

GEOMAGNETICKÁ AKTIVITA NA POČIATKU SLNEČNÉHO CYKLU 25 ZAZNAMENANÁ V HURBANOVE NA LB-480

Eduard KOČI¹, Fridrich VALACH², Magdaléna VÁCZYOVÁ³

ABSTRACT

The beginning of a new solar cycle is characterized by rising the number of solar and geomagnetic storms as well as increasing the geomagnetic activity in general. We recorded a geomagnetic storm at the beginning of the Solar Cycle 25 using a recording device LB-480, connected to an older Bobrov type magnetometer PSM-8711. Here, we present the results of testing the set of the LB-480 and PSM-8711 devices in quiet and disturbed geomagnetic conditions. An important intermediate result of the study is the determination of the sensitivities of the magnetometer sensors. The testing in both quiet and disturbed conditions has shown the satisfactory accuracy of our instrument set, but we have also pointed to a weakness of the set, which is a limited measuring range.

KEYWORDS

Geomagnetic observatory, geomagnetic activity, geomagnetic field, recording device, magnetogram.

ÚVOD

Jedenásťročný cyklus slnečnej aktivity je charakterizovaný vzostupom a poklesom počtu a povrchu slnečných škvŕn. Prvá zmienka o možnej periodicite pochádza od Christiana Horrebowa z roku 1776, avšak slnečný cyklus bol skutočne objavený až v roku 1844, keď Heinrich Schwabe uviedol v *Astronomische Nachrichten*, že jeho pozorovania počtu skupín slnečných škvŕn a dní bez škvŕn za predchádzajúcich 18 rokov naznačujú prítomnosť cyklu slnečnej aktivity s periódou asi 10 rokov [1]. Spolu s počtom a povrchom slnečných škvŕn sa mení aj množstvo ďalších ukazovateľov slnečnej aktivity, ako sú žiarenie v rádiovom spektre, celkové slnečné žiarenie, magnetické pole, erupcie a výrony koronálnej hmoty či tok kozmického žiarenia. Na Zemi sú to geomagnetická aktivita, rádioizotopy v letokruhoch stromov a uloženom ľade (ľadových jadrách). Spätne bol ako 1. slnečný cyklus označený ten so začiatkom v roku 1755 [2].

Na počiatku slnečného cyklu je geomagnetická aktivita spravidla nízka, čo je aj prípad začiatku 25. slnečného cyklu. Koncom roka 2021 sa však začala prejavovať silnejšie [3]. Modely predpokladajú rast aktivity Slnka a s ním aj rast geomagnetickej aktivity. Napríklad Lu a kol. v práci [4] predpokladajú maximum slnečného cyklu 25 na koniec roka 2024 (október).

¹ Mgr. Eduard Koči, Slovenská ústredná hviezdáreň, Hurbanovo a Ústav vied o Zemi SAV, v. v. i., Hurbanovo, eduard.koci@suh.sk

² Mgr. Fridrich Valach, PhD., Ústav vied o Zemi SAV, v. v. i., Hurbanovo, fred.valach@gmail.com

³ RNDr. Magdaléna Váczyová, PhD., Ústav vied o Zemi SAV, v. v. i., Hurbanovo, m_vaczyova@yahoo.com

Prvou exaktnou, a zároveň didakticky mimoriadne zaujímavou metódou na meranie veľkosti geomagnetického poľa je tzv. Gaussova-Lamontova metóda. Táto metóda spočíva v dvoch nezávislých meraniach. Prvé meranie určí dobu kmitu magnetu (T) s magnetickým momentom (M). Druhé meranie určí odchýlku ϕ z magnetického meridiánu, ktorú vyvolá ten istý magnet [5]. O súčasných absolútnych meraniach na Geomagnetickom observatóriu ÚVZ SAV v Hurbanove bližšie pojednáva napríklad práca [6], v ktorej autori načrtli aj variačné merania, teda registráciu zmien geomagnetického poľa.

Doteraz fungujúce záznamové zariadenia hurbanovského geomagnetického observatória napojené na magnetometre fungujú ešte v spojení so softvérom nainštalovanom na operačnom systéme na báze DOS-u (MS-DOS, FreeDOS). Dnešná doba aj začiatok nového slnečného cyklu, v ktorom počas blížiaceho sa maxima môžeme očakávať dramatické javy v geomagnetickom poli, si však žiadajú modernejší prístup k záznamu dát.

V tomto článku sa budeme bližšie zaoberať variačnými meraniami. Opíšeme čerstvé skúsenosti s novým digitálnym záznamovým zariadením LB-480, ktoré sme uviedli do prevádzky na prelome minulého a tohto roka, t. j. na rozhraní rokov 2021 a 2022, a napojili sme ho na starší magnetometer Bobrovho typu PSM-8711. Predstavíme tiež pozorovania silnejšej geomagnetickej aktivity, ktoré sme s týmto prístrojom uskutočnili. Konkrétne geomagnetickú búrku z 13. marca 2022. Zároveň ukážeme aj záznam z 26. februára 2022, počas ktorého bolo geomagnetické pole takmer úplne pokojné.

POPIS JEDNOTLIVÝCH ZARIADENÍ

Záznamové zariadenie LB-480

Záznamové zariadenie LB-480 (obr. 1) poľskej výroby od firmy LAB-EL je určené na zaznamenávanie rôznych druhov signálov. Tie môžu mať podobu prúdu (0 – 20 mA), napätia (0 – 10 V; s presnosťou 0,01 V), binárneho kódu, dokáže počítat impulzy, alebo sa naň môžu pripojiť meracie prístroje od toho istého výrobcu (napr. anemometer, rozhranie S300, teplomer Pt1000). Napätie a prúd je možné zaznamenávať buď v celočíselných dielikoch (rozsah od 0 po 1000) alebo priamo vo fyzikálnych jednotkách. Jednotlivé vstupy pritom môžu byť nastavené rôzne. Je možné nastavovať aj periódu záznamu.



Obrázok 1 Predný (vľavo) a zadný (vpravo) panel zariadenia LB-480

Výhodou prístroja LB-480 je aj, že sa doň môžu vložiť tri prídavné moduly. Do nášho zariadenia boli pridané moduly GPS a modul s portom RS-485. Zariadenie taktiež zaznamenáva svoju teplotu zaokrúhlenú na 0,5 °C. Modul GPS má pripojenú vlastnú anténu. Zariadenie LB-480 je napájané jednosmerným 12-V zdrojom.

Vnútoraná konfigurácia zariadenia a modulu GPS sú udržiavané batériami (CR2032). Pripojiť ho k počítaču môžeme pomocou portu USB alebo cez sieť, prípadne cez porty RS-485, RS-232 alebo bluetooth (ak je pripájané zariadenie vybavené príslušnými modulmi). Okrem softvérového prestavenia zariadenia je nutné ho predtým nastaviť aj vnútri pomocou jumperov [7]. K zariadeniu boli dodané aj disky s programom a licenčnými kľúčmi. Záznam sa ukladá do vnútornej pamäte zariadenia alebo na kartu SD a je možné ho pomocou dodaného programu exportovať, napr. vo formáte csv (comma-separated values).

Torzny fotoelektrický magnetometer PSM-8711

Torzny fotoelektrický magnetometer Bobrovho typu PSM-8711 [8] (obr. 2) je zariadenie určené na meranie troch zložiek geomagnetického poľa. Môžu to byť zložky H (horizontálna), D (deklínácia), Z (vertikálna) alebo X (severná), Y (východná), Z (vertikálna). Zariadenie využíva osvedčený Bobrovov systém umiestnený v tzv. Starom variačnom pavilóne (postavenom v r. 1898), čo je systém s analógovými výstupmi. Jeho základom sú magnetky upevnené na kremenných vláknach, ktoré vyvažujú moment sily pôsobiaci na magnetku svojou torziou. V našom prípade meria zložky X, Y a Z geomagnetického poľa.



Obrázok 2 Sensorová časť magnetometra PSM-8711

Princíp fungovania: Zmena geomagnetického poľa by za bežných okolností viedla k uhlovej zmene (pootočeniu) magnetu v osi torzného variometra. Táto zmena je však zaznamenaná pomocou svetelného zdroja, zrkadiel a dvoch fotodiód a vyvažovaná elektrickým prúdom, ktorý prechádza cievkou. Elektrickým prúdom v cievke je generované

magnetické pole, ktoré vyvažuje zmenu geomagnetického poľa v danej osi a snaží sa opäť dosiahnuť rovnovážnu polohu, pri ktorej sú obe fotodiódy osvetlené rovnako.

Tento prúd je potom prevádzaný na napätie, ktoré vystupuje z magnetometra. Toto sa deje vo všetkých troch meraných zložkách.

Jednotlivé výstupy zariadenia je pri inštalácii variometra možné doladovať pomocou drobných magnetov umiestnených pri senzoroch, alebo tiež potenciometrami priamo na konzole prístroja.

Elektronika magnetometra PSM je napájaná jednosmerným 12-V zdrojom. Jej výstupným signálom sú napätia od -10 V do +10 V. Má tri stupne citlivosti (2, 20, 200 mV/nT) [9].

MERANIE GEOMAGNETICKÉHO POĽA POMOCOU PSM-8711 PRIPOJENÉHO NA LB-480 (obr. 3)

Keďže vnútorná pamäť zariadenia (1 MB) LB-480 stačila približne iba na záznam geomagnetického poľa počas jedného dňa, vložili sme doň kartu SD s kapacitou 4 GB. Prístroj sme napojili na počítačovú sieť privedenú do meracieho pavilónu, a tak je možné získavať namerané hodnoty zo zariadenia cez ňu.

Na základe vyššie spomenutých vlastností jednotlivých prístrojov sme sa rozhodli záznamové zariadenie LB-480 nastaviť na záznam napätia v dielikoch, nakoľko celé čísla sú jednoduchšie na spracovanie. Zariadenie sme nastavili tak, že vstupné napätie 0 V zodpovedá 0 dielikom a 10 V zodpovedá 1000 dielikom (pohľad na softvér ukazuje obrázok 4). Taktiež zaznamenávame zo zariadenia aj vnútornú teplotu zariadenia. Hodnoty sú zaznamenávané každých 5 sekúnd.

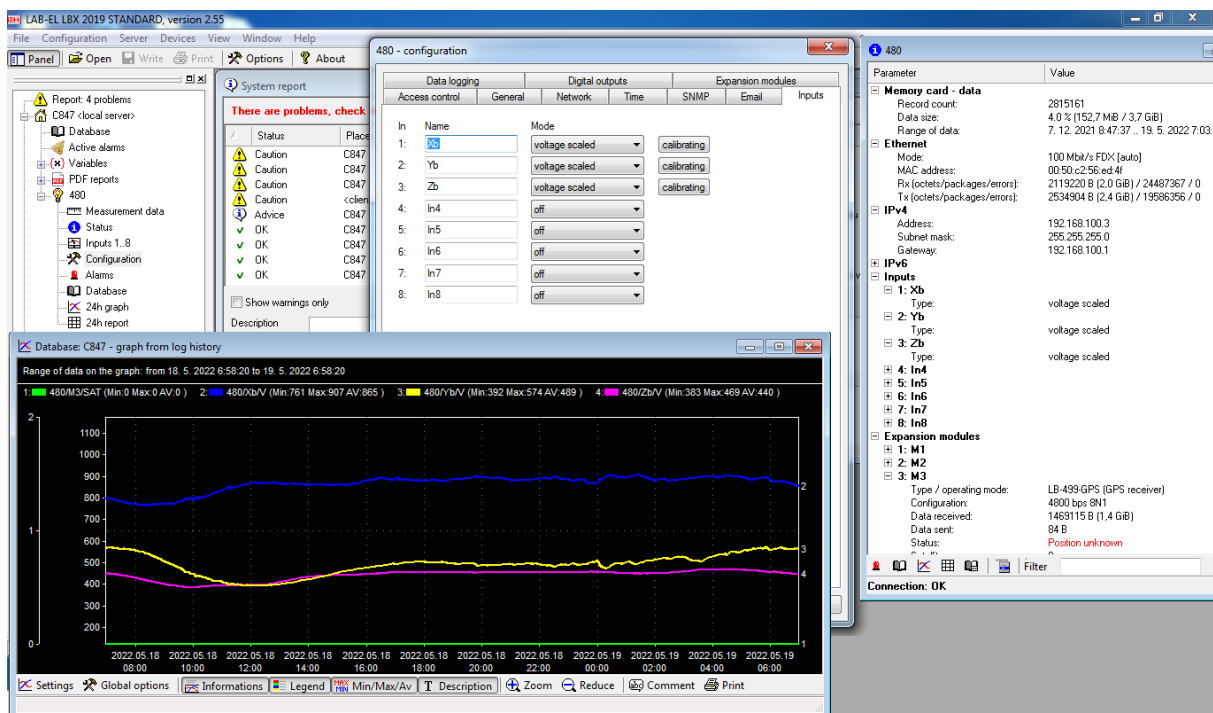


Obrázok 3 Záznamové zariadenie LB-480 pripojené na elektroniku magnetometra PSM-8711

Zariadenie PSM-8711 sme nastavili na strednú citlivosť, menovite $20 \text{ mV} \cdot \text{nT}^{-1}$. Pri maximálnej hodnote napätia 10 V by takto hodnota jedného dielika na LB-480 mala mať veľkosť 0,5 nT a celý rozsah tejto zostavy by mal v každej zložke byť 500 nT, čo by malo stačiť aj pre väčšie poruchy geomagnetického poľa. Vyššie uvedené hodnoty vychádzajú z údajov v manuáli prístroja [9].

Treba však priznať, že extrémna búrka podobná tej, ktorá sa vyskytla 29. októbra 2003, by našu aparatúru v tomto nastavení priviedla mimo merací rozsah; vtedy bol pokles geomagnetického poľa v Hurbanove o viac ako 600 nT [10].

Bázy PSM-8711 sme nastavili tak, aby osi Y a Z boli približne v strede meracieho rozsahu LB-480. Os X sme nastavili približne do 80 % rozsahu LB-480, pretože v nej sa pri geomagnetickej búrke predpokladá skôr pokles. Zariadenie je však schopné na osi X zaznamenať aj mierny rast v podobe náhleho začiatku geomagnetickej búrky (SSC) či tzv. zálivovú poruchu. Zariadenie sme tým nastavili tak, aby bolo schopné zaznamenať geomagnetickú aktivitu až do K indexu 7 – 8. Spodná hodnota pre aktivitu K indexu 9 pre Hurbanovo je variácia o 420 nT, ako je znázornené v tabuľke 1 [11].



Obrázok 4 Softvér dodaný k zariadeniu LB-480

Merací rozsah sme tu porovnávali s indexom K, pretože tento kvázilogaritmický trojhodinový index bol prvý, ktorý poskytol objektívnu kvantifikáciu porušenosti geomagnetického poľa, a dodnes je široko používaný. Môže nadobúdať hodnoty 0 až 9. Zmena geomagnetického poľa v nanoteslách prislúchajúca ku konkrétnej hodnote K indexu sa vypočítava pomerne náročnou štatistickou procedúrou [12], pričom sa tu silne prejavuje závislosť od geomagnetickej šírky observatória. Nižšia hodnota indexu K znamená menšie porušenie geomagnetického poľa, vyššia naopak.

Pri zložkách Y a Z nepredpokladáme, že by vyšli z meracieho rozsahu.

Tabuľka 1 Spodná hranica kvázilogaritmického indexu K pre observatórium v Hurbanove

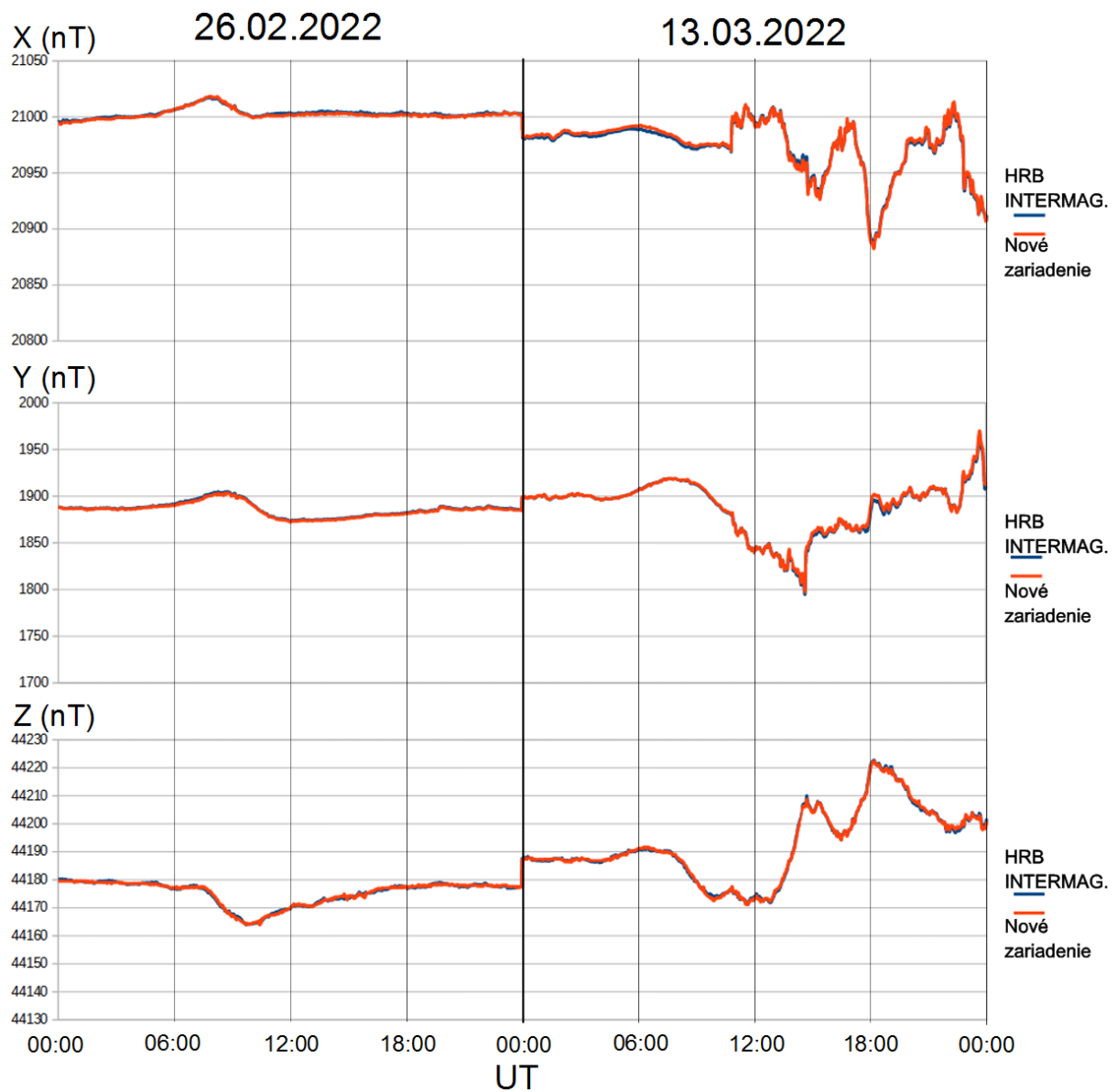
K index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spodná hranica [nT]	0	4,2	8,4	17	34	59	100	170	250	420

SPRACOVANIE NAMERANÝCH HODNÔT

Namerané údaje sme filtrovali minútovým Gaussovým filtrom s koeficientmi podľa manuálu [13] organizácie INTERMAGNET. Tieto filtrované minútové hodnoty sme porovnali s údajmi, ktoré geomagnetické observatórium v Hurbanove posielala do databázy INTERMAGNET. Pre porovnanie aj výpočet citlivostí a báz zostavy sme vybrali dva dni: 26. február 2022 s pokojnou variáciou a 13. marec 2022, počas ktorého bolo geomagnetické pole narušené. Použili sme metódu najmenších štvorcov. Zistené citlivosti, bázy a korelačné koeficienty sú v tabuľke 2. Grafické porovnanie časových radov je zobrazené na obrázku 4. Celkový rozsah je teda najmä na osi X menší ako na bol rozsah pôvodne vypočítaný na základe údajov z manuálu, iba 402 nT. Nami namerané výsledky z týchto dní sme následne prepočítali podľa koeficientov z tabuľky 2. Tieto hodnoty sme vyniesli do grafu 1, a ako vidíme, krivky sú takmer totožné. Korelačný koeficient (tab. 2) je veľmi blízky hodnote 1.

Tabuľka 2 Citlivosti a bázy zostavy pre zložky X, Y a Z geomagnetického poľa. Uvedená je tiež ich smerodajná odchýlka. Posledný riadok tabuľky obsahuje korelačné koeficienty, ktoré pre jednotlivé elementy kvantifikujú mieru zhody medzi hodnotami získanými naším prístrojom a referenčnými hodnotami.

	X	Y	Z
Citlivosť [nT/dielik]	0,40209	0,49234	0,48709
Odchýlka [nT/dielik]	0,00056	0,00062	0,00032
Báza [nT]	20658,12	1646,65	43964,74
Odchýlka [nT]	0,46	0,31	0,14
Korelačný koeficient	0,9973	0,9977	0,9994



Obrázok 4 Grafické porovnanie nameraných hodnôt s referenčnými hodnotami geomagnetickeho observatória Hurbanovo zaslanými do databázy programu organizácie INTERMAGNET.

DISKUSIA A ZÁVER

Keďže nami zistená citlivosť na osi X je menšia ako citlivosť udávaná v manuáli k zariadeniu PSM-8711, pre zväčšenie meracieho rozsahu bez straty presnosti by sme mohli pripojiť ešte jedno rovnaké zariadenie LB-480, avšak vývody zo zariadenia PSM-8711 doň zapojiť naopak. Toto ďalšie zariadenie by mohlo zaznamenať pokles v zložke X o ďalších približne 400 nT. Spoločný celkový rozsah zostavy PSM-8711 s dvomi zariadeniami LB-480 by bol zhruba 800 nT.

Keďže bázy a citlivosti zostavy sme predbežne vypočítavali z obdobia konca zimy, a tieto hodnoty môžu byť ovplyvnené najmä teplotou, odporúčame vykonať tieto výpočty aj z dní v letnom období a tieto porovnať s našimi terajšími výsledkami. Prístroj zaznamenáva vnútornú teplotu zariadenia, ktorá sa však líši od teploty v miestnosti. V budúcnosti bude potrebné vykonať analýzu závislosti báz a citlivostí od teplôt, a potom ju môžeme využiť pri korekcii výsledkov.

Touto prácou sme ukázali, že prístroj LB-480 v istom obmedzenom rozsahu alebo s nižšou presnosťou dokáže nahradiť starší, doteraz používaný zberač dát.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied prostredníctvom grantu VEGA 2/0085/21.

LITERATÚRA

- [1] Schwabe, H. Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1843. *Astronomische Nachrichten* Volume 21, Issue 15, 1844, p. 234-235.
- [2] Hathaway, D. H. The Solar Cycle. *Living Rev. Sol. Phys.*, Vol.12, Art. No. 4, 2015. <https://doi.org/10.1007/lrsp-2015-4>.
- [3] Papaioannou, A., Kouloumvakos, A., Mishev, A., Vainio, R., Usoskin, I., Herbst, K., Rouillard, A. P., Anastasiadis, A., Gieseler, J., Wimmer-Schweingruber, R., Kühl, P. The First Ground Level Enhancement of Solar Cycle 25 on 28 October 2021. [Accepted for publication in *Astronomy & Astrophysics* as a Letter to the Editor], 2022, dostupné na <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.07927> [Cit. 2022-03-08].
- [4] Lu, J. Y., Xiong, Y. T., Zhao, K., Wang, M., Li, J. Y., Peng, G. S., Sun, M. Novel Bimodal Forecasting Model for Solar Cycle 25, *The Astrophysical Journal*, 2022, 924:59 (8pp), dostupné na: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ac3488/pdf>.
- [5] Valach, F. *Magnetické búrky: Fyzikálne základy*. Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo 2020, ISBN 978-80-89998-11-1.
- [6] Váczyová, M., Valach, F. Geomagnetické observatórium v Hurbanove dnes, *12th International Conference of J. Selye University, Sections of Pedagogy and Informatics, Conference Proceedings*, Komárno, 2020, 229-237. <https://doi.org/10.36007/3778.2020.229>
- [7] *Instrukcia užítkownika LB-480*, vydanie 1.0.2, LAB-EL, 2015.
- [8] Jankowski, J., Marianiuk, J., Ruta, A., Sucksdorff, C., Kivinen, M. Long-term stability of a torque-balance variometer with photoelectric converters in observatory practice, *Geophysical Surveys* 6, 1984, 367-380.
- [9] *Portable Magnetic Station Type PSM-8711*, Torsion Photoelectric Magnetometer, General description and manual instruction, Central Geophysical Observatory, Institute of Geophysics P.A.N., Belsk, [dátum vydania neznámy].

- [10] Valach, F., Váczyová, M. Extrémne magnetické poruchy v pozorovaniach hurbanovského observatória, *X. Medzinárodná vedecká konferencia Univerzity J. Selyeho, zborník príspevkov*, 2018, 78-85.
- [11] Valach, F., Váczyová, M., Revallo, M. Producing K indices by the interactive method based on the traditional hand-scaling methodology – preliminary results, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 137, 2020, p. 10-16.
- [12] Menvielle, M., and Berthelier, A. The K-derived planetary indices: description and availability, *Reviews of Geophysics*, 29 (3), 1991, 415-432.
- [13] St-Louis, B. (Ed.) INTERMAGNET Operations Committee and Executive Council, *INTERMAGNET Technical Reference Manual Version 5.0.0*, 2020.