

GEOMAGNETICKÁ AKTIVITA V PRIEBEHU ROKA 2020 PODĽA POZOROVANÍ HURBANOVSKÉHO OBSERVATÓRIA

Fridrich VALACH¹ – Magdaléna VÁCZYOVÁ² – Miloš REVALLO³

ABSTRACT

The study presents the geomagnetic activity that was observed by the Hurbanovo Geomagnetic Observatory of the Earth Science Institute SAS throughout the year 2020. The geomagnetic activity, which was expressed in terms of K index, turned out to be very low during the studied year; the index 5 was exceeded not a single time. Nonetheless, some mild geomagnetic activity occurred anyway; in this study we concentrated on the disturbed period in the second part of October. Possible origins of those magnetic disturbances were identified: three coronal mass ejections that were launched on October 16, 18, and 22; two coronal holes facing the Earth between October 16 and 17 and between October 19 and 24; and the co-rotating interaction regions related to the coronal holes mentioned. It is suggested that rising of the geomagnetic activity may be expected in the nearest future.

KEYWORDS

Geomagnetic activity, K index, relative sunspot number, coronal mass ejection, co-rotating interaction region, coronal hole.

ÚVOD

Geomagnetické observatórium v Hurbanove, ktoré je dnes súčasťou Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, začalo zaznamenávať geomagnetické pole už pred viac ako 128 rokmi [1]. Zakladateľom geomagnetického observatória bol Dr. M. Thege Konkoly, tá istá vedecká osobnosť, ktorá už predtým, o 22 rokov skôr, založila aj inú významnú hurbanovskú inštitúciu, Slovenskú ústrednú hviezdáreň [2]. Hlavným poslaním geomagnetického observatória je nepretržité monitorovanie geomagnetického poľa a vyhodnocovanie geomagnetickej aktivity. Kauzálne je geomagnetická aktivita následkom slnečnej aktivity, čo do veľkej miery prepája vedecké programy geomagnetických observatórií a astronomických observatórií zaoberajúcich sa solárnou astronómiou. Pritom máme na mysli nie iba pozemné observatóriá, ale aj meracie a pozorovacie prístroje umiestnené na umelých kozmických družiciach, napríklad družicu SOHO. Poznamenajme, že skratka SOHO je skrátením plného anglického názvu družice, Solar and Heliospheric Observatory, čo znamená Solárne a heliosférické observatórium (pozri napr. [3]).

Praktických dôvodov, prečo je potrebné neustále monitorovať geomagnetické pole, je niekoľko. Najdôležitejšie z nich súvisia s bezpečnosťou citlivých technických zariadení, a to pozemných, ale aj niektorých zariadení na lietadlách a kozmických lodiach (pozri napr. [4]). Príkladom veľkého ohrozenia spoločnosti extrémnymi prípadmi magnetických búrok je masívny výpadok elektrickej rozvodnej siete v kanadskej provincii Québec, ktorý nastal po in-

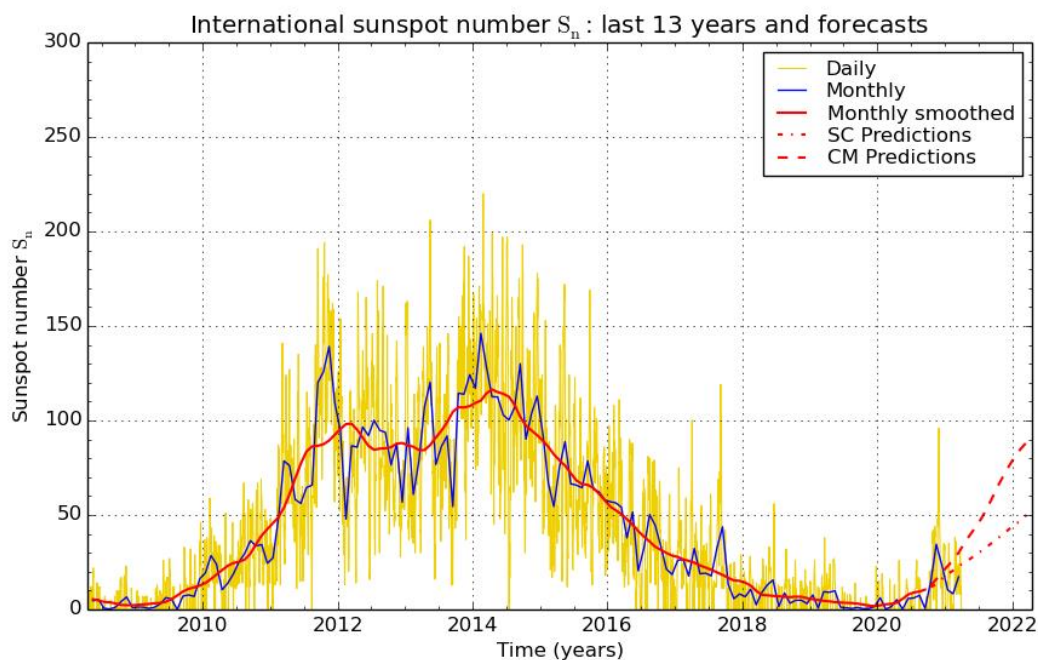
1 Mgr. Fridrich Valach, PhD., Geomagnetické observatórium ÚVZ SAV, Hurbanovo, fridrich@geomag.sk

2 RNDr. Magdaléna Váczyová, PhD., Geomagnetické observ. ÚVZ SAV, Hurbanovo, magdi@geomag.sk

3 Mgr. Miloš Revallo, PhD., Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Bratislava, geofmire@savba.sk

tenzívnej geomagnetickej poruche 13. marca 1989. V dôsledku tejto technickej poruchy zostalo na 9 hodín bez elektriny 6 miliónov ľudí [5]. Pre jeden milión ľudí trval výpadok dodávky elektrickej energie aj dlhšie ako spomínaných 9 hodín; poškodenie technických zariadení rozvodnej siete muselo byť mimoriadne rozsiahle. Hospodárske škody spôsobené touto udalosťou boli značné, podľa odhadu [6] až šesť miliárd dolárov.

Rok 2020, ktorému je venovaný tento príspevok, sa nevyznačoval takou enormnou geomagnetickou aktivitou, ktorá by sa mohla rovnať situácii, aká bola v marci 1989. Naopak, aktivita bola minimálna. Súvisí to so súčasnou fázou cyklu slnečnej aktivity; ide o cyklické striedanie období vysokej slnečnej aktivity s nízkou, pričom perióda tohto opakovania určená z viac ako dvoch desiatok cyklov bola určená na približne 11 rokov. Najznámejším javom, ktorý súvisí s týmto 11-ročným cyklom, je zmena vo výskyte slnečných škvŕn. Počet slnečných škvŕn, s prihliadnutím aj na ďalšie ich vlastnosti, je vyjadrovaný relatívnym číslom slnečných škvŕn (známym aj ako Wolfovo číslo, zürišské číslo alebo medzinárodné číslo slnečných škvŕn; posledný z výrazov zdôrazňuje globálnosť tejto veličiny, teda nie je to číslo určené jediným observatóriom). Ako ukazuje obrázok 1 z webovej stránky [7] Belgického kráľovského observatória, ktoré je svetovým dátovým centrom pre produkciu medzinárodného čísla slnečných škvŕn, počas rokov 2019 až 2020 sa ukazuje lokálne minimum časového radu počtu škvŕn.



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2021 April 1

Obr. 1 Medzinárodné číslo slnečných škvŕn za posledných 13 rokov podľa údajov Belgického kráľovského observatória (Royal Observatory of Belgium). Žltou a modrou čiarou sú znázornené denné a mesačné hodnoty, červená plná čiara zobrazuje vyhladené mesačné hodnoty, červená bodkovaná čiara a prerušovaná čiara znázorňujú predpovede časového radu pre najbližšie mesiace na základe dvoch predpovedných modelov, SC a CM (podľa [7]).

Napriek minimálnej slnečnej aktivite sa však predsa v roku 2020 nejaké geomagnetické búrky vyskytli. Najmä jedna z nich, prejavila sa koncom októbra, si zasluhuje pozornosť. Pretože

medziplanetárne prostredie bolo vtedy pokojnejšie ako v aktívnejších rokoch, naskytá sa tu príležitosť identifikovať solárny zdroj tejto búrky jednoznačnejšie ako inokedy.

Tento príspevok si kladie za cieľ oboznámiť čitateľa s celkovým obrazom geomagnetickej aktivity v predchádzajúcom roku, t. j. v roku 2020. Bude tiež študovať poslednú dekádu októbra 2020 z pohľadu solárnych a medziplanetárnych príčin, ktoré vtedy spôsobili prechodné zvýšenie geomagnetickej aktivity.

ŠTUDOVANÉ ÚDAJE

Naša štúdia je postavená na porovnaní geomagnetickej aktivity pozorovanej na pozemnom geomagnetickom observatóriu v Hurbanove s údajmi o pozorovaniach slnečného povrchu a slnečnej koróny; v prvom slede ide pozorovania slnečných škvŕn a výronov koronálnej hmoty. Treba mať na zreteli, že spomedzi týchto dvoch solárnych fenoménov sú skutočnými bezprostrednými príčinami tých najintenzívnejších magnetických búrok (magnetické búrky sú najvýraznejšími javmi v geomagnetickej aktivite) výrony koronálnej hmoty. Slnečné škvŕny sú len dôkazom toho, že pri slnečnom povrchu je štruktúra magnetického poľa komplikovaná. To vytvára priaznivé podmienky na vznik rôznych výbušných javov, pri ktorých sa môže uvoľniť nesmierne množstvo magnetickej energie. Jedným z týchto výbušných javov sú aj spomínané výrony koronálnej hmoty. Zmienka o slnečných škvŕnách však má svoj význam, pretože ide o úkaz, ktorý je dokonca možné zo zemského povrchu s nenáročným technickým vybavením pozorovať na amatérskej úrovni; tento jav je preto známy aj v širokej verejnosti. Na druhej strane, pozorovania výronov koronálnej hmoty si vyžadujú nákladné kozmické misie.

Nové poznatky [napr. 8] naznačujú, že v období veľmi nízkej geomagnetickej aktivity môžu úlohu výronov koronálnej hmoty ako hlavných príčin magnetických búrok prebrať ko-rotujúce interakčné regióny (skr. CIR z angl. co-rotating interaction region), ktoré vznikajú v medziplanetárnom priestore tam, kde dochádza k interakcii pomalšieho a rýchlejšieho slnečného vetra. Rýchly slnečný vietor býva charakteristický pre koronálne diery (pozri napr. internetový katalóg [9]).

Geomagnetické údaje z observatória ÚVZ SAV v Hurbanove

Hurbanovské geomagnetické observatórium je členom medzinárodného programu INTERMAGNET, preto sú výsledky jeho pozorovaní v štandardnej kvalite [10] voľne dostupné na internetovej stránke <https://www.intermagnet.org/>. Ide o minútové priemery troch nezávislých zložiek geomagnetického poľa, ktoré sú pomocou gaussovského filtra vypočítavané z meraní s 5-sekundovým vzorkovacím intervalom. Údaje sú zaznamenávané variačnou stanicou, tzv. torzným fotoelektrickým magnetometrom, ktorý je upravenou zdigitalizovanou verziou analógového magnetometra Bobrov sovietskej výroby. Prístroj bol do súčasnej podoby upravený expertmi z Centrálného geofyzikálneho observatória Ústavu geofyziky Poľskej akadémie vied. Variačná stanica je pravidelne kalibrovaná absolútnymi meraniami pomocou D/I-metra typu Lemi a protónového magnetometra PMG 1. Zemepisné a geomagnetické súradnice observatória sú v tabuľke 1.

Tab. 1 Súradnice Geomagnetického observatória Ústavu vied o Zemi SAV v Hurbanove

| Zemepisné súradnice | | Geomagnetické súradnice | |
|---------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| šírka (severná) | dĺžka (východná) | šírka (severná) | dĺžka (východná) |
| 47,874° | 18,188° | 46.67° | 101.18° |

V našej štúdií sme na kvantifikovanie úrovne geomagnetickej aktivity použili index geomagnetickej aktivity K, ktorý sme vypočítali z vyššie spomínaných minútových priemerov zložiek poľa. Ide o index, ktorý na škále od 0 po 9 kvantifikuje úroveň geomagnetickej aktivity; index 0 znamená pokojné geomagnetické pole a index 9 hovorí o mimoriadne porušenom poli [4].

Údaje z hurbanovského geomagnetického observatória sme doplnili o informácie o globálne pozorovaných náhlych začiatkoch magnetických búrok z Medzinárodnej služby pre rapidne magnetické variácie, ktorá sídli na observatóriu Ebre v Španielsku [11].

Údaje o slnečných škvrnách, výronoch koronálnej hmoty a koronálnych dierach

Údaje o pozorovaní slnečných škvŕn sme získali z internetových stránok Belgického kráľovského observatória [7] a Slovenskej ústrednej hviezdárne v Hurbanove [12]. Zdrojom údajov o výronoch koronálnej hmoty (CME, skratka z anglického výrazu coronal mass ejection) boli pre našu štúdiu katalógy SOHO/LASCO CME Catalog [3] a CACTus [13, 14]. Obidva katalógy vychádzajú z pozorovaní slnečnej koróny prístrojom LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph, širokouhlý a spektrometrický korónograf), ktorý je nesený družicou SOHO. Prvý z katalógov je zostavený ručne na základe interpretácie fotografií koróny vyškolenými expertmi, zatiaľ čo druhý katalóg je zostavovaný automaticky pomocou špeciálneho softvéru. Údaje o koronálnych dierach a ich geoeffectivite sme získali z internetovej stránky [9].

GEOMAGNETICKÁ AKTIVITA POZOROVANÁ V HURBANOVE V ROKU 2020

Geomagnetickú aktivitu pozorovanú v priebehu roka 2020 na geomagnetickom observatóriu v Hurbanove znázorňujeme pomocou indexu K, ktorý je na obrázku 2 znázornený v podobe tzv. muzikálneho, resp. notového zápisu. Jednotlivé riadky zápisu prináležia jednotlivým slnečným rotáciám. Čísla slnečných rotácií boli v roku 2020 od 2542 po 2556. Zoradenie podľa slnečných rotácií má fyzikálne opodstatnenie, pretože aktívne oblasti na Slnku sa otáčajú spoločne so Slnkom; ak niektoré z oblastí prežijú obdobie slnečnej rotácie, sú po každej slnečnej perióde znova obrátené smerom k Zemi a môžu byť zdrojom ďalšej geomagnetickej poruchy.

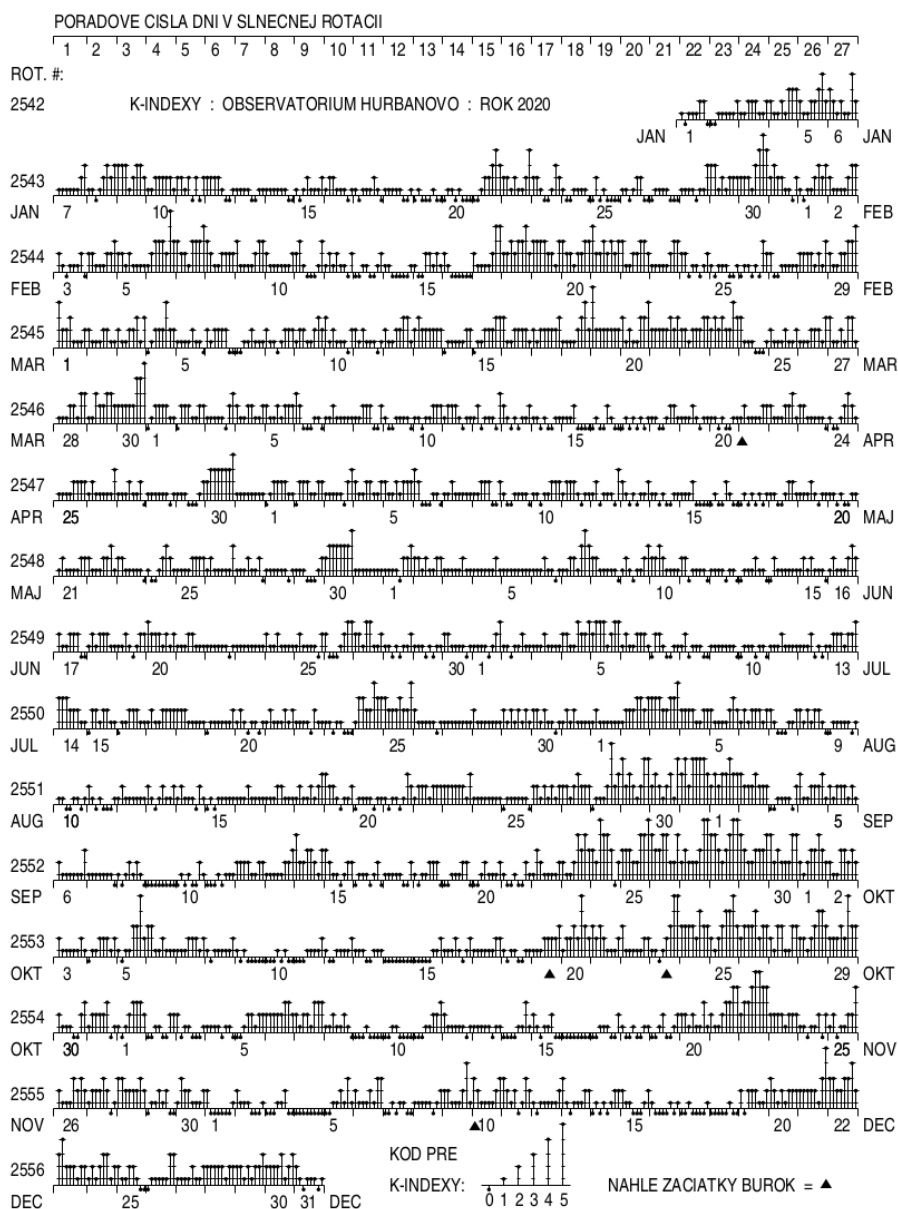
Legenda v dolnej časti obrázka 2 ukazuje kódovanie hodnôt indexov od 1 do 5. Index s hodnotou 5 bol najvyšším indexom v hurbanovských pozorovaniach v roku 2020. Podľa klasifikácie magnetických búrok, ktorú používa americký Národný úrad pre oceán a atmosféru, boli búrky v roku 2020 mierne; na základe veľkostí variácií horizontálnej intenzity sa ani jedna nedá označiť prívlastkom „silná“ [15, s. 219].

Do obrázka sme trojuholníkovými symbolmi znázornili aj čas, keď boli podľa globálnych pozorovaní hlásené výskyty náhlych začiatkov geomagnetických búrok. Ide o jav, ktorý je v literatúre známy aj pod skratkou SSC [napr. 15, s. 178].

Zaujímavým magneticky porušeným obdobím v roku 2020 bola posledná dekáda mesiaca október, ktorá približne korešponduje s poslednou časťou slnečnej rotácie č. 2553. Index K tu päťkrát dosiahol hodnotu 5 a súčasne boli pozorované aj dva náhle začiatky búrok: tie nastali 19. a 23. októbra. Bližšie sa na toto obdobie geomagnetickej aktivity a na jeho porovnanie so slnečnou aktivitou zameriame v nasledujúcej kapitole.

SLNEČNÁ A GEOMAGNETICKÁ AKTIVITA V TRETEJ DEKÁDE OKTÓBRA 2020

Aktívne oblasti na Slnku, ktoré súviseli so solárnymi príčinami geomagnetických porúch v poslednej tretine slnečného cyklu č. 2553, veľmi pravdepodobne pretrvali na Slnku viac ako jednu slnečnú rotáciu. Naznačuje to fakt, že aj posledná dekáda predchádzajúcej slnečnej rotácie (č. 2552) sa vyznačovala viacnásobným výskytom geomagnetického indexu 5 (vyskytol sa až šesťkrát). V ešte skoršej rotácii (č. 2551) sa 28. augusta 2020 tiež vyskytol jeden index 5. Aj počas slnečnej rotácie č. 2554, nasledujúcej po období, na ktoré sa tu zameriavame, sa 22. novembra dvakrát vyskytol index 5.



Obr. 2 Muzikálny (resp. notový) diagram znázorňujúci geomagnetickú aktivitu v roku 2020 podľa pozorovaní Geomagnetického observatória ÚVZ SAV v Hurbanove. Geomagnetická aktivita je vyjadrená indexom K. Do diagramu sú doplnené údaje o výskytach náhlych začiatkov búrok podľa hlásení Medzinárodnej služby pre rapídne magnetické variácie [11].

Výrony koronálnej hmoty a geomagnetická aktivita

Pri pátraní po zdrojoch pozorovanej zvýšenej geomagnetickej aktivity sme v tejto časti štúdie vychádzali z predpokladu, že príčinou tých najintenzívnejších magnetických búrok sú zvyčajne výrony koronálnej hmoty [pozri napr. 15, s. 177]. Z pozorovaní korónografu na palube družice SOHO si môžeme urobiť istú predstavu o tom, aké bolo medziplanetárne prostredie v blízkosti Slnka počas poslednej tretiny slnečnej rotácie č. 2553 (pozri tabuľku 2).

Tab. 2 Výrony koronálnej hmoty pozorované počas poslednej tretiny slnečnej rotácie č. 2553. Pri údajoch, ktoré sú oddelované lomkou, je naľavo od lomky údaj podľa SOHO/LASCO CME Catalog [3] a napravo podľa katalógu CACTus [13, 14].

| Čas nástupu (dátum a čas UT) | Vlastnosti pozorovaného výronu koronálnej hmoty | | |
|---------------------------------|---|-----------------|-----------------------|
| | uhlový rozsah (°) | rýchlosť (km/s) | odhad času príchodu |
| 16.10.20 13:25/13:36 | 55 / 38 | 271 / 488 | polnoc 20. – 21.10.20 |
| 18.10.20 09:12/09:24 | 63 / 58 | 438 / 533 | večer 21.10.20 |
| 22.10.20 13:25/12:48 | 225 / 68 | 388 / 425 | večer 26.10.20 |
| 23.10.20 23:14/ – | 79 / – | 413 / – | ráno 28.10.20 |
| 24.10.20 – /07:36 | – / 16 | – / 332 | poludnie 29.10.20 |

K údajom o rýchlostiach v tabuľke 2 je potrebné pristupovať s opatrnosťou. Nielenže samotné porovnanie rýchlostí získaných z citovaných dvoch katalógov sa od seba do istej miery líšia, navyše ide o údaje získané pozorovaním v rovine kolmej na spojnicu Slnko-Zem. Napriek tomu sa dajú niektoré zo slnečných a geomagnetických javov uviesť do pravdepodobnej súvislosti. Odhadnutý čas príchodu medziplanetárnej CME k Zemi sme určili z priemernej hodnoty udávanej v uvedených zdrojoch a chyba tohto odhadu môže byť aj väčšia ako 1 deň.

Výron, ktorý bol zo slnečnej koróny vypustený 16. októbra medzi 13 UT a 14 UT by sme s istou pravdepodobnosťou mohli považovať za pôvodcu náhleho začiatku búrky, ktorý bol pozorovaný 19. októbra o 14:41 UT. Podobne, CME z 18. októbra by mohlo byť príčinou náhleho začiatku búrky, ktorý nastal 23. októbra o 13:20 UT. Koronálny výron vypustený zo Slnka 22. októbra, ako aj posledné dva výrony v tabuľke 2 (pravdepodobne ide o tú istú CME spozorovanú jednotlivými zdrojmi v rôznych časoch) mohli pridať na intenzite už rozvinutej geomagnetickej búrke.

Korotujúce interakčné regióny a geomagnetická aktivita

Ako sme spomenuli vyššie, v obdobiach veľmi nízkej slnečnej aktivity sa môžu príčinou najsilnejších pozorovaných búrok stať aj korotujúce interakčné regióny; vznikajú tam, kde rýchlejší slnečný vietor koronálnej diery tlačí na okraj oblasti s pomalším slnečným vetrom. V tejto časti našej štúdie teda preskúmame aj túto možnosť. Tabuľka 3 uvádza informácie o koronálnych dierach, ktoré boli identifikované v medziplanetárnom priestore medzi Zemou a Slnkom v druhej polovici októbra 2020 [9].

Tab. 3 Koronálne diery identifikované od polovice do konca októbra 2020 podľa [9].

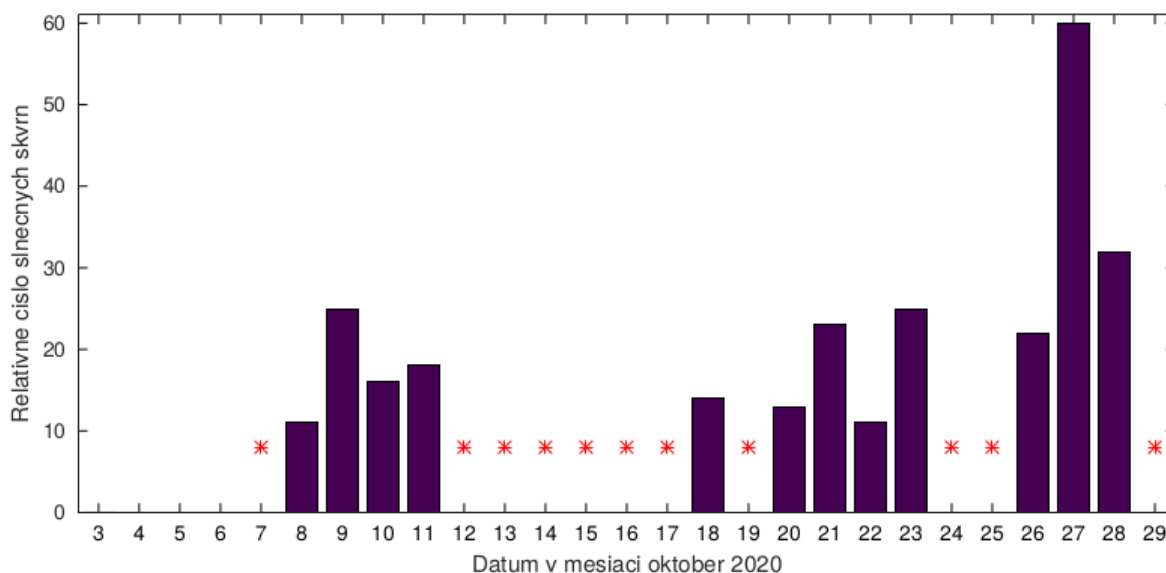
| Identifikačné číslo koronálnej diery | Trvanie orientácie diery smerom k Zemi | Trvanie geomagnetickej poruchy | Maximálna rýchlosť slnečného vetra |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| CH975 | 16.10.20 až 17.10.20 | 19.10.20 až 21.10.20 | 443 km/s |
| CH976 | 19.10.20 až 24.10.20 | 23.10.20 až 29.10.20 | 570 km/s |

Prejavy koronálnych dier v poruchách geomagnetického poľa, ktoré uvádza tabuľka 3, veľmi dobre koincidujú so zvýšenou geomagnetickou aktivitou, ktorú sme pozorovali aj na geomagnetickom observatóriu v Hurbanove počas slnečnej rotácie č. 2553 (pozri obr. 2).

DISKUSIA A ZÁVER

Geomagnetická aktivita pozorovaná v roku 2020 na Geomagnetickom observatóriu ÚVZ SAV v Hurbanove bola veľmi slabá. Tento fakt dobre súhlasí s tým, že roky 2019 a 2020 predstavovali pravdepodobne aj obdobie minima slnečnej aktivity v rámci 11-ročného cyklu slnečnej aktivity, ako to dokumentuje časový rad medzinárodného relatívneho čísla slnečných škvŕn na obrázku 1. Tento obrázok zároveň naznačuje predpovede na súčasný rok (t. j. 2021) a na začiatok nasledujúceho roka (t. j. 2022). Predpokladá sa, že v blízkej budúcnosti bude slnečná a spoločne s ňou aj geomagnetická aktivita stúpať na intenzite.

V tejto štúdii sme sa podrobnejšie zamerali na jedno konkrétne obdobie s vyššou geomagnetickou aktivitou. Išlo o poruchy geomagnetického poľa súvisiace s vývojom slnečnej aktivity v rotácii č. 2553 koncom októbra 2020. Relatívne číslo slnečných škvŕn podľa pozorovaní Slovenskej ústrednej hviezdárne v Hurbanove ukazuje obrázok 3. Vidíme na ňom, že slnečná aktivita postupne narastala z hodnoty 0 v prvých štyroch (možno až piatich?) dňoch tejto slnečnej rotácie na vyššie hodnoty relatívneho čísla v neskorších obdobiach trvania rotácie. Krátko pred koncom rotácie, 27. októbra 2020, bola hodnota relatívneho čísla pozorovaná v Hurbanove rovná 60. Napriek tomu, že je to najvyššia hodnota, ktorú v týchto dňoch v Hurbanove zaznamenali, pri porovnaní s hodnotami aké sa bežne vyskytujú v čase maxima slnečnej aktivity (napr. pozri rok 2014 v obr. 1, keď relatívne číslo často presahovalo hodnotu 200), to stále nie je veľké číslo. Vzhľadom na vyššie spomenutý trend nárastu slnečnej aktivity v nasledujúcich rokoch, môžeme takmer s istotou povedať, že v niekoľkých najbližších rokoch nastanú oveľa intenzívnejšie magnetické búrky ako boli tie z októbra 2020.



Obr. 3 Relatívne číslo slnečných škvŕn počas slnečnej rotácie č. 2553 podľa pozorovaní Slovenskej ústrednej hviezdárne v Hurbanove [12]. Červená hviezdička označuje dni, počas ktorých relatívne číslo nebolo určené kvôli meteorologickým či technickým prekážkam. Počas prvých štyroch dní (t. j. od 3. do 6. októbra 2020) bolo pozorované relatívne číslo 0, neskôr sa hodnota čísla zvýšila.

Pri pátraní po príčinách zvýšenej geomagnetickej aktivity v októbri 2020 sme zistili, že mierne búrky, ktoré sa vtedy vyskytli, mohli byť spôsobené výronmi koronálnej hmoty alebo korotujúcimi interakčnými regiónmi, súvisiacimi s prítomnosťou koronálnych dier. Pre tieto javy boli na kozmických sondách pozorované konkrétne udalosti, ktoré by sme mohli označiť za pôvodcov búrok; je pravdepodobné, že mohlo ísť o kombináciu týchto pôvodcov.

Spomedzi výronov koronálnej hmoty mohli zohrať najvýznamnejšiu úlohu tie, ktoré boli zo Slnka vyvrhnuté 16., 18. a 22. októbra. Prvé dve mohli spôsobiť náhle začiatky búrok, zatiaľ čo tretia mohla prispieť k zintenzívneniu už prebiehajúcej magnetickej búrky. Proti významnej úlohe tejto trojice koronálnych výronov však hovorí ich malá uhlová šírka; jedine výron z 22. októbra bol v katalógoch označený ako „partial halo CME“, aj to iba v katalógu [3]. Spomenuté označenie znamená, že výron má pomerne veľký uhlový rozsah, hoci nie taký veľký ako „full halo CME“. Uhlový rozsah je pritom informáciou, ktorá do istej miery naznačuje, či vyvrhnutá koronálna plazma smeruje k Zemi alebo sa šíri iným smerom; napríklad pre výron označený za „full halo CME“, ktorý má uhlovú šírku 360°, sa dá povedať, že s pravdepodobnosťou 0,5 mieri k Zemi (a s rovnakou pravdepodobnosťou, že sa od Zeme vzdáľuje).

Pozorovania koronálnych dier v októbri 2020 koincidujú s geomagnetickou aktivitou veľmi dobre. Je teda vysoko pravdepodobné, že pri rozvoji geomagnetických búrok v druhej polovici októbra 2020 zohrali tieto úkazy, a možno aj s nimi spojené korotujúce interakčné regióny, zásadnú úlohu. V obdobiach minimálnej slnečnej aktivity býva konfigurácia slnečného, a tým aj medziplanetárneho magnetického poľa taká, že koronálne diery sa môžu dostať do roviny ekliptiky a vplyvať na zemské magnetické pole. To bol zrejme tiež prípad búrkového obdobia v druhej polovici (resp. v poslednej dekáde) októbra 2020.

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. Autori sa chcú poďakovať observatóriu Ebre a Belgickému kráľovskému observatóriu, a tiež v týchto inštitúciách sídliacim svetovým dátovým centrom, menovite Medzinárodnej službe pre rapídne magnetické variácie a Svetovému dátovému centru pre produkciu medzinárodného čísla slnečných škvŕn, za vyhodnocovanie a uverejňovanie informácií o náhlych začiatkoch búrok a relatívnych čísel. Autori sú vďační príslušným vedcom a inštitúciám za udržiavanie a neustále dopĺňanie katalógov o slnečných a koronálnych pozorovaniach: za SOHO/LASCO CME katalóg ďakujeme dátovému centru CDAW, pracujúcemu v rámci NASA, Katolíckej univerzite Ameriky a Námornému výskumnému laboratóriu (SOHO je spoločným projektom agentúr ESA a NASA); za katalóg CACTus vďačíme jeho tvorcom a udržiavateľom (E. Robbrecht, B. Bourgoignie a D. Berghmans) a ESA; za vyhodnocovanie údajov o koronálnych dierach má naše uznanie a vďaku Jan Alvestad; za pozorovania, vyhodnocovanie a zverejňovanie slnečných škvŕn ďakujeme aj Vedeckovýskumnému a pozorovateľskému oddeleniu Slovenskej ústrednej hviezdárne v Hurbanove.

LITERATÚRA

- [1] Prigancová, A., Vörös, Z. *On 100-year history of the Hurbanovo Geomagnetic Observatory*. Contributions to Geophysics and Geodesy, 2001, 31, 1, 1-241.
- [2] Vidovenec, M. *The observatory in Hurbanovo since its establishment up to nowadays*. Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Death of Dr. Nicolaus Thege-Konkoly, and 145th Anniversary of the Founding of the Hurbanovo Observatory, edited by E. Koči, Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo 2017, ISBN 978-80-85221-91-6.
- [3] Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michalek, G., Stenborg, G., Vourlidas, A., Freeland, S., Howard, R. *The SOHO/LASCO CME Catalog*. Earth, Moon, and Planets, 2009, vol.104, 295-313.
- [4] Váczyová, M., Valach, F. *Metódy na určenie K-indexov z meraní na geomagnetickom observatóriu pre štúdium kozmického počasia a klímy*. Zborník XI. medzinárodnej vedeckej konferencie Univerzity J. Selyeho 2019, Sekcia Systémy na podporu rozhodovania, matematika a informatika, Editori: T. Kmeť a Š. Gubo, UJS Komárno 2019, 51-59.
- [5] Boteler, D. H. *Geomagnetic hazards to conducting networks*. Natural Hazards, 2003, 28/2-3, 537-561. <https://doi.org/10.1023/a:1022902713136>
- [6] Centra Technologies (Schieb, P.-A., Gibson, A.) *Geomagnetic storms*. Multi-Disciplinary Issues, International Futures Programme, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2011, p. 69.
- [7] Silso, World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number, [dostupné online <http://sidc.be/silso/>], [dňa 15. 04. 2021].
- [8] Revallo, M., Valach, F., Hejda, P., Bochniček, J. *Modeling of CME and CIR driven geomagnetic storms by means of artificial neural networks*. Contributions to Geophysics and Geodesy, Vol. 45/1, 2015, 53-65.
- [9] Alvestad, J. *Solar Terrestrial Activity Report: Coronal hole history*. [dostupné online https://solen.info/solar/coronal_holes.html], [dňa 21. 04. 2021].
- [10] INTERMAGNET Technical Reference Manual, Version 4.6. Edited by: St-L.Benoît, Based on the original document edited by D. F. Trigg and R. L. Coles, Prepared by D. Regimbald, [online www.intermagnet.org], 2012.
- [11] Observatori de l'Ebre. International service on rapid magnetic variations, [dostupné online <http://www.obsebre.es/en/rapid>], [dňa 15. 04. 2021].
- [12] Dorotovič, I., Hodálová, E., Pastorek, L., Kuvik, I. *Slničná aktivita a magnetické pole Zeme*. Odborno-pozorovateľské oddelenie Slovenskej ústrednej hviezdárne, Hurbanovo, [dostupné online www.suh.sk/obs/aktivita/akokt20.htm], [dňa 15. 04. 2021].
- [13] Robbrecht, E., Berghmans, D. 2004 *Automated recognition of coronal mass ejections (CMEs) in near-real-time data*. Astronomy and Astrophysics, 2004, 425, 3, 1097-1106. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041302>
- [14] Robbrecht, E., Berghmans, D., Van Der Linden, R. A. M. *Automated LASCO CME catalog for solar cycle 23: Are CMEs scale invariant?* Astrophysical Journal, 2009, 691, 2, 1222-1234.
- [15] Valach, F. *Magnetické búrky: Fyzikálne základy*. Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo 2020, ISBN 978-80-89998-11-1.