

Mapujeme geomagnetické pole

VLADIMÍR VÍCHA¹, JAN JURICA²

¹Gymnázium, Pardubice, Dašická 1083; ÚTEF ČVUT Praha

²FEL ČVUT Praha

Při výuce fyziky mapujeme magnetické pole především v okolí průmyslově vyráběných permanentních magnetů nebo v okolí vodičů s proudem. V našem příspěvku se zaměřujeme na mapování magnetického pole Země jednak lokálně za pomoci buzoly a školního teslametru Vernier, a poté globálně za pomoci dat z teslametrů umístěných na družici Proba-V. Článek dává do souvislosti globální mapy geomagnetického pole s mapami radiačního pozadí ve výšce 820 km nad Zemí.

Buzola a železné předměty

Pilovali jste někdy železný předmět ve svěráku? Slyšeli jste, že střílka buzoly v blízkosti železných předmětů neukazuje na sever? Při prvním experimentu zjistíme, že železné piliny se na čelistech svěráku chovají trochu podobně jako mezi nesouhlasnými póly magnetu.



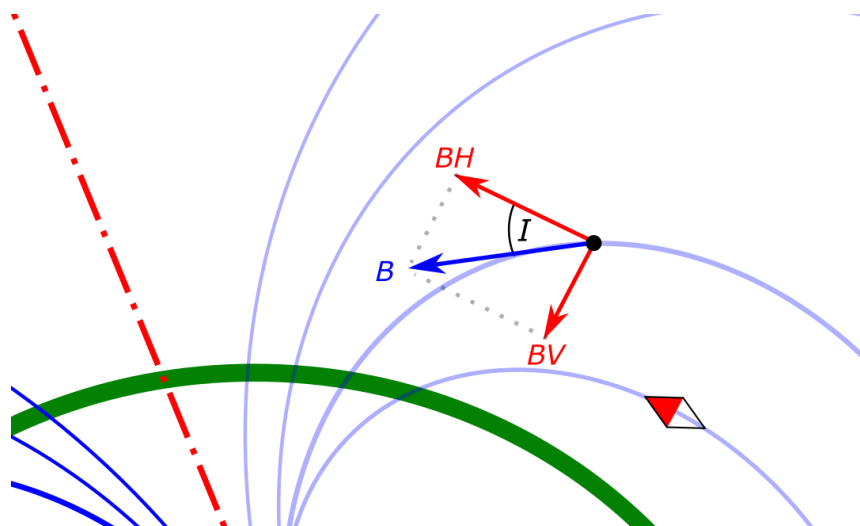
Obr. 1. Železné piliny na čelistech svěráku.

Protože piliny neferomagnetických kovů se tak nechovají, můžeme usuzovat, že svěrák se zřejmě v geomagnetickém poli zmagnetoval. Pak může svěrák nebo jiný železný předmět ovlivňovat střílku buzoly. Zkusíme tedy přiblížit buzolu k železnému předmětu. Bude se k železu přitahovat severní nebo jižní pól střílky? V našem článku se omezíme na protáhlé předměty z měkkého železa umístěné vertikálně, které si mohou žáci buzolou „osahat“ přímo v učebně (veřeje dveří, noha stolu, radiátor...). Nejspíše budou překvapeni, že nahoře se k železu přitahuje severní pól střílky a dole jižní pól střílky. Při vertikálním pohybu buzoly podél železného předmětu se střílka otočí o 180° (obr. 2).



Obr. 2. Střelka buzoly se nahoře u radiátoru přitahuje severním koncem (vlevo) a dole jižním koncem (vpravo).

Z experimentu vyplývá, že radiátory a další svislé železné tyče mají nahoře jižní pól a dole severní pól. Proč se tak zmagnetovaly, vysvětluje obr. 3.



Obr. 3. Vektor magnetické indukce B nad povrchem Země můžeme rozložit na horizontální složku B_H a vertikální složku B_V . Úhel označený I se nazývá inklinace.

Magnetické indukční čáry nad severní zemskou polokoulí vstupují do Země a vektor $\vec{B}$, který má směr tečny, můžeme rozložit na horizontální složku $\vec{B}_H$ a vertikální složku $\vec{B}_V$. Horizontální složka otáčí střelkou buzoly a vertikální složka magnetuje svisle stojící železné předměty. Vytváří z nich vlastně tyčové magnety, které mají na severní polokouli severní pól dole a na jižní polokouli severní pól nahoře. Úhel mezi vodorovným směrem a směrem $\vec{B}$ se nazývá inklinace.

Měření teslametrem Vernier

Máme-li k dispozici např. teslametr Vernier, můžeme změřit horizontální a vertikální složku magnetické indukce geomagnetického pole a vypočítat inklinaci. Měření provedeme ve vzdálenosti alespoň metr od železných předmětů. Když sondu umístíme vertikálně, určíme okamžitě $\vec{B}_V$. Jestliže sondu položíme horizontálně, budeme dostávat různé hodnoty magnetické indukce v závislosti na orientaci sondy vzhledem k poledníku. Extrémních (jednou kladných a jednou záporných, v absolutní hodnotě však sobě podobných) hodnot dosáhneme při položení sondy ve směru poledníku. Tuto hodnotu budeme považovat za $\vec{B}_H$.



Obr. 4. Měření vertikální složky magnetické indukce (vlevo) a horizontální složky magnetické indukce (vpravo) teslametrem Vernier. Vpravo má sonda směr magnetického poledníku.

Vidíme, že vertikální složka $41,0 \mu\text{T}$ má více než dvakrát větší hodnotu než složka horizontální $18,6 \mu\text{T}$. S přihlédnutím k obr. 3 můžeme z pravoúhlého trojúhelníka vypočítat inklinaci I

$$I = \arctg \frac{B_V}{B_H} = \arctg \frac{41,0}{18,6} = 65,6^\circ.$$

Vypočítáme také hodnotu magnetické indukce B (výslednice složek)

$$B = \sqrt{B_V^2 + B_H^2} = \sqrt{41,0^2 + 18,6^2} \mu\text{T} = 45,0 \mu\text{T}$$

Kalkulátor magnetického pole

Měli bychom nějakým nezávislým způsobem ověřit, zda naměřené a vypočtené hodnoty odpovídají měřením jiných experimentátorů. Pro náš účel bude vhodná webová stránka British Geological Survey: http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html, která umožňuje výpočet magnetických veličin z World Magnetic Model.

Geodetic Coordinates

Latitude: degrees minutes seconds

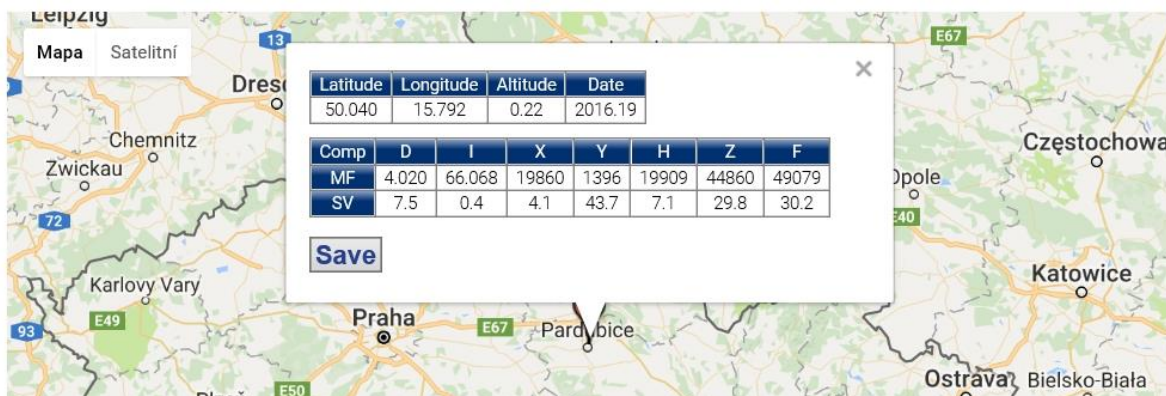
Longitude: degrees minutes seconds

Altitude: km above MSL.

Date

Date: (YYYY.YY OR YYYY-MM-DD) Please note: Date must be between 2015.0 and 2020.0

[Show result on map](#)



Obr. 5. Webová stránka British Geological Survey umožňující z matematického modelu geomagnetického pole (WMM) vypočítat pro každé místo na Zemi a pro konkrétní datum námi požadované veličiny. V řádku MF je pod I inklinace, pod H horizontální a pod Z vertikální složka magnetické indukce, pod F je magnetická indukce (výsledná). Magnetická indukce je uváděna v jednotkách nT. Jako vstupní údaje byly vloženy souřadnice GPS, nadmořská výška a čas odpovídající měření s teslametrem Vernier.

Porovnáme-li výsledky našich měření s výsledky z kalkulátoru, vidíme, že největší relativní odchylka pro magnetickou indukci je 11 %, ale inklinace se liší jen o 0,8 %.

Družice Proba-V

Kalkulátor umožňuje výpočet veličin geomagnetického pole nejen v nadmořské výšce Pardubic (0,22 km), ale i ve výšce, kde se pohybuje družice Proba-V (820 km). Porovnejme nyní veličiny I , H , Z a F pro Pardubice a ve výšce 820 km nad Pardubicemi.

Latitude	Longitude	Altitude	Date
50.040	15.792	0.22	2016.64

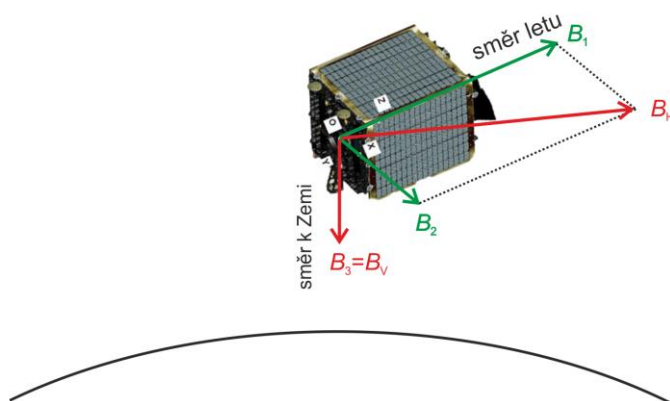
Comp	D	I	X	Y	H	Z	F
MF	4.076	66.071	19862	1415	19913	44873	49093
SV	7.5	0.4	4.1	43.7	7.2	29.8	30.2

Latitude	Longitude	Altitude	Date
50.040	15.792	820.00	2016.64

Comp	D	I	X	Y	H	Z	F
MF	2.370	65.059	14446	598	14458	31090	34287
SV	7.7	0.3	2.6	32.4	3.9	16.2	16.3

Obr. 6. Porovnání veličin geomagnetického pole na zemi v Pardubicích (nahore) a v nadmořské výšce 820 km nad Pardubicemi (dole).

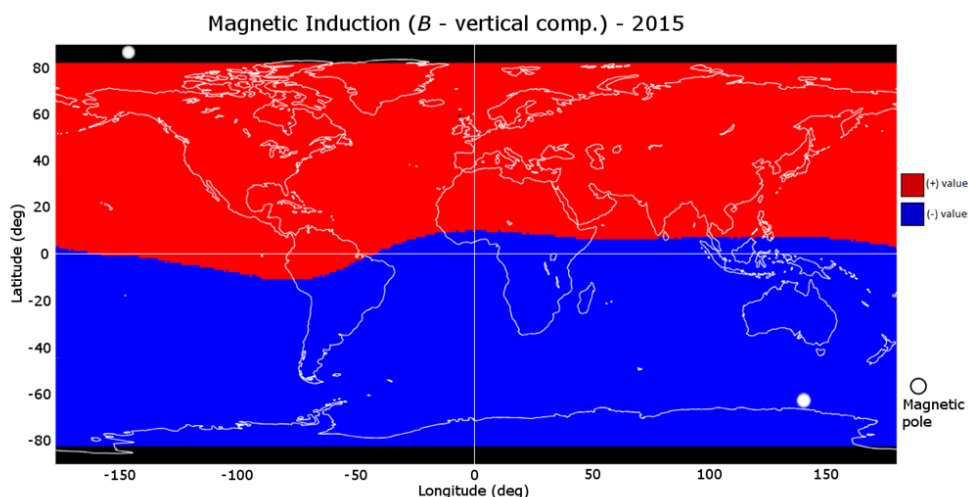
Vidíme, že hodnota magnetické indukce klesla o 43 %, a inklinace o 1° , což činí 1,6 %.
Taky tyto hodnoty z kalkulátoru můžeme porovnat s měřením geomagnetického pole, které provádí družice Proba-V a jejíž data jsou odesílána do ÚTEF ČVUT. Jsou na ní tři teslametry měřící B_1 (ve směru letu), B_2 (kolmo na směr letu) a B_3 (vertikální směr). Orientaci vektorů vidíme na obr. 7.



Obr. 7. Orientace teslametrů na družici Proba-V, která obíhá s oběžnou dobou 101 min ve výšce 820 km nad Zemí. Na družici je namontován také český pixelový detektor radiace SATRAM, který spravuje ÚTEF ČVUT v Praze.

Vertikální složka magnetické indukce je rovna hodnotě B_3 . Horizontální složku vypočítáme jako vektorový součet $\vec{B}_1 + \vec{B}_2$ (viz obr. 7). Inklinaci vypočítáme stejně jako při měření teslametrem Vernier na Zemi.

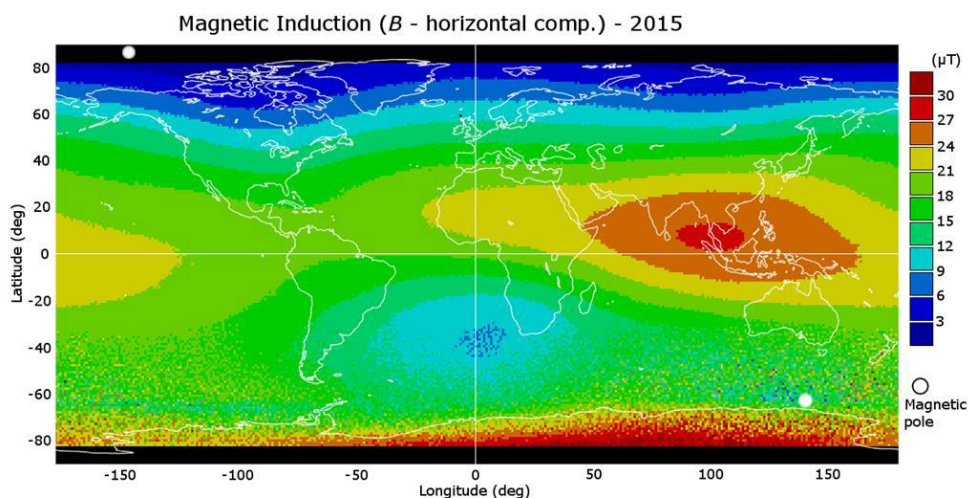
Student Gymnázia Pardubice, Dašická Jan Jurica se v letech 2015/2016 zabýval analýzou dat z družice Proba-V, ze kterých vytvářel řadu map geomagnetického pole a dával je do souvislosti s mapami radiace. Celý přehled map přesahuje rozsah tohoto článku. Ukažme si jen některé.



Obr. 8. Mapa hodnot vertikální složky B_v ukazuje magnetický rovník.

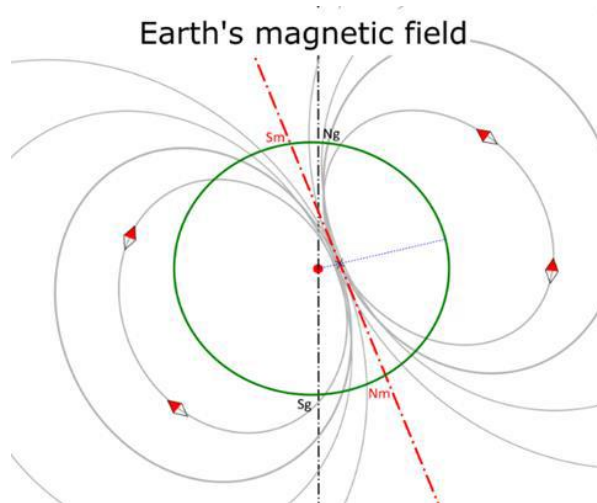
Na obr. 8 vidíme mapu, ve které je zachycena červeně kladná a modře záporná hodnota vertikální složky B_v . Kladné hodnoty odpovídají magnetické indukci mířící do Země

a záporné hodnoty indukci mířící vzhůru od Země. Hranice mezi barvami odpovídá magnetickému rovníku. Obr. 8 dokazuje, že zemský rovník není totožný s rovníkem magnetickým. Je známo, že magnetická osa je odkloněna o 11° od osy rotační.



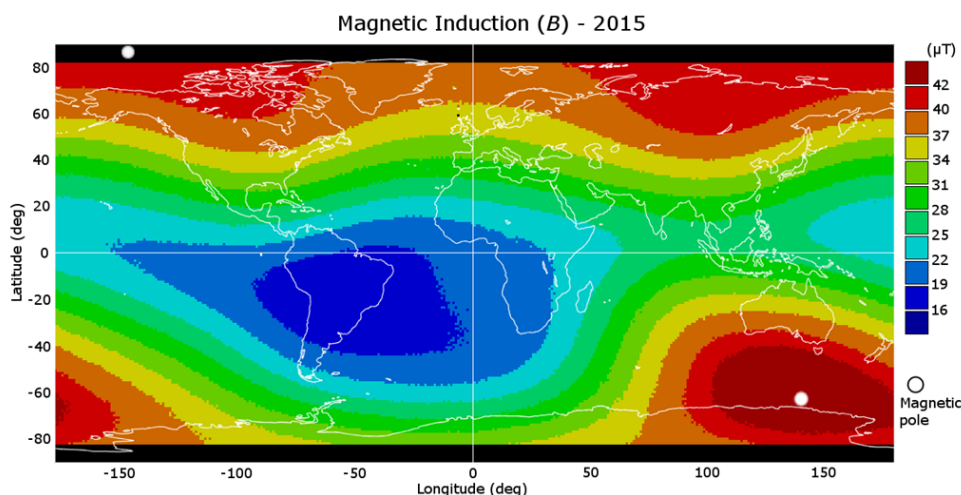
Obr. 9. Mapa hodnot horizontální složky B_H ukazuje oblast vysokých hodnot nad Malajsií.

Mapa na obr. 9 ukazuje, že nad Malajsií dosahuje B_H mezi póly nejvyšších hodnot. To dokazuje, že střed geomagnetické pole je od středu Země posunut tímto směrem.

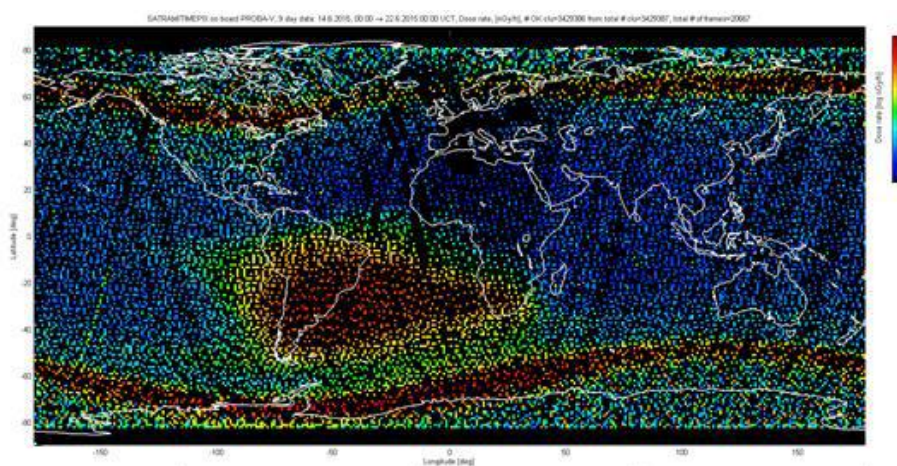


Obr. 10. Znáznornění zemské rotační osy, která prochází severním geografickým pólem (Ng) a jižním geografickým pólem (Sg) a magnetické osy, která prochází jižním magnetickým pólem (Sm) a severním magnetickým pólem (Nm). Odchylka mezi osami je přibližně 11° a od středu Země je magnetická osa posunuta směrem k Malajsií přibližně o 500 km.

Na obr. 11 je zřetelně vidět oblast nazývaná jihoatlantická anomálie, kde je geomagnetické pole vlivem posunutí magnetické osy nejslabší. To se projeví i na radiaci.



Obr. 11. Mapa hodnot B ukazuje jihoatlantickou anomálii – nejslabší geomagnetické pole.



Obr. 12. Mapa rozložení dávkového příkonu. Vidíme jihoatlantickou anomálii.

Porovnáním obr. 11 a obr. 12 vidíme, že radiace pocházející z vesmíru je nejsilnější v okolí pólů, ale především v oblasti jihoatlantické anomálie, kde je geomagnetické pole nejslabší. Prokázali jsme, že geomagnetické pole funguje jako deštník proti nabitým částicím přicházejícím z vesmíru.

Literatura

- [1] JURICA, J. *Vliv magnetického pole Země na nabitě částice pohybující se v jeho dosahu*, Středoškolská odborná činnost, Gymnázium Pardubice, Dašická 1083, 2016.
- [2] "PROBA-V website," 2013, [Online]. Available: <http://proba-v.vgt.vito.be/>
- [3] "BGS Geomagnetism," British Geological Survey, [Online]. Available: <http://www.geomag.bgs.ac.uk/>