Mgr. Vít Kunický

Geomagnetická superbouře

Anotace

Příspěvek je věnován tématu geomagnetické superbouře (její průběh, dopady, respektive pravděpodobnost této eventuality). Dále je uveden popis možných protiopatření vůči této situaci.

Klíčová slova

Divoké karty, černé labutě, geomagnetická bouře, bezpečnostní systém, opatření.

Summary

The paper is devoted to the topic of the geomagnetic superstorm (its course, impacts, or likelihood of this eventuality). Mentioned is also description of possible countermeasures against this situation.

Keywords

Wild cards, black swans, geomagnetic storm, security, measures.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Geomagnetická superbouře

Divokou kartou, které je věnována tato studie, se dá nazvat termínem *geomagnetická superbouře*. Jedná se o silnější modifikaci jevu, ke kterému běžně dochází a označuje se odborným termínem *geomagnetická bouře* či *elektromagnetická bouře*. Všechny tyto pojmy však v zásadě znamenají totéž – jedná se o náhlé narušení magnetosféry Země, ke kterému dochází při interakci proudu nabitých částic vyvržených Sluncem s magnetosférou Země.[1] Jedná se jeden z jevů tzv. *kosmického počasí*. Jelikož je geomagnetická bouře způsobená sluneční aktivitou, pojďme se na úvod velmi stručně podívat na Slunce.

Slunce je Zemi nejbližší hvězda, bez níž by na naší planetě nemohl existovat (minimálně ve formě, jak ho známe dnes) život. Slunce je však zároveň jakýsi obrovský magnet. Jeho magnetické (a neustále měnící se) pole ovlivňuje velké množství procesů, které na Slunci probíhají. Stejně jako na jiných hvězdách je Slunce místem obrovského množství fyzikálních a chemických procesů, z kterých získává energii, a kterou následně uvolňuje do vesmírného prostoru. Hlavním zdrojem sluneční energie pak jsou termonukleární reakce probíhající v jádru Slunce. Co se celkově procesů na Slunci týká, daly by se rozdělit do dvou kategorií – na ty relativně kontinuální a na ty, které pravidelně nebo neustále neprobíhají. Většina slunečních aktivit pak spadá do druhé kategorie.[2]

Mezi projevy sluneční aktivity patří například výskyt slunečních skvrn, slunečních erupcí, koronární ejekce hmoty (*coronal mass ejection, CME*), či různé druhy záření. Intenzita těchto projevů se časem různě mění, pravděpodobně v určitých cyklech. Jako základní cyklus je uváděno časové období přibližně 11 let, ve kterém si Slunce projde od minima svojí aktivity (minimum slunečních skvrn či slunečních erupcí) přes svoje maximum (velké množství slunečních skvrn, silné sluneční erupce i několikrát denně) až znovu do svého minima. Sami od sebe se však liší i samotné jedenáctileté cykly a tak se má za to, že slunečních cyklů existuje víc. Uvádí se i cykly s větší délkou – 22 let, 80 let, 200 let ale i 800 let.[3]

Z hlediska geomagnetické bouře jsou důležité zejména procesy slunečních erupcí. Za „normálního“ stavu Slunce uvolňuje do všech směrů meziplanetárního prostoru proudy nabitých částic (protonů, elektronů, částic alfa a těžkých jader), které se označují za *sluneční vítr*. Pro lidstvo sluneční vítr nepředstavuje problém, jelikož je Země chráněna svým magnetickým polem, které nabité částice odráží. Do atmosféry Země mohou tyto částice za běžného stavu pronikat většinou pouze v polárních oblastech, kde je magnetické pole Země slabší a na obloze tak díky interakci nabitých částic s atmosférou vzniká esteticky a lidským okem pozorovatelný jev nazývaný jako *polární záře*.[4]

---

[1] The Sun-Earth Connection: Heliophysics Solar Storm and Space Weather – Frequently Asked Questions. *National Aeronautics and Space Administration*. 16. XII. 2014. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#.VRZlxvmG-ZA

[2] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z:http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

[3] GEMBEC, Martin a Eva MARKOVÁ. Slunce. *Astronomický informační server astro.cz*. 2015 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://www.astro.cz/na-obloze/slunce.html

[4] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

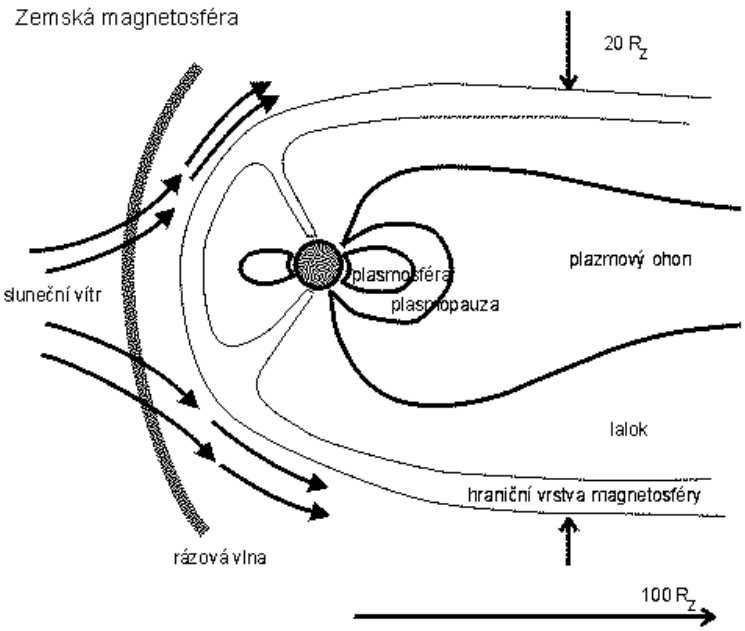
V případě velmi silných slunečních erupcí však může být vstříc Zemi „vystřeleno“ mnohem větší množství nabitých částic, pohybujících se navíc mnohonásobně vyšší rychlostí. V takovém případě dochází k narušení magnetického zemského pole a modernímu lidstvu závislém na moderních technologiích (pozemní a kosmické infrastruktuře) tak vzniká problém.

Průběh a dopady

Průběh

Jak již bylo zmíněno, před počátkem vzniku geomagnetické bouře je silná sluneční erupce. Během erupce je uvolněno velké množství rentgenového, ultrafialového (UV) a gama záření spolu s rychlými svazky částic. Sluneční erupce jsou navíc často spojeny s vyvržením koronální hmoty, což je vlastně horké sluneční plazma. Slunce je od Země vzdáleno asi 8,5 světelných minut, což může být přibližně doba, za jakou výše uvedená záření mohou nejdříve dorazit k Zemi, většinou je to ale déle jelikož jsou průletem vesmírem mírně brzděny. Nabité částice tak většinou dorazí v rozmezí 20 minut až několika hodin.[5]

Jakmile se nabité částice střetnou se zemským magnetickým polem, to funguje jako jakýsi deštník, který nabité částice odstiňuje a ty tak „sklouzávají“ do prostoru za Zemí. Zajímavostí je, že magnetické pole Země není všude stejné, směrem ke Slunci je vlivem slunečního větru „zmáčknuté“ a tedy užší než na odvrácené straně kde zasahuje daleko do prostoru.



Obrázek: Zemské magnetické pole.[6]

[5] The Sun-Earth Connection: Heliophysics Solar Storm and Space Weather – Frequently Asked Questions. *National Aeronautics and Space Administration*. 16. XII. 2014. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#.VRZlxvmG-ZA

[6] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Žádné nabité částice se působením slunečního větru díky magnetickému poli nedostanou na zemský povrch. Některé se však mohou dostat alespoň do zemské atmosféry, ovšem pouze v okolí zemských pólů, kde se nachází hranice plazmového chvostu magnetického pole. To jsou místa, kde se vyskytují zpětné proudy částic, které průnik do atmosféry (a tím vznik polární záře) umožňují.[7] Elektricky nabité částice zároveň mění charakter ionosféry, což je část atmosféry, která významně ovlivňuje šíření elektromagnetických signálů.[8]

V případě, že je proud nabitých částic silnější (částice mají vyšší energii, zejména z důvodu jejich vyšší rychlosti), magnetické pole Země se smrští. V takovém případě mohou částice pronikat do atmosféry nejen v polárních oblastech, ale i v oblastech blíže rovníku.[9] Magnetické pole Země se mění, čímž nastává geomagnetická bouře. Sluneční erupce většinou trvají minuty až hodiny, nabité částice ale mohou zemské magnetické pole ovlivňovat po delší časový úsek (dny až týdny).[10] Částice navíc neproudí konstantně, nýbrž v „rázových vlnách“, čímž dochází ke krátkodobým fluktuacím magnetického pole. Těmito změnami se ve vodičích na nejvíce ovlivněných místech na Zemi indukují elektrické proudy, které mohou poškodit elektronická zařízení.[11] Síla geomagnetické bouře může být navýšena tehdy, kdy k Zemi dorazí výron koronální hmoty (jestliže byl spojen se sluneční erupcí). Plazma takto vyvržené k Zemi dorazí později než proudy nabitých částic a záření, jelikož se nepohybuje rychlostí světla, ale maximálně rychlostí 2 500 km/s. Většinou tak k Zemi dorazí během desítek hodin nebo několika dní.[12]

Příznakem pro laiky, že právě může probíhat geomagnetická bouře je možnost být svědky polární záře i v místech, kde se obyčejně nevyskytuje. Polární záře by teoreticky mohla být sledována ve všech koutech světa.

Klasifikace geomagnetických bouří

Na velikosti respektive závažnosti geomagnetické bouře má vliv síla sluneční erupce. Síla slunečních erupcí se hodnotí podle uvolněné energie, konkrétně podle množství uvolněného rentgenového záření. Existuje čtyřstupňová škála, kde jsou jednotlivé stupně od nejnižšího po nejvyšší označeny písmeny B, C, M a X. Každý z těchto stupňů se pak ještě rozlišuje

---

[7] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

[8] Země čelí následkům silné solární bouře, navigace mohou mít problémy. *Novinky.cz*. 17. III. 2015. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.novinky.cz/veda-skoly/364526-zeme-celi-nasledkum-silne-solarni-boure-navigace-mohou-mit-problemy.html

[9] ŠVANDA, Michal a Petr HORÁLEK. Konec světa 2012 (3. díl): Sežehne nás Slunce? ŠVANDA. *Astronomický informační server astro.cz*. 1. IV. 2010. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/konec-sveta-2012-3-dil-sezehne-nas-slunce.html

[10] The Sun-Earth Connection: Heliophysics Solar Storm and Space Weather – Frequently Asked Questions. *National Aeronautics and Space Administration*. 16. XII. 2014. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#.VRZlxvmG-ZA

[11] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

[12] LÁZŇOVSKÝ, Matouš a Michal ŠVANDA. Slunce nás může uvrhnout do temnoty. Ale spíš Američany, říká fyzik. ŠVANDA. *iDNES.cz.* 23. IV. 2012. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/michal-svanda-rozhovor-slunecni-boure-dhn-/tec_vesmir.aspx?c=A120417_204526_tec_vesmir_mla

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

podstupnici 0-9. Nejslabší sluneční bouře tak nese označení B0, naopak nejvyšší X9.[13] Sluneční erupce nejsou žádným výjimečným jevem, objevují se i několikrát do týdne ale naprostá většina z nich spadá do nejslabších kategorií.

Pro měření velikosti samotné geomagnetické bouře existuje samostatná stupnice. Měřením velikosti geomagnetických bouří ze zabývá například americký Národní úřad pro oceány a atmosféru (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*) který má svůj vlastní útvar pro předpověď kosmického počasí *Space weather prediction Center* (SWPC). Škála stupnice elektromagnetických bouří je pětistupňová, značená písmeny G1 až G5, kde G5 znamená nejzávažnější.[14]

[13] Spaceweather Glossary: The Classification of X-ray Solar Flares. *SpaceWeather.com*. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://spaceweather.com/glossary/flareclasses.html

[14] National Oceanic and Atmospheric Administration Space Weather Scales. *National Oceanic and Atmospheric Administration / National Weather Service: Space Weather Prediction Center*. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Dopady

Na rozdíl od srážky vesmírného tělesa a erupce supervulkánu by geomagnetická bouře neměla být z hlediska života fatální. Alespoň primárně. Nabité částice se až k zemskému povrchu díky magnetosféře a atmosféře nedostanou a samotné změny magnetického pole by neměly přímo poškodit životy ani zdraví živých organismu, tedy ani lidí, zvířat či vegetace. Zásadní dopad by však geomagnetická bouře měla na moderní technologie, včetně samotné elektřiny, což jsou komodity, na kterých je dnešní lidská civilizace závislá. Případná silná geomagnetická bouře by mohla poškodit pozemní a kosmickou infrastrukturu a způsobit masivní výpadky zásobování elektřinou (*blackout*). Dle nejčernějších scénářů by se lidstvo v důsledku elektromagnetické superbouře mohlo vrátit zpět o desítky let, některé zdroje hovoří dokonce o období středověku.

Družice a satelity na oběžné dráze Země by byly prvními objekty, které by byly postiženy a to v relativně krátké době od sluneční erupce. Jak již bylo zmíněno výše, sluneční záření a svazky nabitých částic můžou dorazit za dvacet minut. Nabité proudy částic by mohly poškodit elektroniku satelitů, čímž by byly jejich funkce závažně poškozeny, případně až kompletně vyřazeny z provozu. Vzhledem k tomu, že dnešní satelity zajišťují fungování mobilních sítí, televizního a rozhlasového vysílání, internetu, navigačních systémů či předpovědi počasí, lidstvo by se muselo bez těchto výdobytků moderní doby na nějaký čas obejít. Nejen že by nefungovalo spojení s jinými částmi světa, ale třeba ani linky tísňového volání. Spolu s družicemi by se ve vážném ohrožení ocitli astronomové na Mezinárodní vesmírné stanici. Je totiž před svazky nabitých částic nechrání atmosféra a tak by mohli být zasaženi smrtelnou dávkou ionizujícího záření.[15] V případě, že by nebyly poškozeny všechny satelity, potíže se šířením radiových vln by způsobovalo narušení ionosféry, ke kterému by rovněž došlo mezi prvními následky. Nejen výše uvedená satelitní vysílání, ale úplně všechny rádiem ovládané předměty by se tak mohly chovat nestandardně a při fungování činit potíže, ať už se jedná o vysílačky, námořní či leteckou navigaci, radary nebo rádiem ovládaná garážová vrata.

Změny magnetického pole Země vyvolávající indukční proudy ve vodičích by na povrchu planety ničily elektrická zařízení a rozvodné sítě. Postihnuty by byly mj. dráty vysokého napětí, kde by se naindukoval obrovský proud a mohlo by docházet během sekund k přehřátí a následnému roztavení transformátorů v elektrárnách.[16] Naindukované proudy v rozvodné elektrické síti by navíc mohly poničit elektrická zařízení na ní napojená – mohlo by dojít k poničení počítačů včetně datových úložišť a médií všeho druhu.[17] Dnešní elektrické rozvaděče jsou navíc propojené, a tak by se celkový výpadek rovnal kaskádě výpadků v rámci

[15] LÁZŇOVSKÝ, Matouš a Michal ŠVANDA. Slunce nás může uvrhnout do temnoty. Ale spíš Američany, říká fyzik. ŠVANDA. *iDNES.cz.* 23. IV. 2012 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/michal-svanda-rozhovor-slunecni-boure-dhn-/tec_vesmir.aspx?c=A120417_204526_tec_vesmir_mla

[16] Budiž tma!: Lidstvo se bez elektřiny vrací do středověku! *Epocha.* 9. V. 2013, roč. 2013, č. 10, s. 38.

[17] POŽÁR, Josef a Oldřich KRULÍK. Elektromagnetická bouře jako katastrofický scénář pro moderní technickou společnost. *Scientific Reflection of New Trends in Management: 4. virtuální vědecká konference s mezinárodní účastí*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2013, s. 109-116. ISBN 978-80-7251-405-2.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

domino efektu.[18] Nastaly by tak rozsáhlé a závažné výpadky dodávek elektřiny a mnoho míst na světě by se tak rázem ocitla bez ní. Počítače, ledničky, topení, klimatizace, veřejné osvětlení, bankovní systémy, semafory, vlaky, tramvaje, metro, výtahy, čističky odpadních vod či doplňování paliv, to vše a o mnoho více dalších by mohlo být postiženo. Razantně by se zvýšilo například i riziko požárů (svícení svíčkami, výboje elektrických drátů) ale bez možnosti okamžitě nahlásit požár na tísňovou linku hasičského záchranného sboru.

Poškozeny by byly i zařízení na dalších rozvodných sítích jako jsou ropovody, plynovody ale i rozvody pitné vody. Mohlo by dojít ke globálnímu kolapsu infrastruktury, což je fenomén, který na naší planetě nikdy nenastal a s kterým se jako s možným scénářem vývoje budoucnosti příliš nepočítá. Kolapsem globální infrastruktury by byla ohrožena distribuce důležitých surovin a výrobků. Omezeny by byly výpadkem elektřiny i další běžné služby. Některé důležité instituce a budovy (např. nemocnice) naopak mají vlastní záložní zdroje energie, zajišťované převážně dieselovými generátory. Ty je však potřeba doplňovat palivem, aby mohly fungovat, a zásoby v takovýchto institucích jsou většinou schopné pokrýt maximálně několik dní.[19] Přesto by třeba péče v nemocnicích byla značně omezena.

Různé zdroje udávají různá časová období, po která by výpadky dodávek elektřiny mohly trvat. Někde se hovoří dokonce až o měsících trvajícím výpadku elektrické energie a rocích do kompletní obnovy. Jak by na takovouto situaci reagovali lidé si lze těžko představit. I přestože k místně a časově omezeným výpadkům dodávek elektřiny na naší planetě již mnohokrát došlo, vztáhnout tyto případy na mnohem širší měřítko je velmi těžko představitelné. Smutným faktem je, že lidé dokáží i během krátkých výpadků elektřiny panikařit. Příkladem může být výpadek proudu z noci 13. na 14. července 1977, který postihl New York. Většina města se ocitla vlivem přetížení sítě bez elektřiny a následkem jedné noci bez dodávek elektrického zůstalo 1 600 obchodů vyrabováno a desítky z nich byly zapáleny. Davy lidí se zúčastnily bojů s policisty, během nichž bylo 550 policistů zraněno. Celkové škody utrpěné během této jedné jediné noci byly vyčísleny na 300 milionů dolarů.[20] Dá se důvodně předpokládat, že k podobnému chování lidí by došlo i v případě výpadků trvajícího týdny, měsíce či dokonce roky. Vzhledem k výše zmíněným aspektů by pravdě-podobně mohl nastat problém s dodávkami pitné vody a potravin a pro nejčernější scénáře dlouhotrvajícího blackoutu není vyloučeno, že by mohla nastat anarchie, kde by byl každý jedinec sám za sebe s jediným cílem – přežít. Prostředí, ve kterém nastane nedostatek potravin a pitné vody a ve kterém zároveň nefungují komunikační prostředky a linky tísňového volání, jsou pro anarchii ideální „Petriho miskou“.

Přehled vybraných geomagnetických bouří z historie

Geomagnetické bouře sice probíhaly pravděpodobně po celou dobu existence naší planety (a jejího magnetického pole), zaznamenat je však dokážeme až v moderní době různými měřicími přístroji. Zároveň dříve neexistovala žádná zařízení, která by mohla být

[18] Obří sluneční bouře bude pro moderní svět katastrofou, varují vědci. *iDNES.cz*. 13. I. 2009. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/obri-slunecni-boure-bude-pro-moderni-svet-katastrofou-varuji-vedci-1fx-/zahranicni.aspx?c=A090113_122219_vedatech_ad
[19] Budiž tma!: Lidstvo se bez elektřiny vrací do středověku! *Epocha.* 9. V. 2013, roč. 2013, č. 10, s. 38-39.
[20] Budiž tma!: Lidstvo se bez elektřiny vrací do středověku! *Epocha.* 9. V. 2013, roč. 2013, č. 10, s. 39.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

elektromagnetickou bouří poškozena, a tak o síle či množství lidstvem nezaznamenaných superbouří nemáme žádné informace.

Geomagnetická superbouře z 1. září 1859

Pravděpodobně vůbec první zaznamená a zároveň doposud nejsilnější geo-magnetická bouře, s jakou se zatím lidstvo setkalo, nastala v roce 1859. K tomu, že lidstvo zaznamenalo sluneční erupci a mohlo si ji dát později do souvislosti s následnou geomagnetickou bouří, vděčíme anglickému astronomovi Richardu Carringtonovi, který v té době shodou okolností zkoumal sluneční skvrny na Slunci, které zakresloval a postřehl tak jejich změnu. Následující den poté, co Carrington změny na Slunci zaznamenal, bylo možné pozorovat polární záři po téměř celé planetě. Lidé tento jev mohli sledovat například na Kubě, Jamajce nebo Havaji, tedy v téměř tropických místech kde se polární záře běžně nevyskytuje. Polární záře se zjevila ještě před svítáním, ale byla tak intenzivní, že bylo možné číst noviny stejně jako za denního světla. V celé telegrafní síti v Severní Americe a Evropě indukovaly proudy, které telegrafní sítě vyřadily z provozu. Docházelo ke zkratům v telegrafních drátech a někde tyto zkraty dokonce způsobily požáry. Někteří operátoři telegrafů utrpěly od telegrafů ránu elektrickým proudem. Rovněž byly zaznamenané případy, kdy naopak telegrafy fungovaly i poté, co byly odpojeny od baterie, a bylo možné z telegrafů odpojených od sítě posílat zprávy. Tyto události zaznamenané během této události byly hojně popisovány v novinách po celém světe.[21] Škody, které tato geomagnetická superbouře způsobila, nebyly nijak extrémně závažné. Přeci jen, rok 1859 stále patřil do období uhlí a páry.

Geomagnetická bouře z 12-13. března 1989

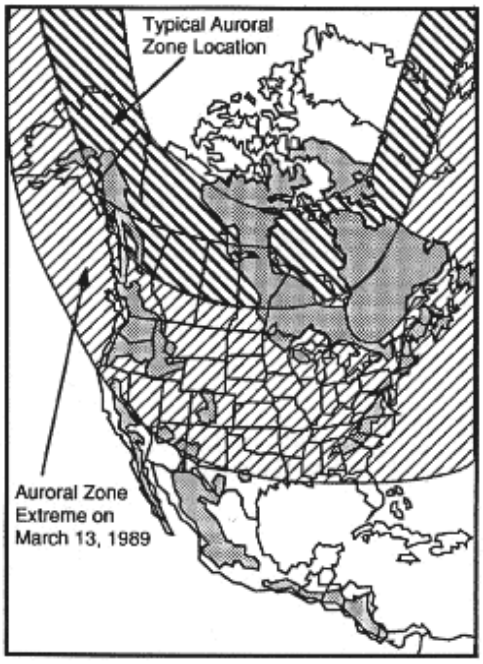
Dne 10. března 1989 byly astronomové svědky velké sluneční erupce. Uvolnila asi miliardu tun hmoty, která se vydala vstříc Zemi rychlostí asi 1,6 milionů kilometrů za hodinu. Během několika minut došlo na některých místech Země k rušení rádiového spojení, včetně relací rádia Svobodná Evropa vysílaného do Sovětského svazu. Vládní garnitura Spojených států si nejprve myslela, že se jedná o práci Kremlu. O dva dny později k Zemi dorazila koronární hmota a započala geomagnetická bouře, která lidstvu způsobila ze všech elektro-magnetických bouří doposud nejvyšší škody. Polární záře byla opět sledovatelná na místech jako Kuba či Florida. Co se škod týká, problémy zaznamenalo několik rozvodních sítí v Severní Americe (New York, Nová Anglie), nejvíce však byla postižena ta kanadská, v oblasti Québecu. Ta nevydržela přetížení způsobené naindukovanými proudy a zhroutila se během méně než dvou minut. Trvalo 12 hodin, než byly dodávky elektrické energie v celé síti obnoveny a bez proudu tak po tuto dobu zůstaly miliony lidí. Kromě toho byly na několik hodin vyřazeny některé satelity na oběžné dráze Země, problémy měl i raketoplán *Discovery* (jeden ze senzorů ukazující zásoby vodíku z ničeho nic začal hlásit nebezpečně vysoký tlak v nádrži, po odeznění bouře se kontrolka vrátila do normálu).[22] Jenom opravy kanadské

[21] BELL, Trudy a Tony PHILLIPS. A Super Solar Flare. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 6. V. 2008 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/06may_carringtonflare/

[22] ODENWALD, Sten. The Day the Sun Brought Darkness. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 13. III. 2009. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html#.VRcSO_mG-ZA

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

rozvodné sítě stály více jak 20 milionů kanadských dolarů.[23] Celkové škody však byly mnohem vyšší. Výpadek elektřiny uzavřel školy a obchody, v Montrealu i metro či letiště.[24]



Ilustrace: Porovnání viditelnosti polární záře v běžných dnech a dne 13. března v Severní Americe.[25]

Geomagnetická bouře z roku 2003

K o poznání slabší, přesto na Zemi zaznamenatelné, geomagnetické bouři došlo v roce 2003. Koronální hmota vyvržená ze Slunce ovlivňovala zemské magnetické pole mezi 19. říjnem a 7. listopadem uvedeného roku. Menší komplikace zaznamenaly některé satelitní a komunikační systému, musely být měněny trasy některý letů a rovněž došlo k asi hodinovému výpadku elektrické energie ve Švédsku. Zajímavostí je, že ke sluneční erupci, která tuto bouři způsobila, došlo 2-3 roky po dosažení maxima slunečního cyklu, tedy v době kdy je sluneční aktivita většinou na ústupu.[26]

---

[23] ŠVANDA, Michal a Petr HORÁLEK. Konec světa 2012 (3. díl): Sežehne nás Slunce?. ŠVANDA. *Astronomický informační server astro.cz*. 1. IV. 2010. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/konec-sveta-2012-3-dil-sezehne-nas-slunce.html

[24] ODENWALD, Sten. The Day the Sun Brought Darkness. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 13. III. 2009. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html#.VRcSO_mG-ZA

[25] ODENWALD, Sten. The Day the Sun Brought Darkness. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 13. III. 2009. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html#.VRcSO_mG-ZA

[26] Halloween Storms of 2003 Still the Scariest. *National Aeronautics and Space Administration*. 27. X. 2008. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/halloween_storms.html#.VRcspPmG-ZA

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Sluneční erupce z 23. července 2012

Událost popsaná v následujícím odstavci geomagnetickou bouří nebyla, ale pokládám za vhodné zde o této události informovat, i z důvodu že média jí v roce kdy k ní došlo, téměř nevěnovaly pozornost (přestože se udála v roce 2012, který by se dal označit za „rok apokalyptických zpráv"). K opravdu velmi silné sluneční erupci došlo 23. července 2012. Naštěstí pro Zemi však nastala na straně Slunce tou dobou Zemi odvrácené. Erupce byla dobře zmonitorována sondou STEREO-A a byla označena za nejsilnější sluneční erupci za posledních více jak 150 let. Její síla by se dala srovnat s tou z roku 1859. Jenom přímé škody, které by tato sluneční erupce mohla na Zemi geomagnetickou bouří způsobit, byly Národní akademií věd Spojených států amerických vyčísleny na dvacetinásobek škod způsobených hurikánem Katrina – celkově tedy více než 2 biliony amerických dolarů![27] To je více jak 50 bilionů českých korun, tedy částka která je více jak 41x vyšší než výdaje státního rozpočtu České republiky pro rok 2015!

Pravděpodobnost v číslech

Jak již bylo řečeno výše, lidstvo má jakési záznamy o sluneční aktivitě přibližně pouze 155 let nazpět. Z tohoto pohledu je složité snažit se zodpovědět otázku pravděpodobnosti příchodu geomagnetické superbouře. Přesto se však někteří vědci snahou o výpočet takové pravděpodobnosti zabývali.

V roce 2014 zveřejnil fyzik Pete Riley článek věnující se pravděpodobnosti výskytu extrémního kosmického počasí v časopise *Space Weather*. Na základě studie slunečních erupcí z posledních 50 let pomocí extrapolace trendů vypočítal pravděpodobnost, že bude Země v příštích deseti letech zasažena geomagnetickou bouří o síle té z roku 1859. Výsledek je možná až překvapivě vysoký, činí 12%.[28]

Podle již zmiňované škály stupnice závažnosti geomagnetických bouří na Zemi dle Space Weather Prediciton Center dochází k nejzávažnějšímu pátému stupni G5 přibližně 4x za jeden sluneční cyklus (11 let). Ne vždy se ale i přes sílu G5 musí jednat o závažnou geomagnetickou bouři na úrovni té z roku 1859.

Další názor vyjádřil český astrofyzik Marián Karlický, který naopak tvrdí, že k opravdu silným slunečním supererupcím by mělo docházet pouze jednou za 800 až 5 000 let, což by mělo korespondovat i s četností výskytu opravdu silných geomagnetických superbouří.[29]

Ať už má pravdu kdokoliv z výše uvedených, bez ohledu na číselně vyjádřenou pravděpodobnost, k zajímavému závěru došel Daniel Baker z Coloradské univerzity spolu

---

[27] PHILLIPS, Tony. Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 23. VII. 2012. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/

[28] PHILLIPS, Tony. Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 23. VII. 2012. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/

[29] *Meteor* [rozhlasový pořad]. ČRo 2 – Praha. 28. II. 2015. 08:05.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

s kolegy z Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*) a dalších univerzit. V roce 2013 publikovali vědeckou studii věnovanou sluneční supererupci z roku 2012. Jedním ze závěrů studie je poznatek, že kdyby k výše zmíněné sluneční erupci nedošlo 23. července, ale o pouhý týden dříve, Země by jí byla zasažena.[30] Jestliže jsou závěry Bakera a spol. pravdivé, lidstvo tak uniklo katastrofě, nevědeckou terminologií, doslova „o chlup“.

Možná protiopatření

Lidstvo není schopno zabránit silné sluneční erupci a následnému vzniku geomagnetické bouře. Existují však možnosti, jak následky takové události zmírnit. Důležitou roli rovněž hraje sledování aktivity Slunce.

Sledování Slunce

Pokud je silná sluneční erupce zaznamenána, je možné předpovědět vznik geomagnetické bouře. Současní astrofyzikové se dokonce snaží přijít na modely, které by umožnily předpovídat chování Slunce a tedy i samotných sluneční erupcí. Mluví se o tom, že jsou v této aktivitě na úrovni meteorologů před padesáti lety. Za posledních padesát let byly pro meteorologii vytvořeny modely umožňující předpovídat počasí až na týden dopředu, v případě kosmického počasí je však situace složitější.[31] Předpovídání slunečních erupcí patří mezi vůbec nejsložitější disciplíny sluneční fyziky.[32]

Sledování Slunce se aktivně věnuje Národní úřad pro letectví a kosmonautiku a Evropská vesmírná agentura, ale i vědci z různých zemí světa, včetně České republiky (Sluneční oddělení Astronomického Ústavu Akademie věd České republiky). Čistě pro pozorování Slunce je ve vesmíru umístěno několik sond, které poskytují o sluneční aktivitě množství dat 24 hodin denně. Díky nim se ví o slunečních erupcích téměř okamžitě, modely pro šíření oblaku plazmatu koronární hmoty jsou však poměrně nepřesné. Některé sondy jsou ale umístěny ve vesmírném prostoru mimo oběžnou dráhu Země v prostoru mezi Sluncem a Zemí v tzv. Lagrangeově bodu 1 (místo, kde se gravitační síla Slunce a Země vyrovnávají, asi 1,5 milionu kilometrů od Země). To je místo, kterým musí projít i oblak hmoty uvolněný ze Slunce směřující k Zemi a tyto družice parametry oblaku měří a poskytnou přesnější údaje. Od této chvíle je v případě potvrzení blížící se geomagnetické bouře většinou ještě alespoň 20 minut na to, přijmout na Zemi různá opatření.[33]

---

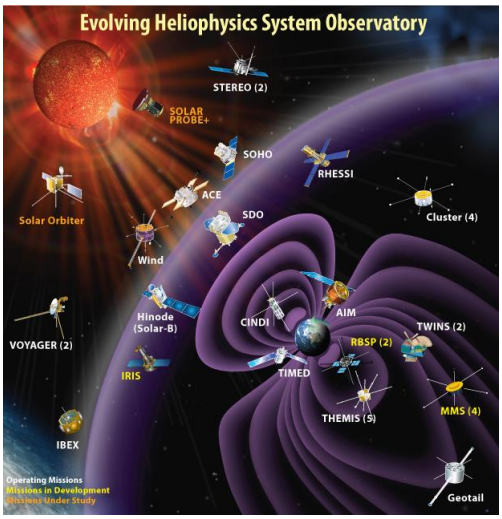
[30] PHILLIPS, Tony. Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012. *National Aeronautics and Space Administration Science*. 23. VII. 2012. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/

[31] PETR, Jaroslav. Geomagnetická superbouře. *VTM.cz*. 1. IV. 2010. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://vtm.e15.cz/clanek/geomagneticka-superboure

[32] ŠVANDA, Michal. Kosmické počasí. *Internetová domovenka Michala Švandy*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm

[33] LÁZŇOVSKÝ, Matouš a Michal ŠVANDA. Slunce nás může uvrhnout do temnoty. Ale spíš Američany, říká fyzik. ŠVANDA. *iDNES.cz*. 23. IV. 2012. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/michal-svanda-rozhovor-slunecni-boure-dhn-/tec_vesmir.aspx?c=A120417_204526_tec_vesmir_mla

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz



Ilustrace: Sondy zapojené do monitorování sluneční fyziky.[34]

Ve Spojených státech má monitoring aktivit Slunce a případné varování na starosti Space Weather Prediction Center, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). To se dokonce snaží vydávat týdenní předpovědi sluneční aktivity, přestože realita může být často jiná. V Evropě monitorování aktivity Slunce někdy označovanou jako „sluneční patrola“ zajišťuje Evropská vesmírná agentura.[35]

Možnosti reakce

Jak již bylo řečeno, prvními zasaženými jsou v případě geomagnetické bouře satelity a družice. Jejich odstínění od nabitých částic není v současné době možné, respektive stálo by enormní finanční prostředky. Finančně nejlevnějším řešením by bylo mít na Zemi připraveny záložní flotily družic, které by se do vesmíru vyslaly po odeznění geomagnetické bouře.[36]

Co se ochrany rozvodných sítí a zejména elektrických transformátorů týká, ta se jeví jako klíčová. Možným (a dle Švandy nejlepším) řešením jak chránit rozvodné sítě je jejich včasné vypnutí. Pokud budou rozvodné sítě po dobu nejhorších účinků geomagnetické bouře vypnuty, nebudou poškozeny a následně budou moci být relativně snadno opětovně zprovozněny. Jak Švanda tvrdí, *„jistě bychom v případě spolehlivého varování přežili několikahodinovou bezpečnostní odstávku služeb za cenu záchrany technologií“*.[37] Pokud sítě nelze vypnout, bylo by vhodné je minimálně rozpojit na menší „ostrovy“, jelikož se v menších

---

[34] Solar Storm and Space Weather – Frequently Asked Questions. *National Aeronautics and Space Administration*. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#.VRe12vmsWZB

[35] POŽÁR, Josef a Oldřich KRULÍK. Elektromagnetická bouře jako katastrofický scénář pro moderní technickou společnost. *Scientific Reflection of New Trends in Management: 4. virtuální vědecká konference s mezinárodní účastí*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2013, s. 109-116. ISBN 978-80-7251-405-2.

[36] LÁZŇOVSKÝ, Matouš a Michal ŠVANDA. Slunce nás může uvrhnout do temnoty. Ale spíš Američany, říká fyzik. Švanda. *iDNES.cz*. 23. IV. 2012. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/michal-svanda-rozhovor-slunecni-boure-dhn-/tec_vesmir.aspx?c=A120417_204526_tec_vesmir_mla

[37] Odpověď na dotazník, viz Příloha.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

soustavách lépe regulují indukované proudy. „Ostrovní provoz“ má však svá úskalí při opětovném propojování, které ze znovu-propojení činí obtížný úkol a proto se v praxi příliš nevyužívá. Další možností, jak rozvodné sítě chránit je investice do technického řešení. To spočívá nainstalování velkých kondenzátorů, které dokáží odfiltrovat indukované proudy a chránit tak rozvodné sítě před poškozením. Realizace toho řešení zase stojí nad nemalou finanční překážkou. To je i důvodem, proč je v Severní Americe přibližně pouze 150 takových zařízení, místo ideálních 300, které by byly schopné ochránit tamní rozvodné sítě.[38]

Další kroky, které se dají v rámci možnosti snížení následků silné geomagnetické bouře udělat, spadají do oblasti prevence. Je vhodné zajistit dostatečnou informovanost občanů nejen o možnosti výpadku elektrické energie, ale i dalších komunikačních systémů a snažit se tímto způsobem předejít panice. Stejně tak lépe na tom budou lidé a instituce, které se příliš nespoléhají na moderní technologie. U institucí se toto týká jakéhosi odstupu od „digitalizace všeho druhu“, čili alespoň částečného spoléhání se na klasický papír a archivy dokumentů ve stylu „hard copy“.[39]

Cvičení

V roce 2010 proběhla mezinárodní konference v Coloradu, zaměřená na geomagnetickou bouři, kterou spolu-uspořádala americká Federální agentura pro zvládání krizí (*Federal Emergency Management Agency, FEMA*) a švédské Civilní agentury pro nepředvídané události *(Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB*). Konference se však zúčastnily i další instituce, včetně zástupců Evropské unie, Evropské komise, amerického Národního úřadu pro počasí (*National Weather Service, NWS*) a National Oceanic and Atmospheric Administration. Dvoudenní workshop zdůraznil potřebu mezinárodní spolupráce pro oblasti připravenosti a řízení odezvy vůči geomagnetické bouři. Na konferenci byly porovnávány plány, strategie a procedury pro přípravu a odezvu na rozsáhlou katastrofu typu geomagnetické bouře, používané ve Spojených státech amerických a Evropě. V rámci konference bylo uskutečněno i cvičení, rozdělené na dvě části. První bylo věnované možnostem detekce obrovské sluneční erupce a slunečního záření, druhé se týkalo reakce na geomagnetickou bouři. Pokládám za zajímavé zde uvést téměř kompletní znění úvodního scénáře druhé situace.[40]

Obrovská sluneční erupce započala 25. února 2010, v době kdy na severovýchodě Spojených států amerických a v Severní Evropě propuklo mrazivé počasí. Objevily se závažné problémy elektrické rozvodné sítě, a značné fluktuace rozvodu elektrické energie postihly i přenosovou soustavu. Během jedné hodiny došlo ke kaskádovému výpadku dodávek elektřiny na východě Spojených států amerických a Kanady. Elektrárny hlásily značné počty transformátorů mimo

---

[38] LÁZŇOVSKÝ, Matouš a Michal ŠVANDA. Slunce nás může uvrhnout do temnoty. Ale spíš Američany, říká fyzik. Švanda. *iDNES.cz*. 23. IV. 2012. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/michal-svanda-rozhovor-slunecni-boure-dhn-/tec_vesmir.aspx?c=A120417_204526_tec_vesmir_mla

[39] POŽÁR, Josef a Oldřich KRULÍK. Elektromagnetická bouře jako katastrofický scénář pro moderní technickou společnost. *Scientific Reflection of New Trends in Management: 4. virtuální vědecká konference s mezinárodní účastí*. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2013, s. 109-116. ISBN 978-80-7251-405-2.

[40] Managing Critical Disasters in the Transatlantic Domain – The Case of a Geomagnetic Storm: Workshop Summary. *Federal Emergency Management Agency*. 2010 [cit. 2015-04-03].
Dostupné z: http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1739-25045-3067/summary_geomag.txt

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

provoz, jejichž náhrady či opravy zaberou týdny či měsíce. Tento fakt vyvolal obavy nad možným kolapsem kritické infrastruktury se ztrátou dodávek vody, likvidací odpadních vod, nemocniční péčí, telefonních služeb a dodávek zásobování. Hlášeny byly výpadky z provozu některých satelitů a mobilní sítě jsou značně narušeny. Závažné problémy jsou zaznamenány rovněž v Severní Evropě. Značné výpadky dodávek elektřiny jsou hlášeny až na jihu Švédsku, ve Skotsku, v Severní Anglii a dalších místech Severní Evropy. Výpadky elektřiny mají rozsáhlý dopad na mezinárodní leteckou dopravu a bankovní systémy. Extrémní geomagnetická bouře trvala 24 hodin. Plné obnovení americké elektrické rozvodné sítě je očekáváno za 6 měsíců. Předpokládá se, že velké množství obydlených bude bez proudu po měsíce.[41]

Zajímavá je v této souvislosti odpověď Michala Švandy, že výzkum Slunce patří v České republice mezi tradiční oblasti výzkumu, ale na druhé straně je **„v poslední době mimo zájem vládních priorit“**. Zajímavý byl i příklad překážek, které v oblasti tohoto výzkumu existují. *„Když před lety vyrazili pracovníci Astronomického ústavu Akademie věd České republiky v Ondřejově na české rozvodné závody s návrhem spolupráce (zajímali se o případné projevy sluneční aktivity v tuzemské rozvodné síti), narazili na hradbu neochoty a naprostého nezájmu o problematiku, byť ze strany rozvodných závodů by znamenala spolupráce pouze poskytnutí archívu mimořádných událostí. To myslím dobře demonstruje zapojení nevědeckých institucí do sledované oblasti“,* uvedl rovněž Švanda.

Geomagnetické bouři lidstvo zabránit nedokáže, umí však zmírnit následky. Problém jsou vysoké finanční náklady na technologická zařízení, která by byla schopná chránit rozvodnou elektrickou síť.

[41] Managing Critical Disasters in the Transatlantic Domain – The Case of a Geomagnetic Storm: Workshop Summary. *Federal Emergency Management Agency*. 2010 [cit. 2015-04-03].
Dostupné z: http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1739-25045-3067/summary_geomag.txt

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Příloha: Dotazník

1) Jste toho názoru, že je silná geomagnetická bouře významnou hrozbou, kterou by se lidstvo, včetně České republiky, mělo zabývat? Jestliže ne, prosím zdůvodněte. Pakliže ano, myslíte si, že je jím bezpečností komunitou věnována dostatečná pozornost?

2) Nakolik pravděpodobnou tuto hrozbu považujete?

3) Existují vůbec nějaké způsoby, jak riziko plynoucí z této hrozby odvrátit a tím této mimořádné události předejít, nebo minimálně snížit její nepříznivé následky? (případně jaké)

4) V případě že nějaké způsoby existují, jsou tyto způsoby čistě teoretickou záležitostí, nebo už došlo k nějakým konkrétním přípravám či pokusům k jejich případnému provedení?

5) Které státy či instituce se (v rámci planety) sledované problematice nejvíce věnují?

6) Je Česká republika nějakým způsobem zapojena do aktivit souvisejícími se sledovanou oblastí? Uveďte prosím konkrétní příklady.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Příloha: Odpovědi na dotazník – Mgr. Michal Švanda, Ph.D.

Mgr. Michal Švanda, Ph.D., je vědeckým pracovníkem Astronomického ústavu University Karlovy a Astronomického ústavu *Akademie věd České republiky. Zabývá se sluneční fyzikou, zejména dynamickým děním ve sluneční atmosféře a v podpovrchových vrstvách a helioseismologií. Od roku 2009 pracoval tři roky pro Institut Maxe Plancka pro výzkum Sluneční soustavy v Katlenburg-Lindau v Německu*.[42]

1) Ano, domnívám se, že geomagnetickou superbouří jsme jako civilizace ohroženi, a to včetně České republiky, i když zde spíše nepřímo. Ostatně erupce, k níž došlo 23. 7. 2012 na odvrácené straně Slunce a jež byla velmi podrobně studována ze sondy STEREO-A, jež byla výronem sluneční hmoty přímo zasažena, ukazuje, jak jsou tyto události mocné a přitom bohužel v současnosti nepředpověditelné. Kdyby bývalo k této erupci došlo na přivrácené straně Slunce, byla by významně poškozena pozemní i kosmická technická infrastruktura, na níž stojí základy naší civilizace. Přímé škody způsobené touto erupcí byly jen pro Spojené státy americké odhadnuty na dvacetinásobek škod způsobených hurikánem Katrina. I přes tyto vážné hrozby se domnívám, že "vlivům Slunce" není věnována dostatečná pozornost odpovědných osob v České republice, neboť jsme ukolébáni domněnkou, že nás se takové události přímo netýkají, že hůře jsou na tom severské země a ty by se tím tedy měly zabývat.

2) Takovou pravděpodobnost nesnadno vyčíslit. Odhady Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku mluví o superbouři statisticky jednou za sto let. Z historie známe události z 1. září 1859, silnou bouři 13. května 1921 a mnohé další slabší události s měřitelnými dopady. Z moderních přístrojových pozorování však víme o silných erupcích ze 4. listopadu 2003 nebo právě z 23. července 2012, které Zemi nezasáhly, ale kdyby ano, šlo by o události mimořádné síly, zejména ta poslední by se dopady snadno měřila se superbouří z roku 1859.

3) Slunečním erupcím zabránit nelze, nelze ani zabránit jejich vlivu na Zemi a její okolí. Lze však snížit jejich nepříznivé důsledky. Pokud budeme mluvit o superbouřích s očekávanými katastrofálními dopady, tak by zřejmě nebylo možné nijak ochránit techniku na oběžné dráze Země (např. komunikační nebo navigační satelity) a zde se zdá být jedinou smysluplnou ochranou mít na Zemi připravené jejich náhrady k okamžitému vypuštění. Dnes dostupnými (avšak drahými) prostředky lze ochránit rozvodné sítě (zejména klíčové transformátory) a to předřazením frekvenčních filtrů. A v neposlední řadě lze dopady omezit použitím té správné strategie. Zdokonalíme-li analytické metody využívající sluneční pozorování a prediktivní schopnosti vyhodnocujících algoritmů, jistě bychom v případě spolehlivého varování přežili několikahodinovou bezpečnostní odstávku služeb za cenu záchrany technologií.

4) Frekvenční filtry jsou v rozvodných sítích běžně instalovány, avšak v těch nejohroženějších oblastech (severské země, Spojené státy americké, Kanada) je jich instalováno málo. Optimálně by každý klíčový transformátor měl mít frekvenční filtr na každém svém vstupu. Předpovědní schopnosti programů používaných ve světových centrech pro výzkum

[42] ŠVANDA, Michal. Může způsobit sluneční bouře návrat do středověku? Jak se chránit?. *Tajemství vesmíru*. 19. V. 2014. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://www.tajemstvi-vesmiru.cz/muze-zpusobit-slunecni-boure-navrat-do-stredoveku

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

kosmického počasí (např. Boulder nebo Meteorologická služba Velké Británie) se rok od roku zlepšují, stále je však nutné je považovat za nedostatečné.

5) Pokud mluvíme o civilním sektoru, tak tradičně se sledování kosmického počasí věnují instituce ve Spojených státech amerických, dále ve Spojeném království, Irsku, v severských zemích. Tedy v zemích, které jsou vrtochy sluneční aktivity přímo ohroženy nejvíce.

6) Česká republika přímo ohrožena nejspíše není. Tuzemská rozvodná síť je však součástí evropské rozvodné sítě a případný kaskádní kolaps vyvolaný výpadky v severských zemích by se nejspíše nevyhnul ani nám. Astronomický ústav Akademie věd České republiky v Ondřejově je zapojen do celosvětové sítě center spojujících instituce sledující sluneční aktivity, vydává denní a týdenní (vždy ve čtvrtek) výhledy sluneční aktivity, jejichž odběratelé jsou však především zahraniční zájemci. Výzkum Slunce je v České republice tradiční oblastí základního výzkumu, který je zejména v poslední době naprosto mimo zájem vládních priorit.

Když před lety vyrazili pracovníci Astronomického ústavu Akademie věd České republiky v Ondřejově na Českou energetickou přenosovou soustavu s návrhem spolupráce (zajímali se případné projevy sluneční aktivity v tuzemské rozvodné síti), narazili na hradbu neochoty a naprostého nezájmu o problematiku, byť ze strany rozvodných závodů by znamenala spolupráce pouze poskytnutí archívu mimořádných událostí. To myslím dobře demonstruje zapojení nevědeckých institucí do sledované oblasti.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

Příloha: Odpovědi na dotazník – Ing. Josef Bochníček, CSc.

Ing. Josef Bochníček, CSc., je výzkumným vědeckým pracovníkem Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky z oddělení Geomagnetiky, jež se zabývá studiem geomagnetiky Země, včetně geomagnetických bouří. Mezi jeho odborné zájmy patří dopady slunečních erupcí a dalších slunečních jevů, kosmického větru a meziplanetárních magnetických polí na geomagnetické aktivity Země. Napsal či podílel se na tvorbě řady odborných publikací.[43]

1) Geomagnetická superbouře je podle mého názoru významnou hrozbou, kterou bychom se měli zabývat. Každá velmi silná geomagnetická bouře je spojena s vpádem částic velmi vysokých energií do zemské atmosféry, které poškozují elektronická zařízení na palubách umělých družic a ohrožují zdraví posádek a pasažérů letadel pohybujících se ve vysokých letových hladinách a vysokých geomagnetických šířkách, např. mezi Evropou a Severní Amerikou. Silná geomagnetická bouře je spojena s prudkou změnou geomagnetického pole, která je příčinou vzniku silných potenciálních rozdílů na zemském povrchu. Tyto potenciální rozdíly se naindukují na dlouhé energovody, což vede k poškození zabezpečovacích zařízení např. u ropovodů, plynovodů a elektrických přenosových soustav. Je třeba si uvědomit, že elektrické přenosové soustavy jsou dimenzovány na přenos střídavého proudu, naindukovaný potenciálový rozdíl je zdrojem stejnosměrného proudu, který může poškodit transformátory (viz známý případ z března 1989 v Kanadě).

2) Jak je super bouře pravděpodobná? Odpověď na tuto otázku je třeba hledat v odpovědi co je příčinou geomagnetické bouře. Příčinou je interakce prudkého výronu sluneční hmoty, ten bývá spojen s erupcí, se zemským magnetickým polem. Pokud má být interakce silná, musí k tomuto výronu dojít v blízkosti středu slunečního disku a rychlost vyvrženého slunečního plazmatu musí přesáhnout hodně přes 1 000 km/s. U superbouře bych očekával přes 2 000 km/s. Zdrojem takto rychlého výronu pak musí být super erupce mohutnosti X. Četnost erupcí v podstatě souvisí se slunečním cyklem. Za nejsilnější erupci a s ní spojenou nejsilnější geomagnetickou bouří je považována ta, ke které došlo v srpnu 1859, za tu která byla pro naši techniku nejničivější pak ta z března 1989. K silným erupcím a prudkým výronům sluneční hmoty může ale dojít i v době mimo sluneční maximum. Příkladem může být říjen a listopad 2003. Vzhledem k tomu, že k vyvrhování koronální hmoty dochází stále a od roku 1859 již uplynula hezká řádka let, soudím, že pravděpodobnost výskytu velmi, velmi silné geomagnetické bouře každým desetiletím vzrůstá.

3) Geomagnetickou bouři nelze odvrátit, lze ji však na den dopředu předpovědět. Snížením nepříznivých následků v elektrických přenosových soustavách v České republice se zabývá Česká energetická přenosová soustava. V případě velmi, velmi silné bouře by samozřejmě byla výrazně omezena, nebo zastavena letecká doprava a ve Skandinávii, Kanadě a Spojených státech amerických omezena i železniční doprava (kvůli poruchám zabezpečovacích zařízení).

[43] BOCHNÍČEK. *Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky*. 18. VI. 2014. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: http://www.ig.cas.cz/geomagnetika/bochnicek

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz

4) Nevím o v současné době probíhajících přípravách na superbouři. Vím jen o tom, že geomagnetická aktivita je pečlivě sledována a v případech silných bouří byly u některých letů sníženy letové hladiny.

5) Doporučuji adresu http://www.ises-spaceweather.org. Zde najdete i odpověď na otázku č. 6. Jako další adresu doporučuji http://www.swpc.noaa.gov.

Vydává: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986
Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5, http://ochab.ezin.cz, ochab@email.cz