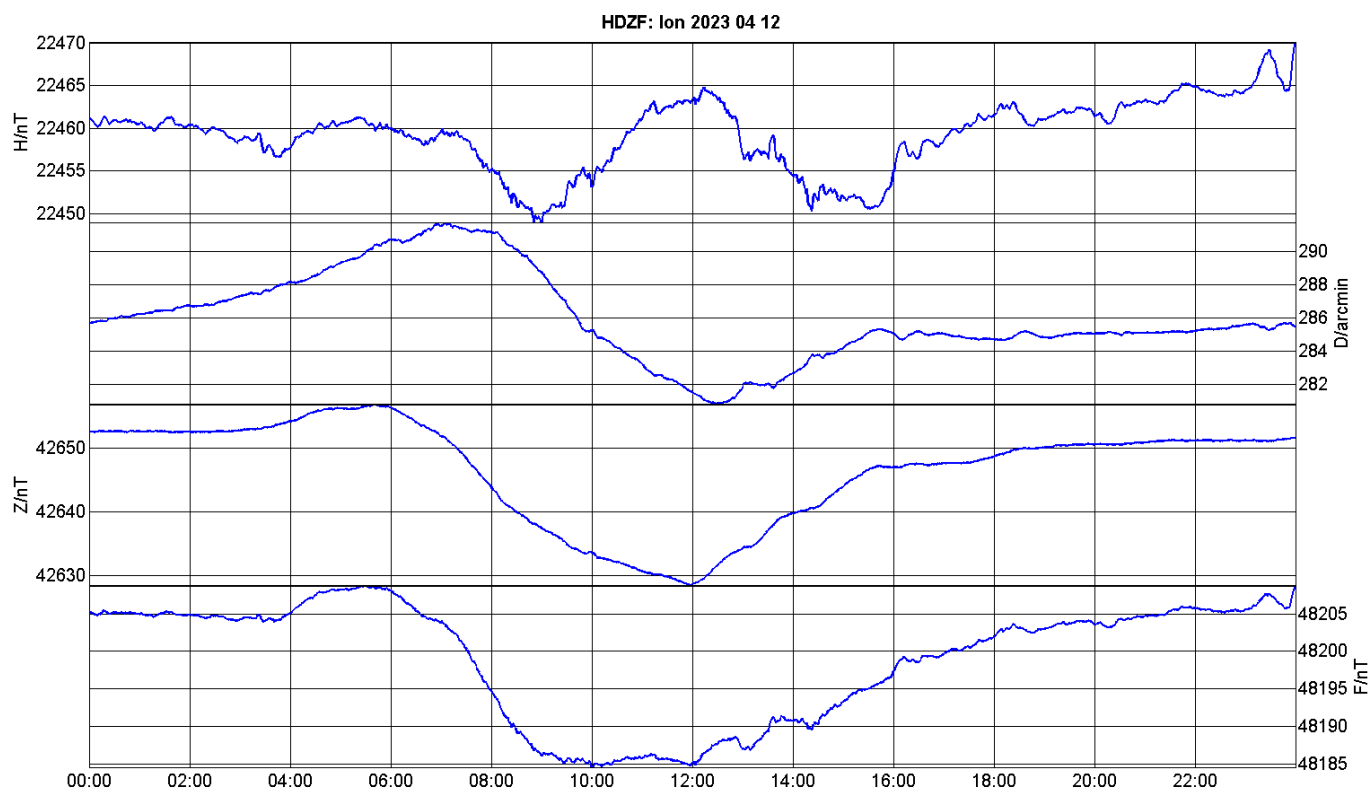
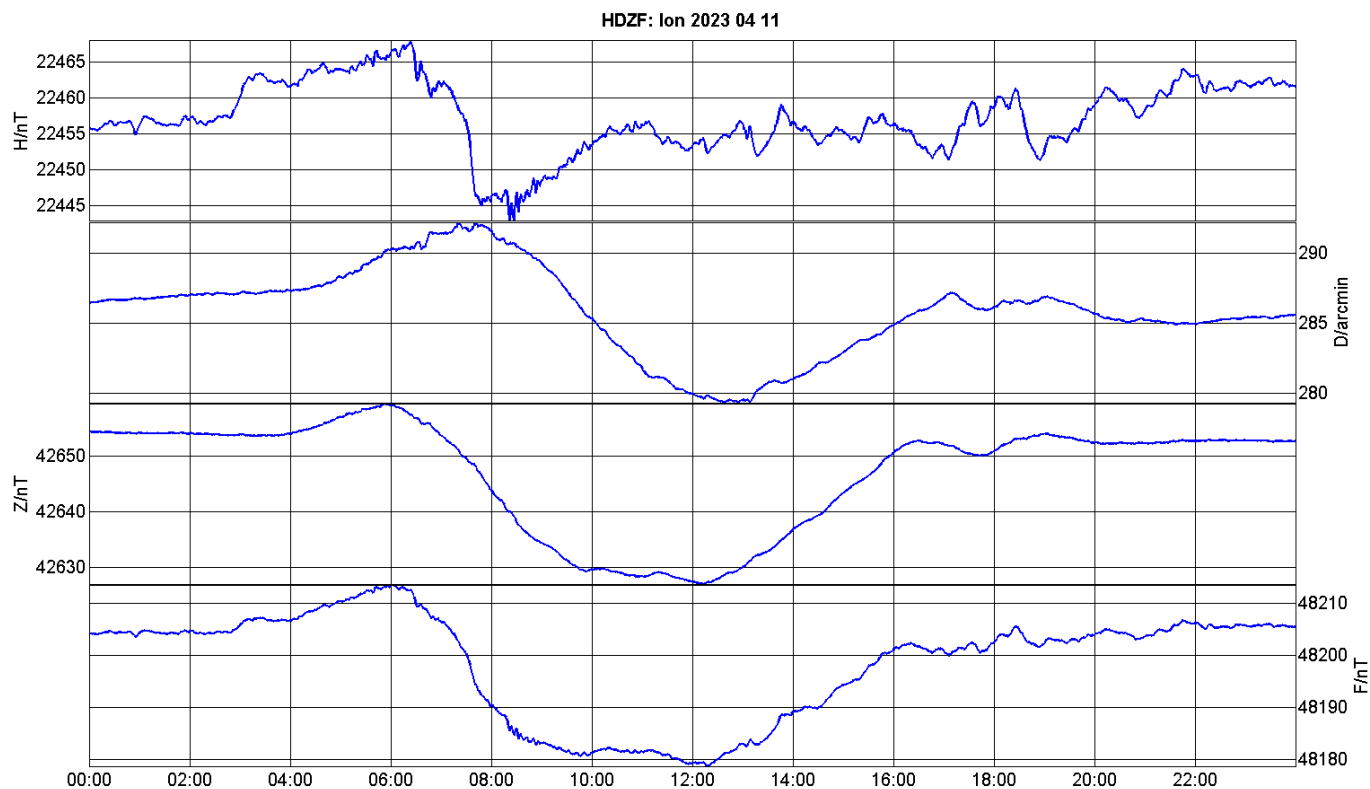
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



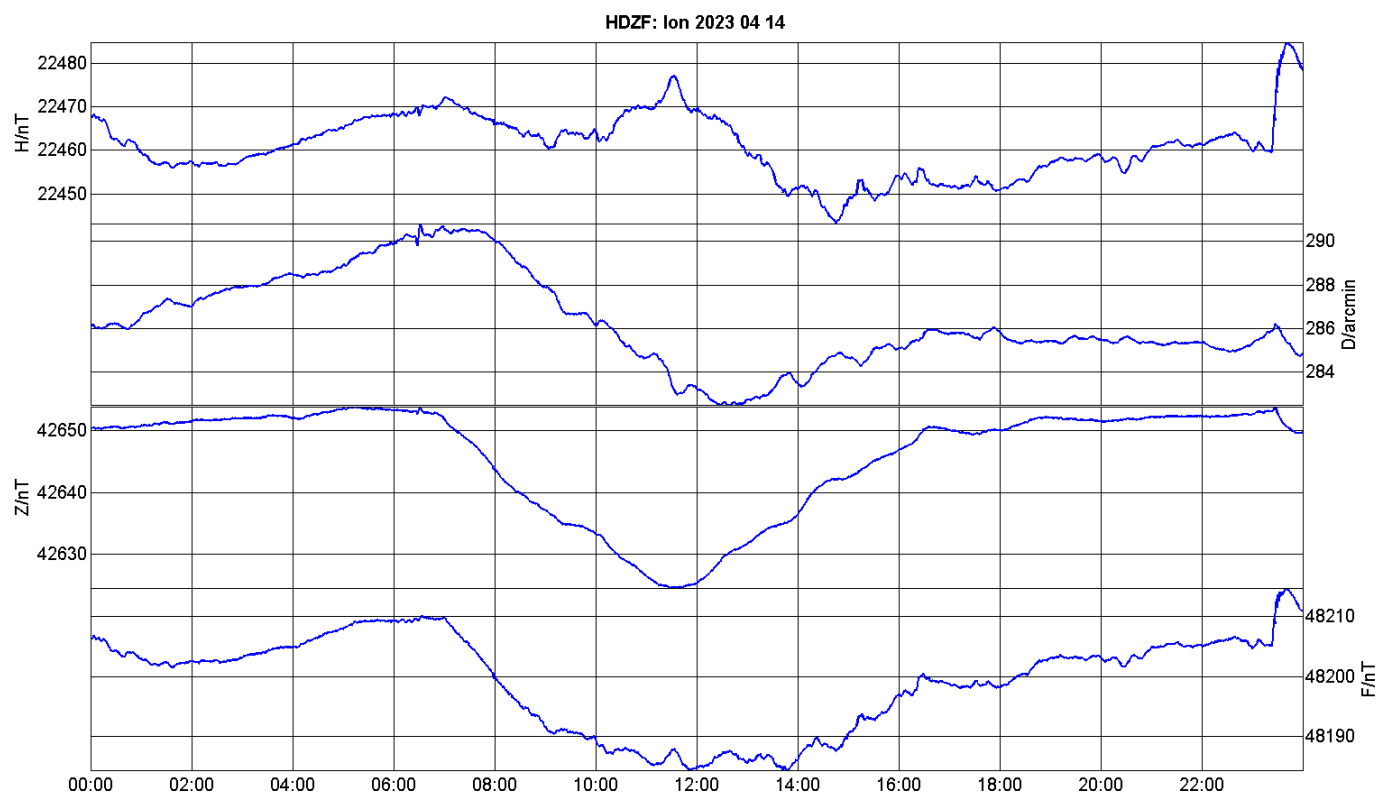
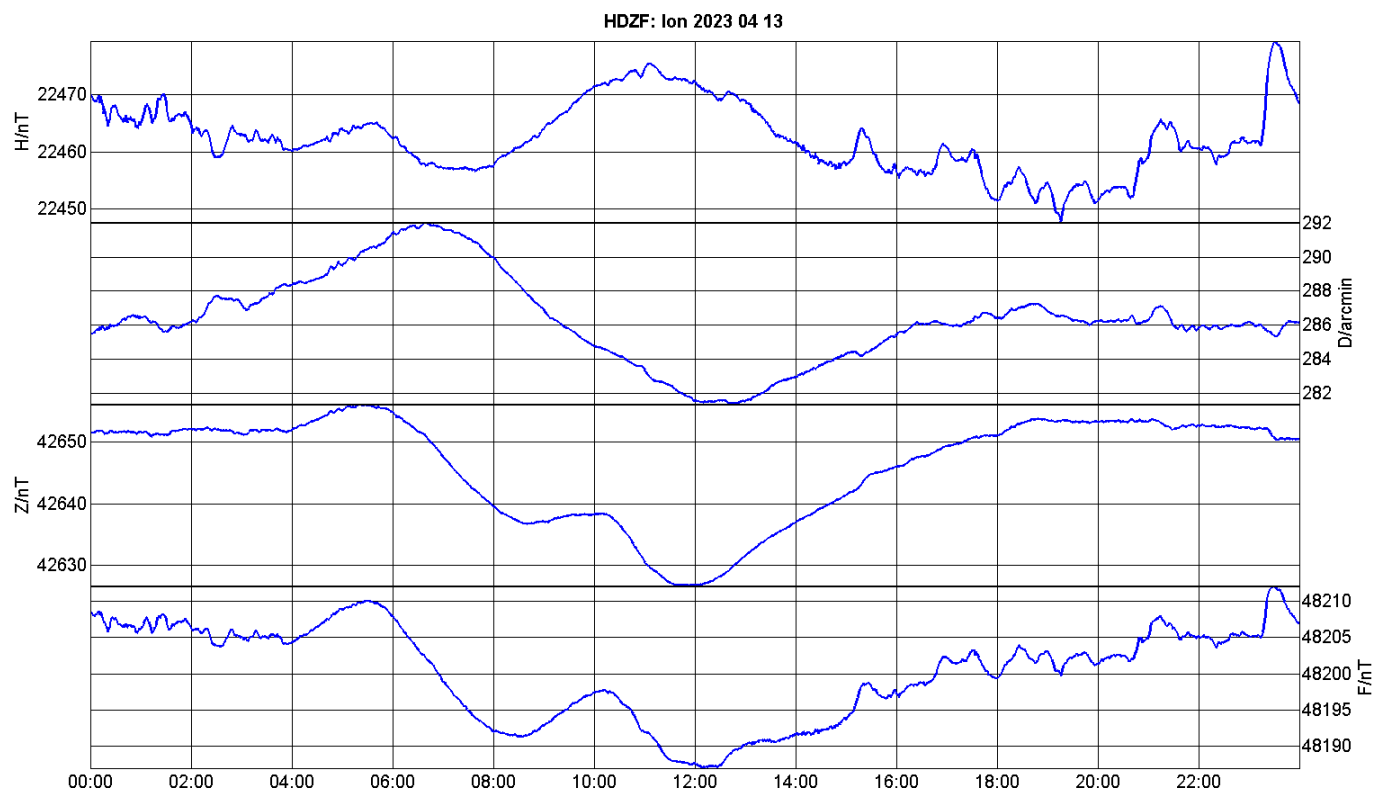
# GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



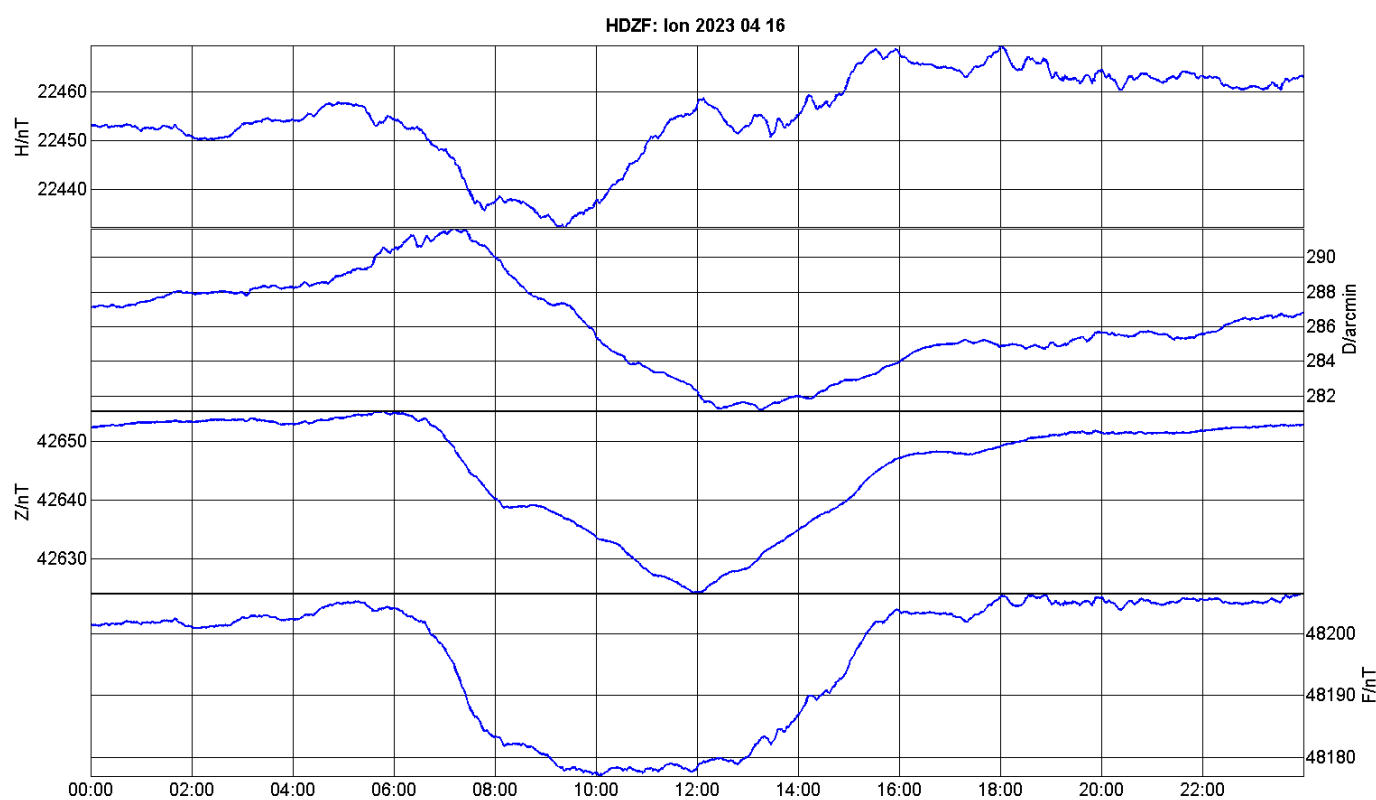
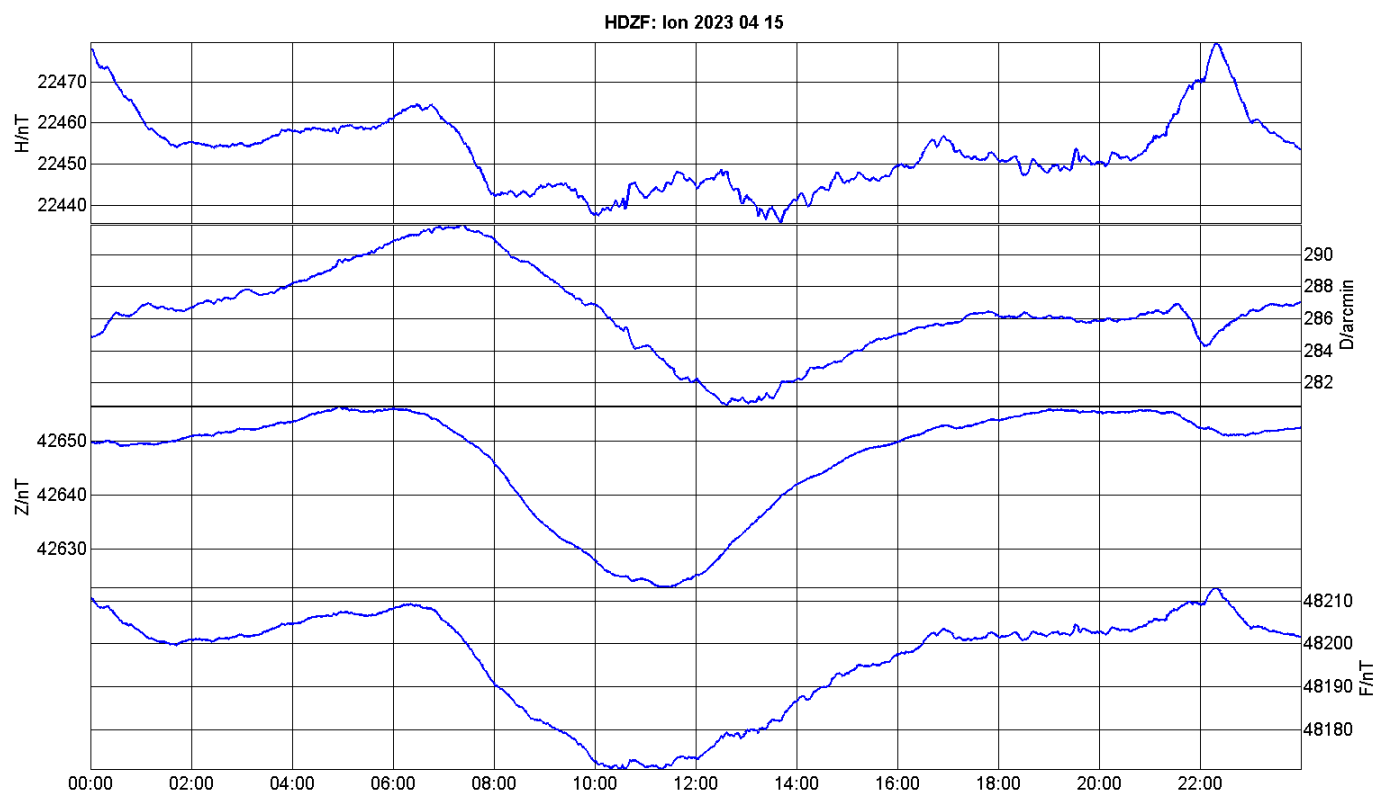
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



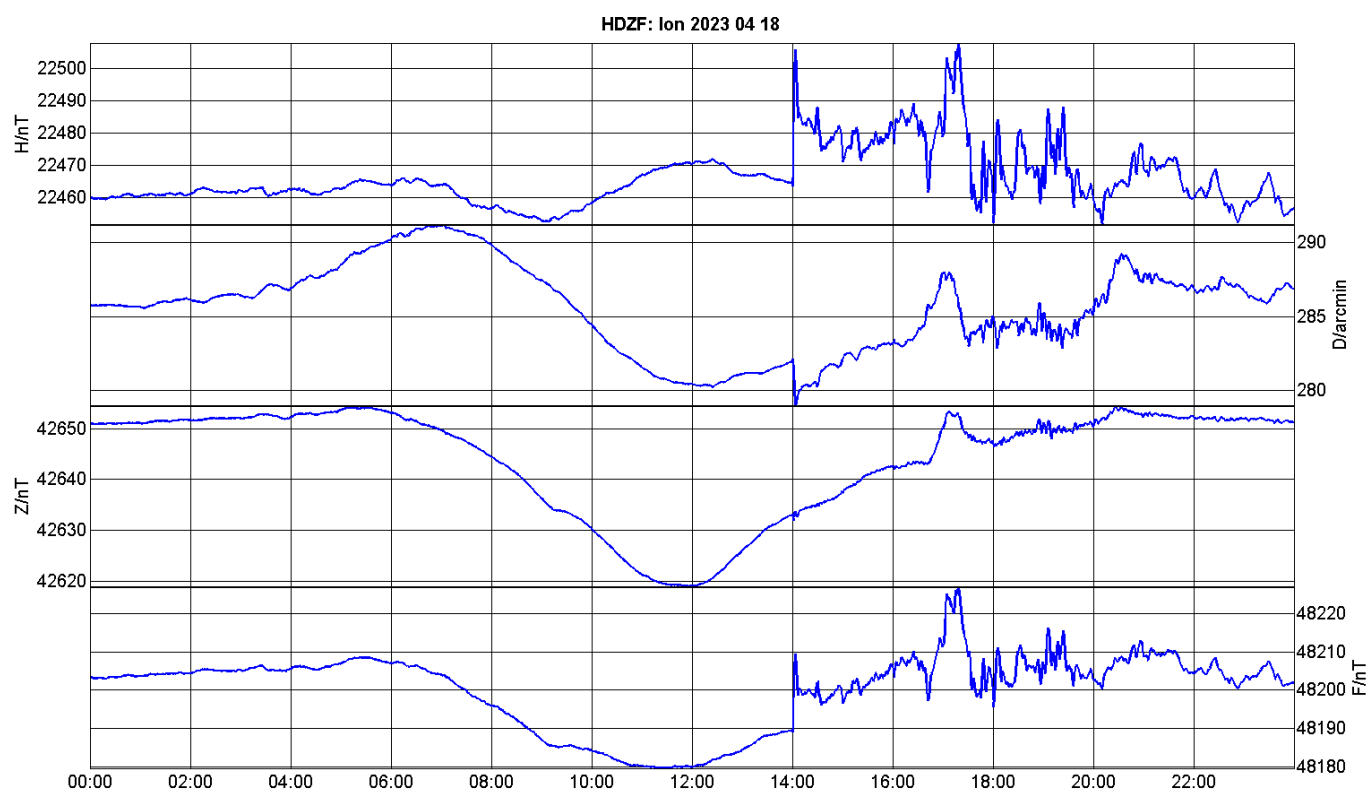
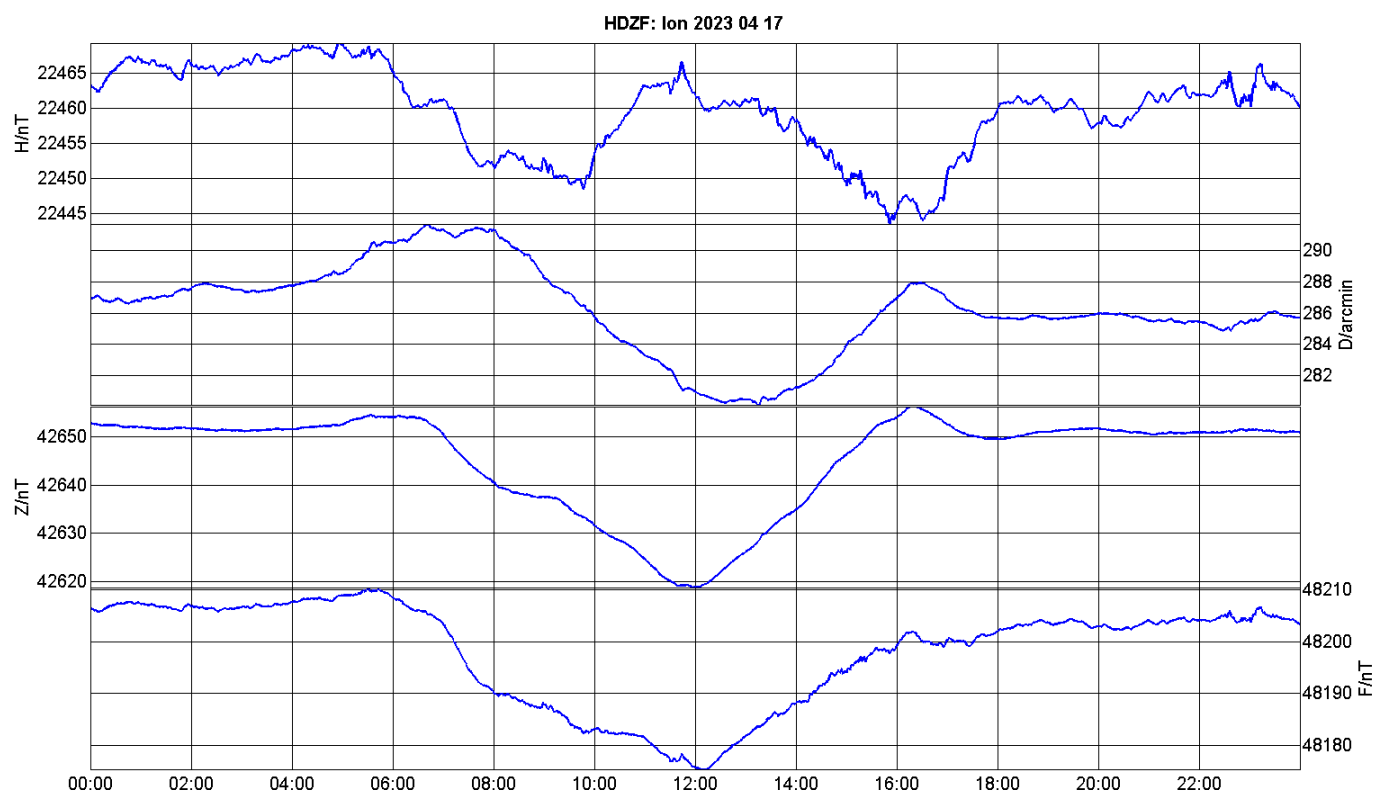
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



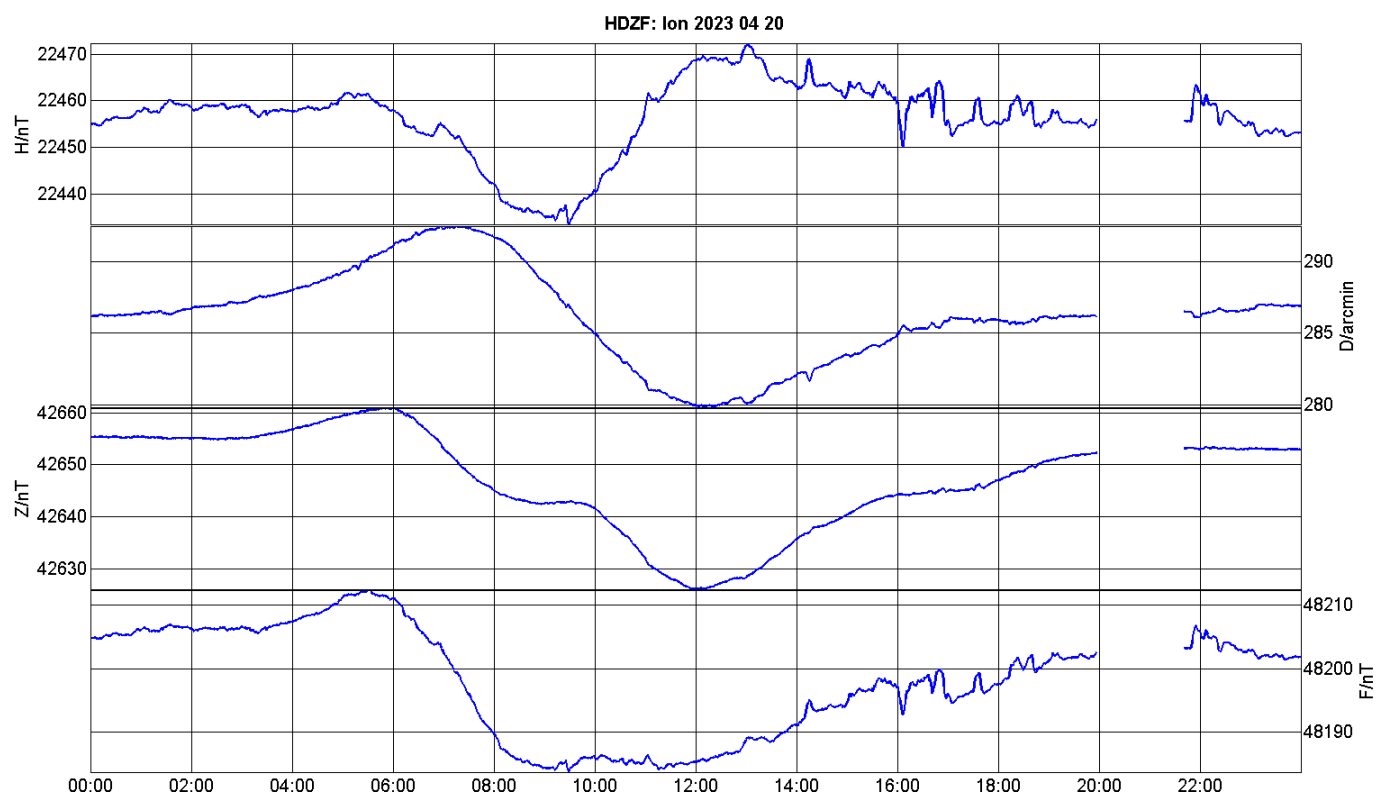
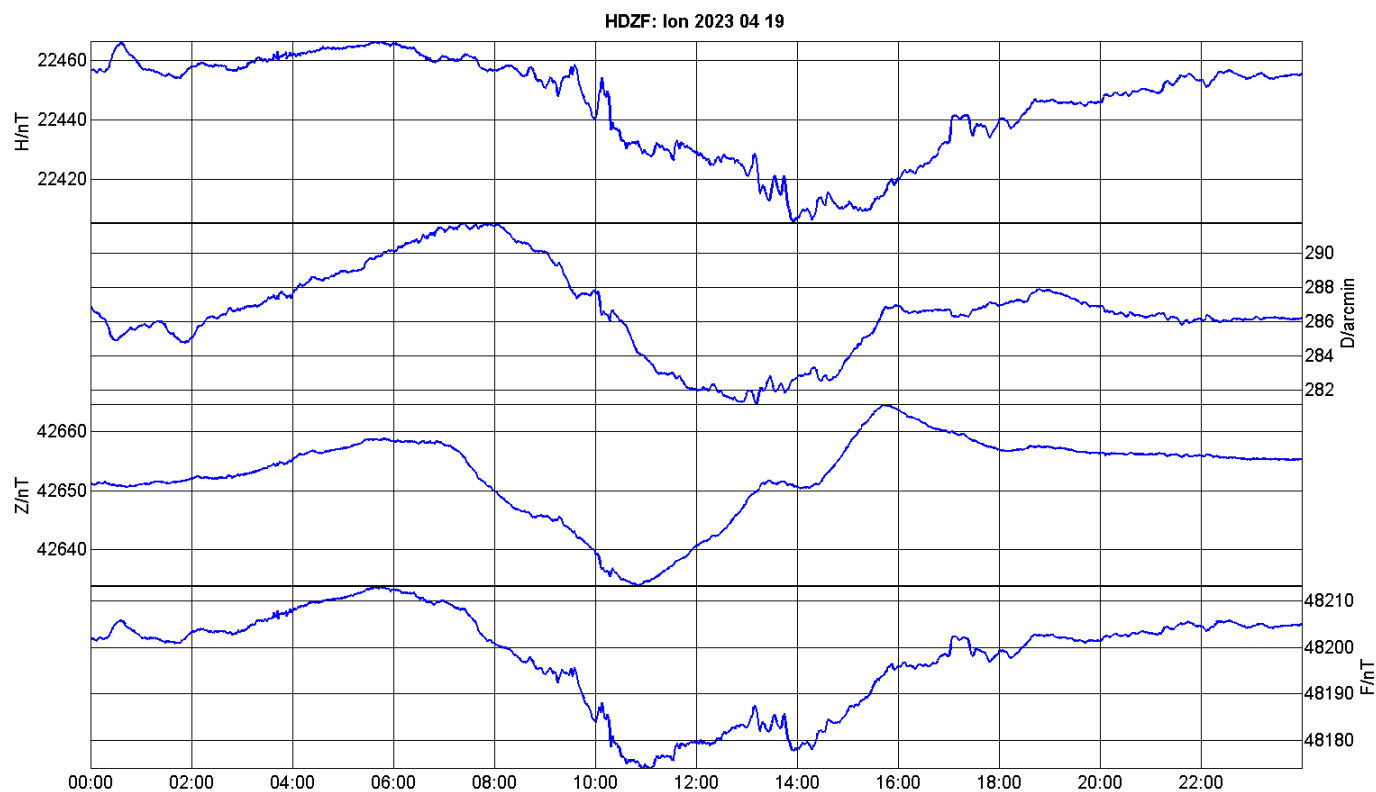
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



# GMO Lonjsko polje – travanj 2023.

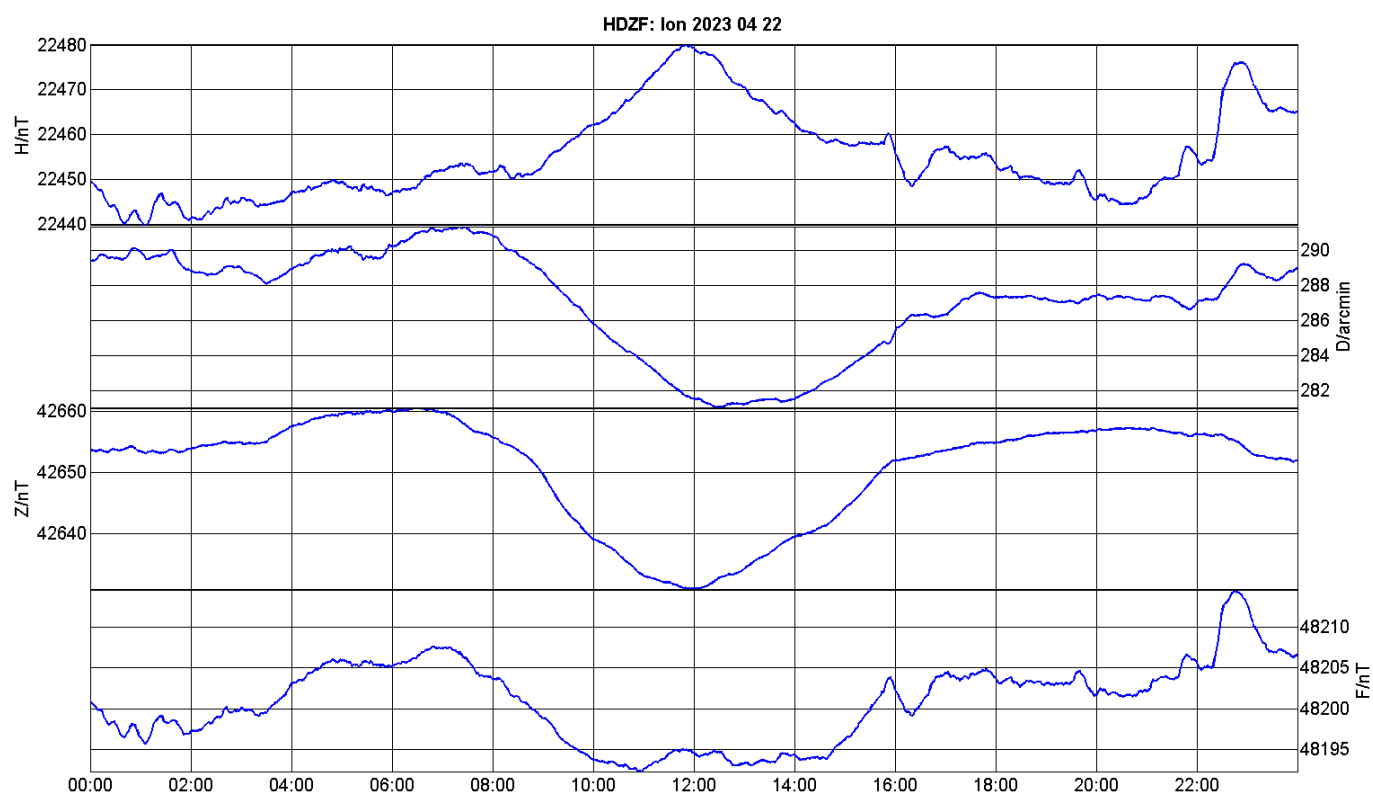
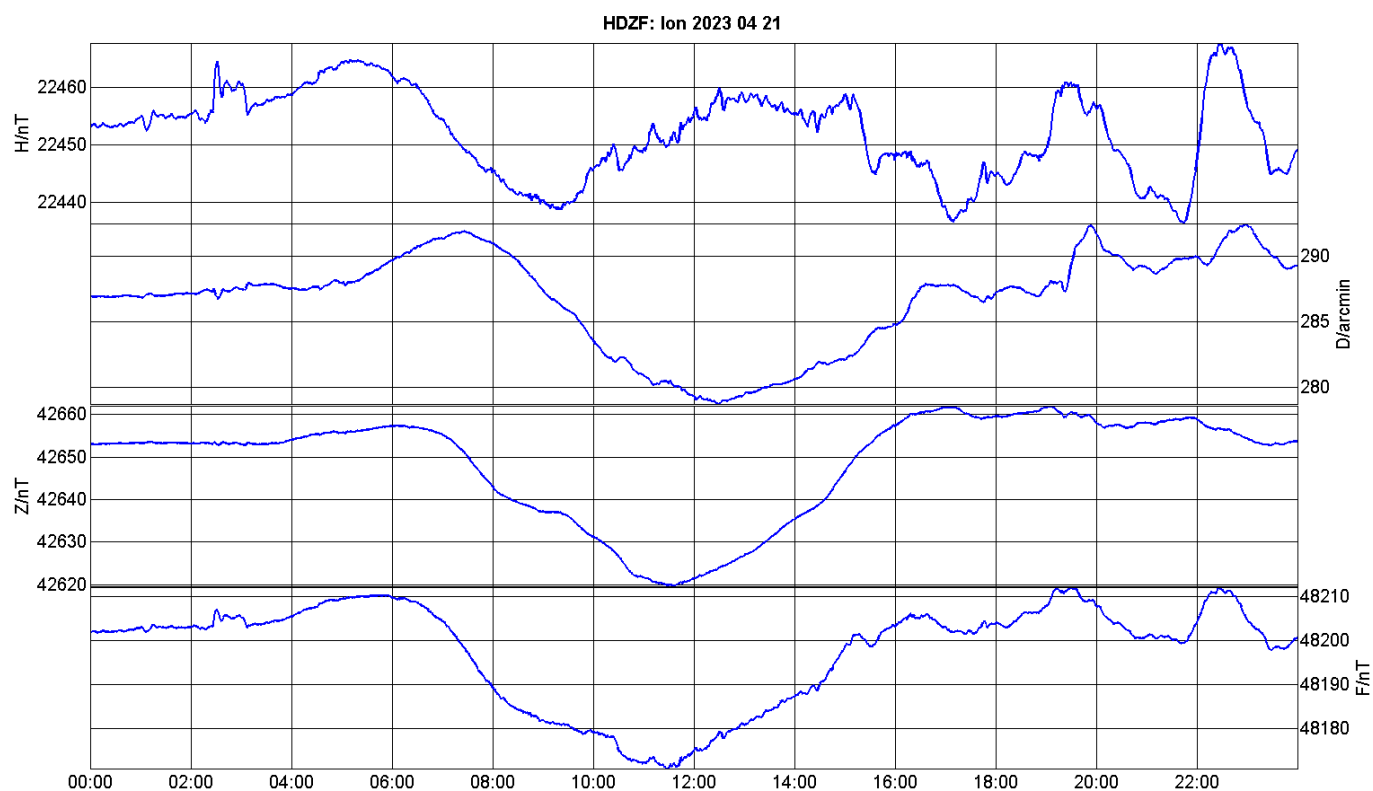


GMO Lonjsko polje – travanj 2023.

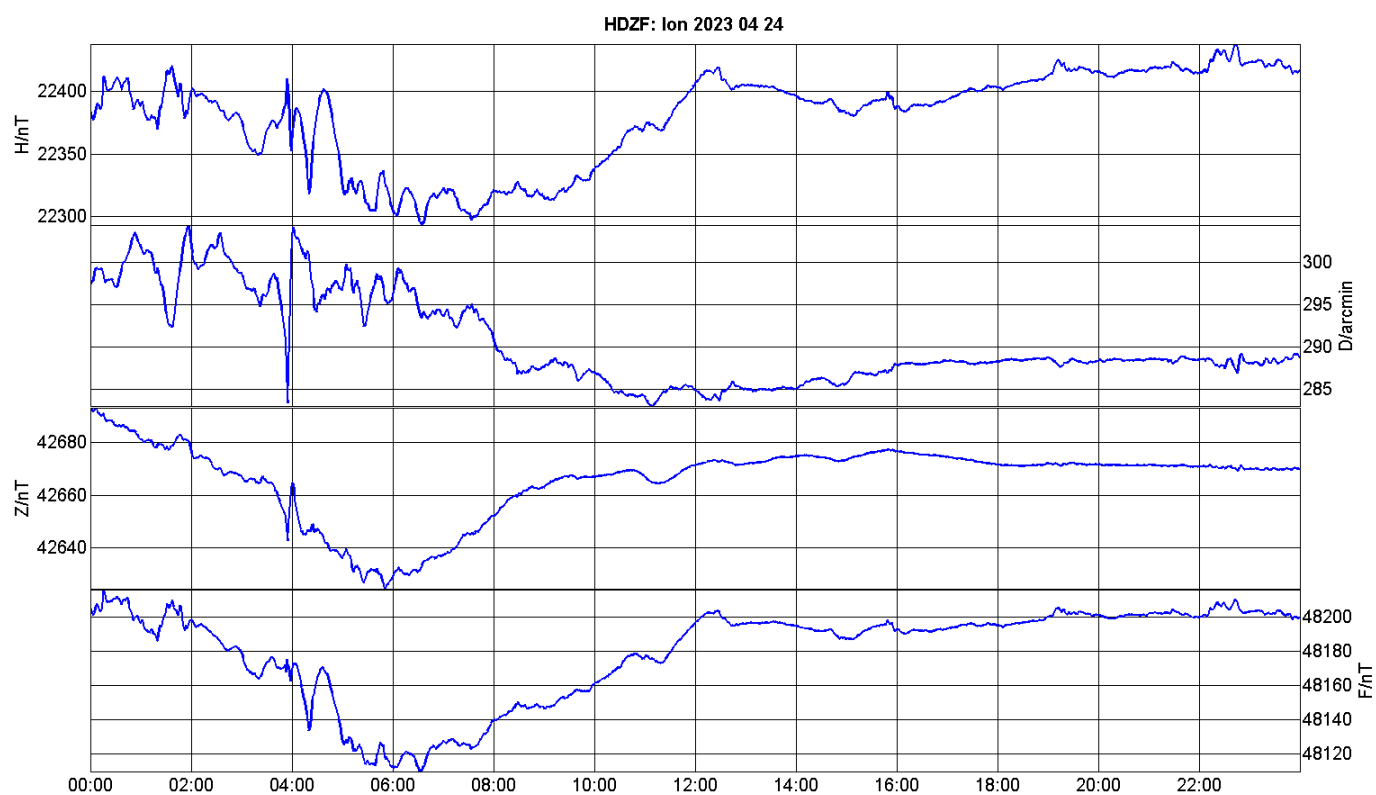
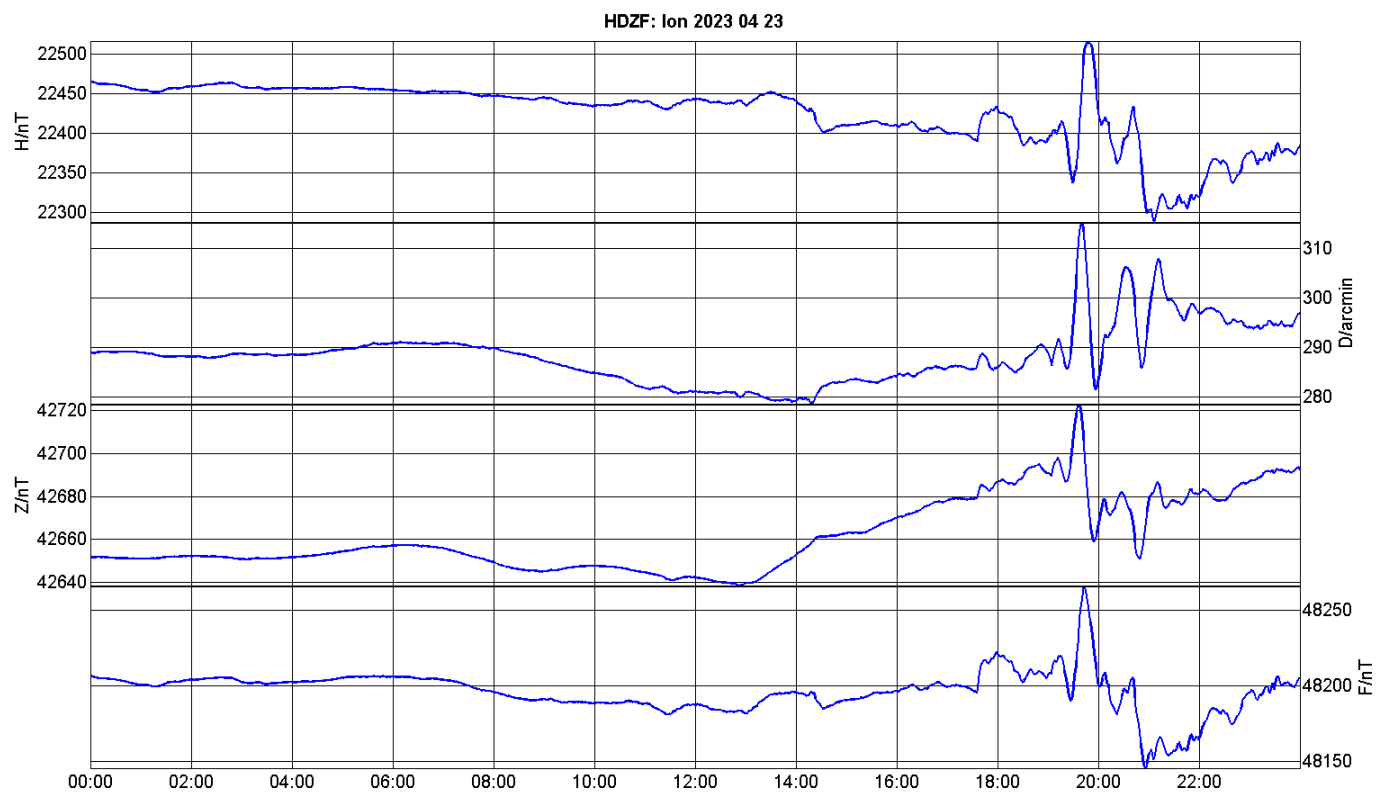




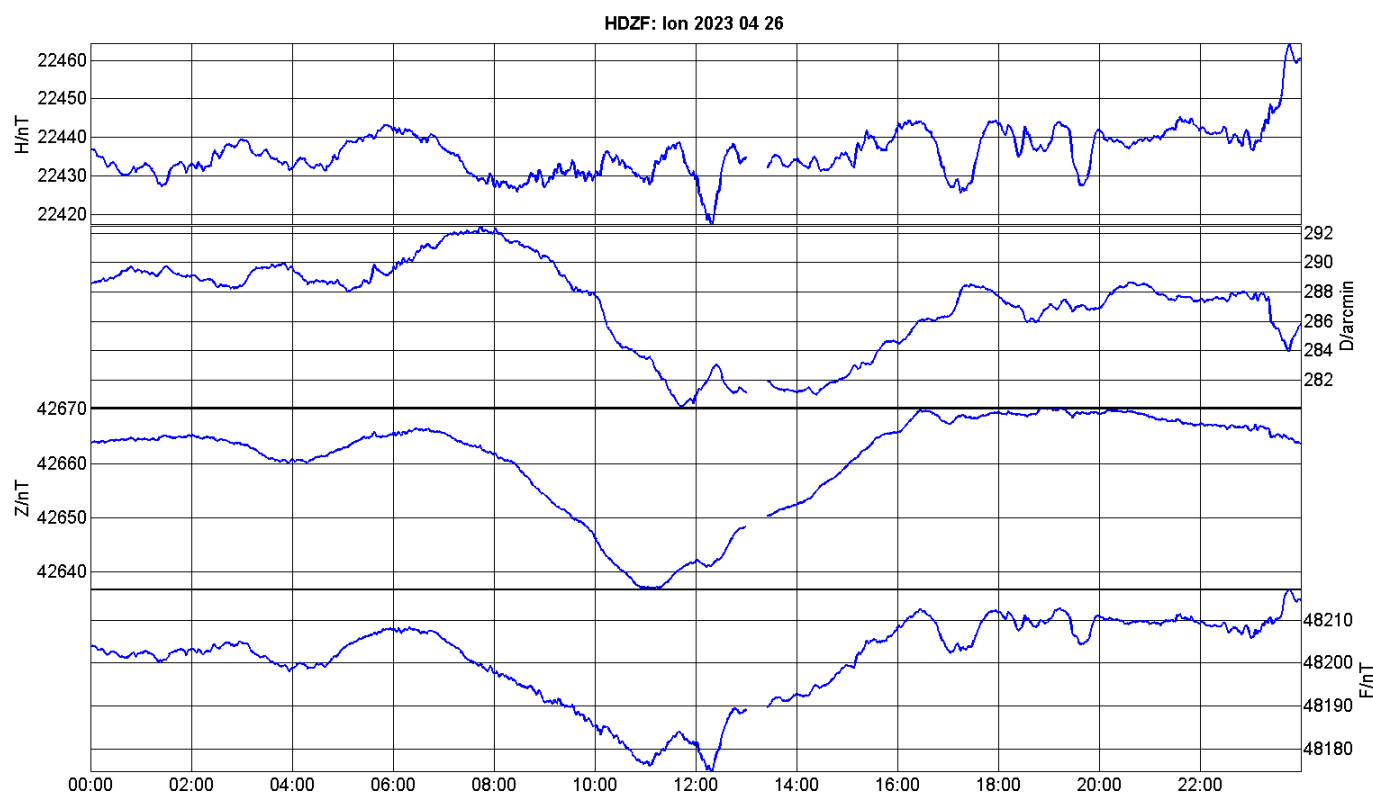
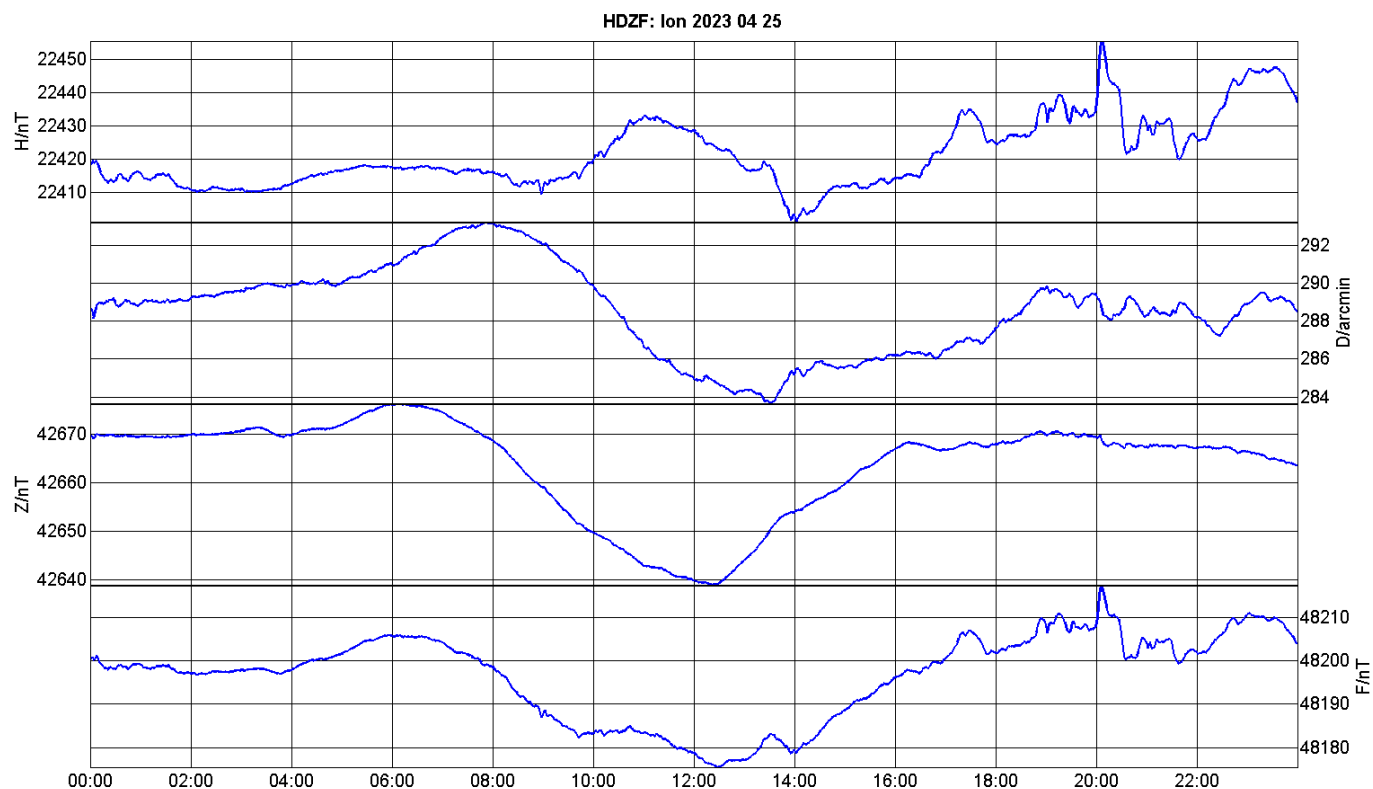
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



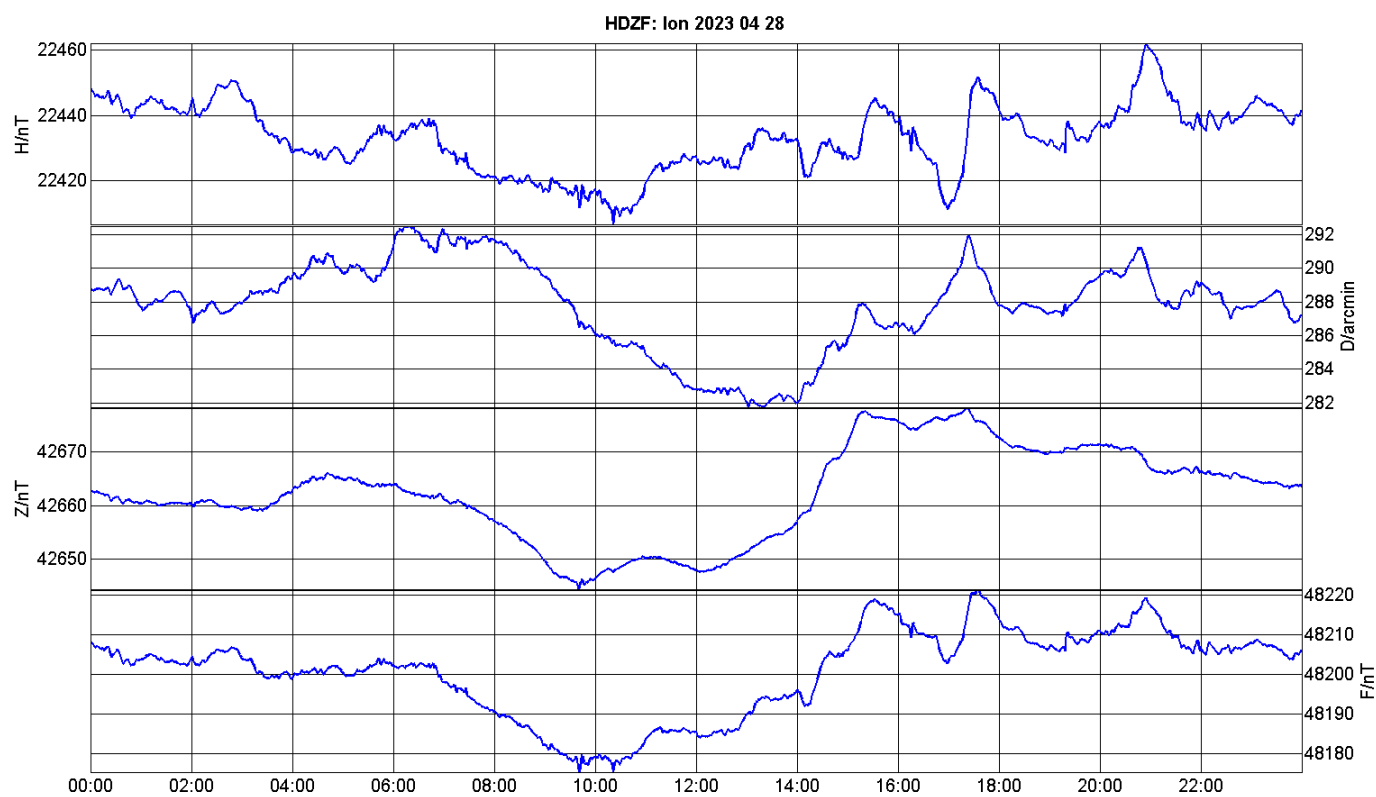
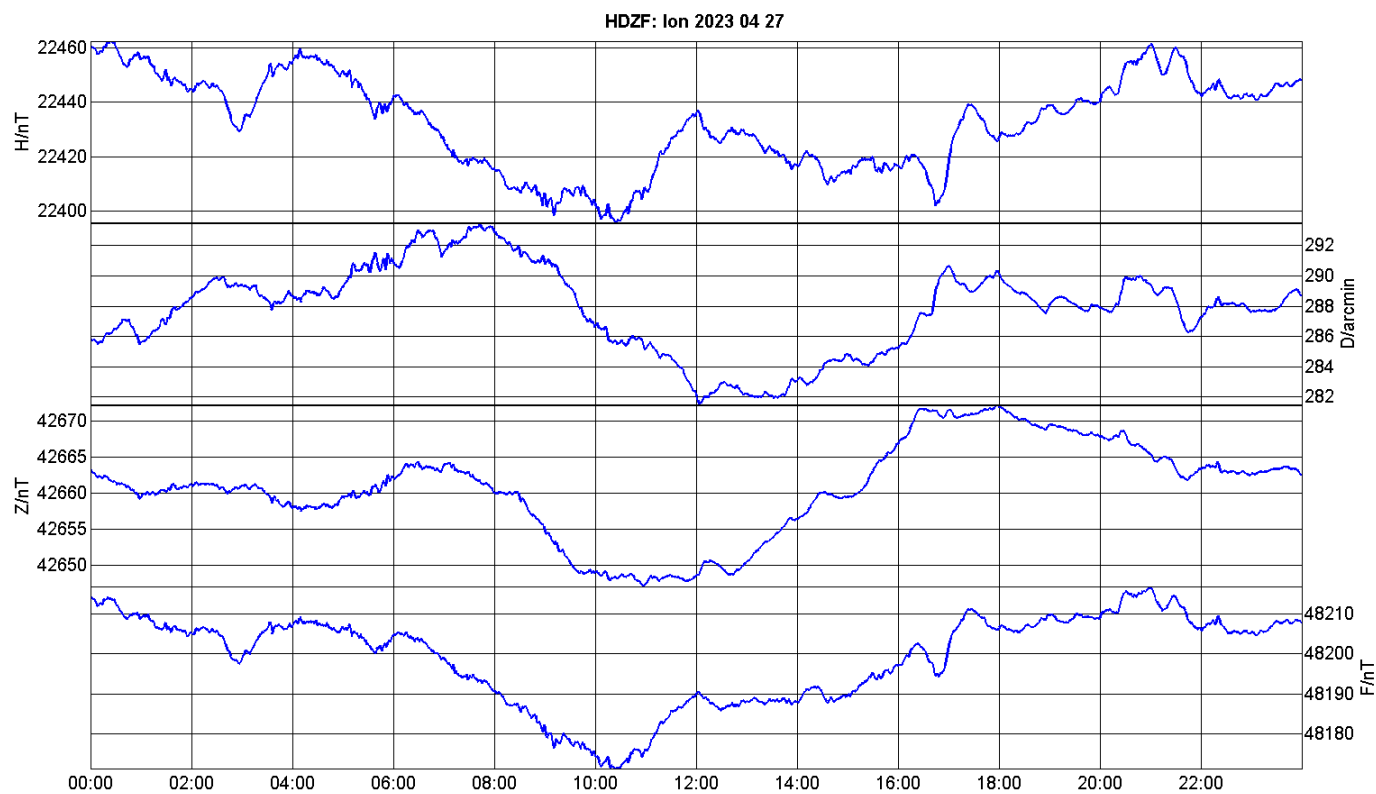
GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



GMO Lonjsko polje – travanj 2023.



GMO Lonjsko polje – travanj 2023.

