

Historie magnetických měření v Čechách a dlouhodobé změny složek geomagnetického pole

Jaroslav Střeščík
Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha

Soustavné měření složek zemského magnetického pole bylo zahájeno v pražském Klementinu v roce 1830 jakožto první na evropském kontinentě, a skončilo v roce 1926. Současné české geomagnetické observatoře pokrývají období od r. 1952. Spolu s daty ze stanice Niemegek od r. 1890 lze všechny hodnoty přepočítat tak, aby vznikla souvislá řada pozorování 1830-2007. Magnetická deklinace v celém období stále roste, rychlost růstu však pravidelně kolísá s periodou kolem 74 let. Poslední minimum bylo pozorováno v r. 1910, maximum 1947. Také intenzita pole v horizontální složce pravidelně kolísá s velmi blízkou periodou (79 let) a s maximy a minimy přibližně ve stejných letech jako růst deklinace (max. 1906, min. 1946). Tyto změny jsou způsobeny dlouhodobou změnou polohy zemského magnetického pólu. Pól se pohybuje směrem na severozápad po přímce s mírným zvlněním, jež dává vznik popsaným periodám. Je však zajímavé, že popsané periody odpovídají 80-leté periodě ve sluneční aktivitě, což možná není náhoda, třebaže mechanismus této vazby není znám. Pohyb magnetického pólu Země by pak mohl být, byť i jen ve velmi malé míře, ovlivněn i mimozemskými faktory.

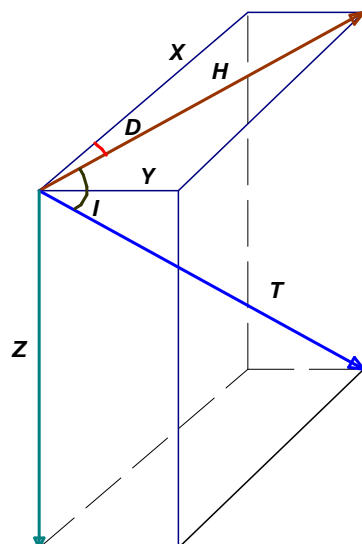
History of magnetic measurements in Bohemia and long-term changes of geomagnetic field components

Regular measurement of components of the Earth's magnetic field started in Klementinum in Prague in 1830 as the first on the European continent, and finished in 1926. Contemporary Czech geomagnetic observatories cover the period since 1952 till now. Together with the data from Niemegek (starting 1890) it is possible to convert all values so that a coherent series 1830-2007 can be prepared. Magnetic declination increases during the whole period, the speed of the increase regularly varies with the period of about 74 years. The last minimum was observed in 1910, maximum in 1947. The intensity of the field in the horizontal component varies too with nearly the same period (79 years) and nearly the same positions of maxima and minima (max. 1906, min. 1946). These changes are due to the long-term change of the position of geomagnetic pole. This pole is moving to the NW after a line with a small undulation, which causes the periods described here. It is interesting that described periods correspond to the 80-yr periodicity in solar activity, what might probably not be accidental, though the mechanism of this connection is not known. Therefore the movement of the Earth's magnetic pole might be, though in a very little extent, influenced by some extraterrestrial factors.

Mluvíme-li o vlivu zemského magnetického pole na fyzikální a biologické děje na Zemi, máme při tom na mysli obvykle geomagnetickou aktivitu, tj. krátkodobou proměnlivost hodnot tohoto pole. Ta bývá v různých dnech, měsících či letech různá, tj. pole je někdy více a jindy méně proměnlivé. Geomagnetické pole vykazuje také dlouhodobé změny, jeho hodnoty (intenzita i směr) se systematicky mění v průběhu let až staletí. K jejich zkoumání je ovšem třeba mít dostatečně dlouhou řadu pozorování.

Přímé měření celkové intenzity geomagnetického pole se dnes elegantně provádí protonovým magnetometrem. Tato metoda je však známa a používá se teprve několik desetiletí. Měření klasickými metodami je poměrně obtížné, má-li být dostatečně přesné a má-li se měřit soustavně. Proto se vždy měřily samostatně jednotlivé složky geomagnetického pole.

Intenzita geomagnetického pole se vyjadřuje v jednotkách nanotesla (nT). Celková intenzita (totální vektor T) činí kolem 50 000 nT. Důležitý je také směr geomagnetického pole. Na rovníku směřuje vodorovně k severu, na severním magnetickém pólu kolmo do země, u nás šikmo dolů směrem k severu. Totální vektor lze rozložit na jednotlivé složky, jak jsou nakresleny na obr. 1. Vertikální složka Z směřuje dolů a její intenzita se pohybuje kolem 43 000 nT, horizontální složka H míří k severu a její intenzita je kolem 20 000 nT. Směr složky H se něco málo odchyluje od geografického poledníku, protože geomagnetický pól není totožný s pólem geografickým. Nachází se na ostrovech severozápadně od Kanady a jeho poloha se s časem pomalu mění. Úhel mezi směrem složky H geomagnetického pole a geografickým poledníkem se nazývá magnetická deklinace D (je to něco zcela jiného než deklinace v astronomii) a pohybuje se u nás kolem plus dvou stupňů (tj. střílka kompasu se o tyto dva stupně odchyluje od severojižního směru k severovýchodu). Úhel mezi směrem totálního vektoru a horizontální složkou se nazývá magnetická inklinace I a ta je u nás kolem 65 stupňů. Někdy se také používají pravouhlé složky geomagnetického pole, X (k severu) a Y (k východu), jak jsou nakresleny na obr. 1. Pro názornost není velikost jednotlivých složek nakreslena ve správném měřítku, silně zvětšena je složka Y a zmenšena složka Z .



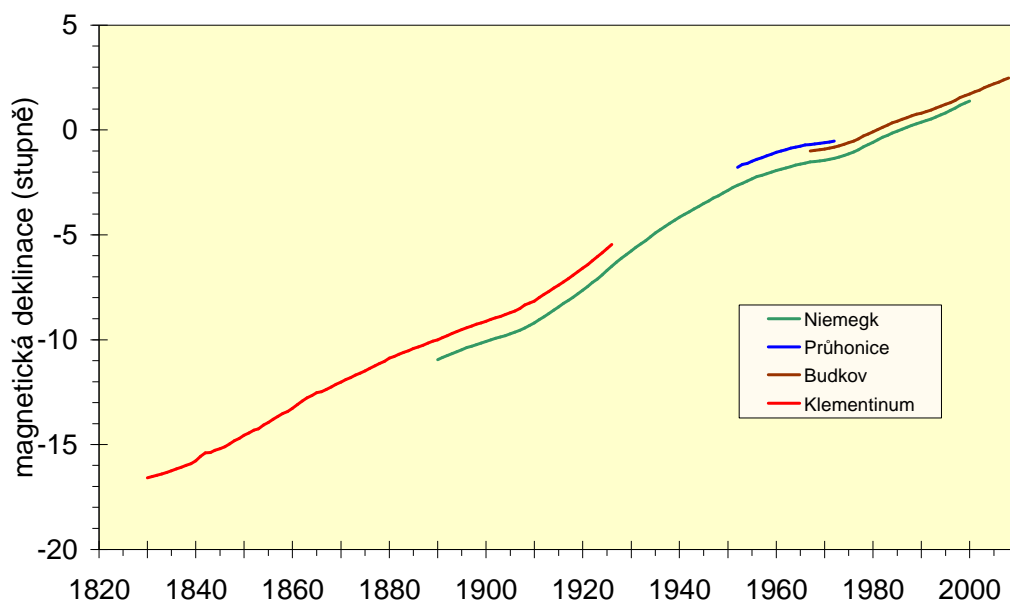
Obr. 1. Definice složek geomagnetického pole.

První soustavné měření zemského magnetického pole zahájil na tehdejší německé Karlově univerzitě v Praze Karl Kreil již v roce 1830 (Bock, Schumann, 1948). Tím se Praha stala prvním místem na evropském kontinentě, kde se takové měření provádělo. Starší data pocházejí pouze z Anglie. Magnetická měření se ovšem prováděla i na různých místech evropského kontinentu už dříve, ale vždy jen po určitou dobu, ne soustavně po delší období. V areálu Klementina se pak měření provádělo třikrát denně na stejném místě jako meteorologická pozorování, která započala už v roce 1775. Tehdy se ovšem měřila pouze deklinace D . Měření úhlů s dostatečnou přesností bylo již v astronomii v té době propracované a běžně používané. V roce 1830 činila magnetická deklinace -16° , tedy strelka kompasu se odchylovala od severojižního směru o plných 16° k západu (takže obr. 1 pro toto období by bylo třeba nakreslit stranově převrácený). Vlivem změny polohy magnetického pólu se tato odchylka postupně zmenšovala a dnes činí kolem $+2^\circ$, strelka tedy směřuje o 2° k východu, jak je nakresleno na obr. 1. V menším rozmezí se deklinace pravidelně mění v průběhu slunečního dne, v průběhu lunárního dne, v průběhu roku a v menším či větším rozsahu nepravidelně kolísá při geomagnetických poruchách. Znalost magnetické deklinace byla především v minulosti důležitá pro mořeplavce, kteří se orientovali na širém moři pouze podle kompasu. Pokusně byla měřena v Klementinu v letech 1868–1873 také magnetická inklinace, ale protože měření je náročnější a tudíž méně přesné, bylo od něho později upuštěno.

Přístroje na měření intenzity složek geomagnetického pole byly sestrojeny teprve v šedesátých letech 19. století a postupně se začaly používat pro pravidelné měření na různých stanicích. V roce 1870 bylo v pražském Klementinu započato s měřením horizontální složky pole. I tato veličina se s časem pozvolna mění. V roce 1870 byla její hodnota 19 000 nT, dnes dosahuje něco přes 20 000 nT. Také hodnoty intenzity H pravidelně i nepravidelně kolísají obdobně jako deklinace.

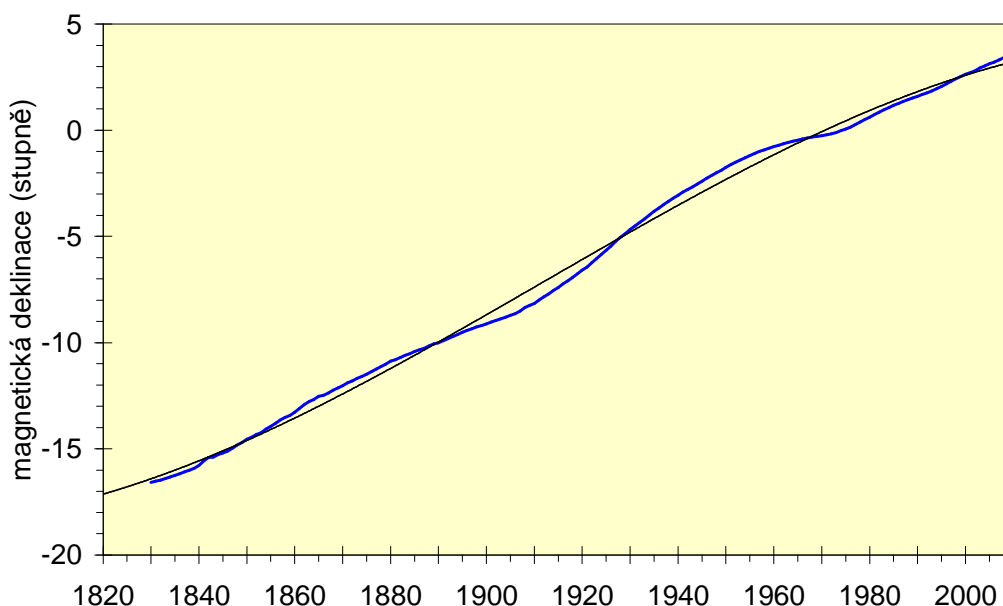
Areál Klementina se nachází v samotném centru Prahy a proto veškerá magnetická měření jsou vystavena poruchám umělého původu. Velmi zde ruší různá elektrická zařízení, především tramvajová doprava. Vzhledem k rostoucí intenzitě poruch bylo měření intenzity magnetického pole zastaveno již v roce 1904, přičemž hodnoty za poslední dva roky už nejsou dostatečně spolehlivé. Měření deklinace, která je méně citlivá na poruchy, přetrvalo až do roku 1926, kdy již úroveň poruch byla neudržitelná.

S podobným problémem se setkali ve všech zemích, kde bylo zřízeno pravidelné měření zemského magnetického pole. Ve většině zemí bylo proto již v předstihu vybráno místo, kde by magnetické měření mohlo bez rušení pokračovat (např. v Postupimi se po určitý čas měřilo na starém i novém místě současně kvůli navázání časových řad). To se bohužel u nás nepodařilo a trvalo několik desetiletí, než bylo opět započato se soustavným magnetickým měřením (zdržení také v důsledku hospodářské krize a války). Vybráno bylo nakonec místo v průhonické oboře, asi 10 km od tehdejšího okraje Prahy směrem na jihozápad. Od roku 1952 se zde měřily již všechny magnetické složky, neboť také technika měření mezitím pokročila. Avšak rostoucí elektrifikace byla původcem poruch znatelných i v Průhonících, které se ukázaly jako nevhodná lokalita pro citlivější magnetická měření. Pro tento druh měření bylo vybráno místo u obce Budkov nedaleko Husince v okrese Prachatice. Zde bylo započato s měřením mikrostruktury zemského magnetického pole u příležitosti Mezinárodního geofyzikálního roku 1958. Od roku 1967 se zde provádějí všechna magnetická měření. V Průhonících pokračovalo měření až do roku 1972, kdy bylo zastaveno po elektrifikaci tratě z Prahy do Benešova stejnosměrným proudem, pouhých 5 km od observatoře (střídavý proud na železnicích v jižních a západních Čechách magnetickému měření nevaří). V Budkově se od roku 1999 zaznamenávají údaje digitálně přes počítač každou minutu, příležitostně (pro sledování mikrostruktury) každou vteřinu.



Obr. 2. Průběh magnetické deklinace na blízkých středoevropských observatořích v letech 1830-2008.

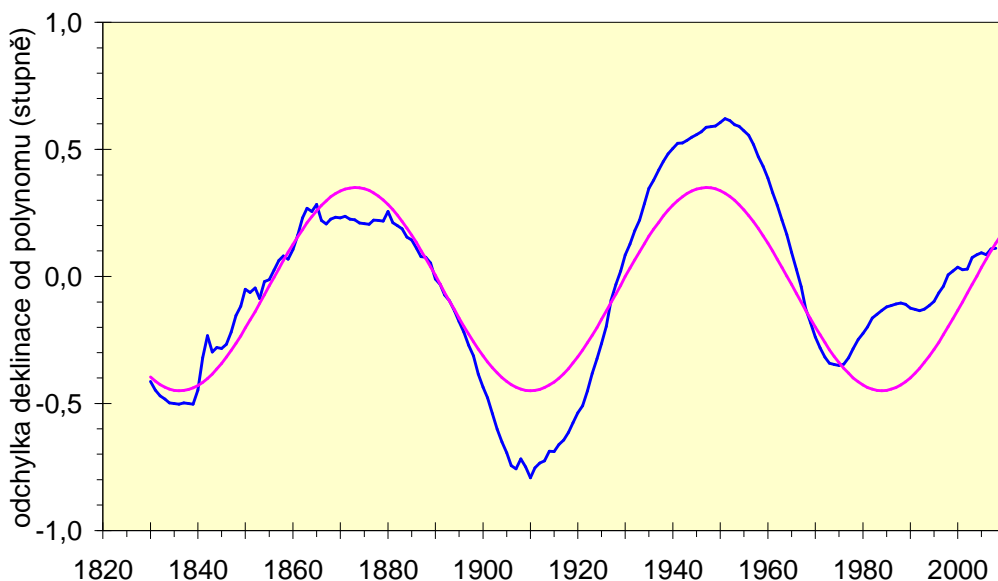
Na obr. 2 je nakreslen průběh ročních hodnot magnetické deklinace na čtyřech stanicích po dobu, kdy tam probíhalo měření. Kromě uvedených tří stanic v Čechách jsou zde použity údaje ze stanice Niemeck pro překlenutí mezery 1926-1952 (Linthe, 2005). Stanice Niemeck leží v Německu asi 50 km jihozápadně od Postupimi a vybrána byla proto, že se nachází téměř na stejném magnetickém poledníku jako Budkov a navíc jde o světovou stanicí vysoce kvalitní. Hodnoty jsou t. č. k dispozici jen do r. 2000, stanice však pracuje stále. Povšimněme si nejprve umístění jednotlivých křivek. Protože všechny stanice leží přibližně na stejném poledníku, jsou si křivky velice blízké. Niemeck leží o něco málo na západ než Klementinum, v menší míře také Budkov, a proto jsou příslušné křivky níže. Naopak průhonická křivka (stanice JV od Prahy) je nepatrně výše. Na obrázku je patrná trvalá změna stále jedním směrem, avšak velikost této změny není po celé období stejná.



Obr. 3. Průběh magnetické deklinace v letech 1830-2008 po převedení na hodnoty pro Klementinum. Doplněna aproximace polynomem třetího stupně.

Po dobu, kdy měření probíhalo na dvou nebo více stanicích současně, je rozdíl v hodnotách deklinace mezi příslušnými stanicemi prakticky stále stejný, jen nepatrně kolísá v jednotlivých letech. To umožní jednotlivé křivky posunout nahoru nebo dolů tak, aby plynule navazovaly na nejstarší měření z Klementina. Takto přepočtený průběh deklinace je nakreslen na obr. 3. Jasně jsou vidět střídající se období, kdy je změna magnetické deklinace rychlejší a kdy pomalejší. Změna je téměř lineární, pouze posledních padesáti letech se

růst velmi mírně zpomaluje. Pozorovaný průběh lze dobře aproximovat přímkou, o něco lépe však vyhovuje polynom třetího stupně, který nejlépe vystihuje zpomalování růstu na konci zkoumaného období.

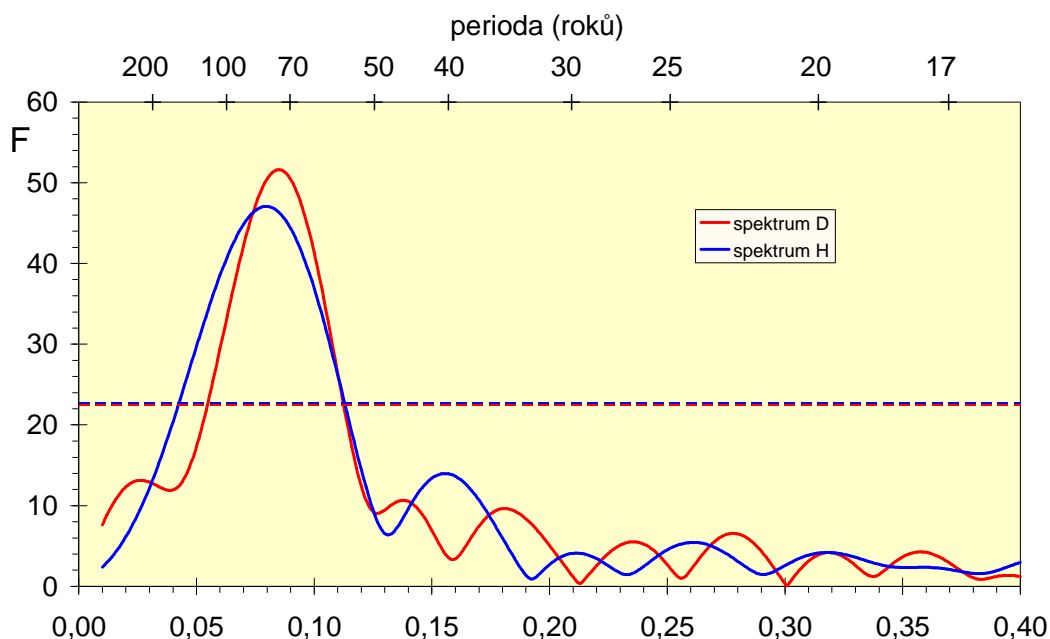


Obr. 4. Odchylka magnetické deklinace po převedení na hodnoty pro Klementinum v letech 1830-2008 od průběhu podle polynomu třetího stupně (modře) a aproximace sinusovkou (fialově).

Na dalším obrázku (obr. 4) jsou uvedeny odchylky přepočtené magnetické deklinace z obr. 3 od polynomu zobrazeného rovněž na obr. 3. Měřítko na vertikální ose je zde mnohem jemnější a proto je v první polovině 19. století vidět jistá rozkolísanost, snad měření nebylo tehdy tak přesné jako dnes. Také průběh za posledních několik desetiletí je poněkud jiný. Vcelku převládá jednoduchá vlna s periodou kolem 75 let. Maxima této vlny, tedy největší přírůstky deklinace (kdy je křivka na obr. 3 nejvýše nad grafem polynomu), byla pozorována kolem r. 1870 a znovu kolem r. 1950, nejmenší přírůstky kolem r. 1910. Kromě této hlavní vlny jsou přítomny méně významné variace s kratšími periodami (na obr. 3 vzhledem k měřítku neviditelné) a mírný vzrůst během celého období (srv. výšku extrémů na obou křivkách), což může také být oblouk sinusové křivky s mnohem delší periodou. Taková velmi dlouhodobá variace bývá uváděna v literatuře na základě pozorování v Anglii za dobu delší, než je zde k dispozici, a z částečných pozorování v různých evropských místech v různých dřívějších dobách a má se pohybovat kolem 500 let (Bouška, 1949, Chapman, Bartels, 1940); tu však naše měření za necelých 200 let nemohou potvrdit.

V horizontální složce H lze také vypořadovat dlouhodobou změnu. Intenzita pole během desetiletí roste a zase klesá s periodou rovněž kolem 80 let. Dlouhodobá maxima a minima se shodují poměrně přesně s minimy a maximy na obr. 4.

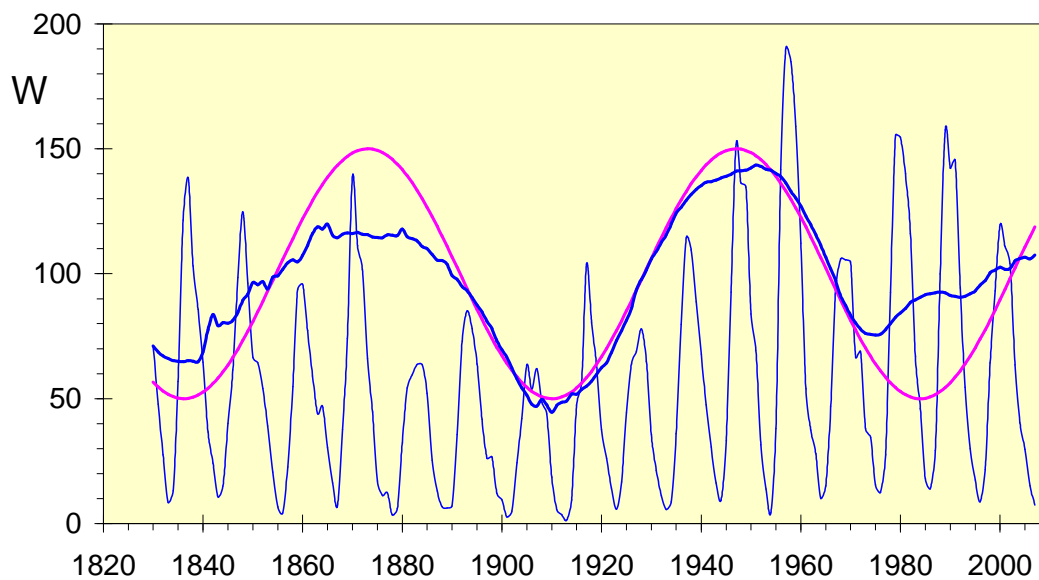
Zmíněné periodicity ve velikosti změny deklinace D a hodnoty horizontální intenzity geomagnetického pole H lze lépe popsat pomocí spektrální analýzy. Na obr. 5 jsou uvedena spektra obou těchto veličin za celé období, kdy jsou k dispozici. Vzhledem k tomu, že jsou uváděny v různých jednotkách, byla vertikální škála upravena tak, že číselné hodnoty uvedené na obrázku platí pro spektrum složky H , zatímco hodnoty spektra složky D bylo třeba násobit čtyřmi, aby bylo možné je zakreslit do společného obrázku. Na obrázku je vidět především shodné maximum, které leží v periodě 74 let pro složku D a 79 let pro složku H . Vzhledem k tomu, že celková délka pozorování obsahuje jen několik period této základní vlny, je nutno počítat s jistou nepřesností v určení její periody a proto rozdíl pěti let je zanedbatelný, tím spíše, že doba pozorování pro složku D a H není stejná. Ostatní podružné vrcholy nemají dostatečnou významnost. Spektrum umožní také přesně určit extrémy. Z periody, která odpovídá vrcholu spektra a z příslušné fáze lze sestavit sinusovou křivku, kterou lze pak aproximovat průběh zkoumané veličiny. Taktéž vypočtená sinusová křivka je nakreslena na obr. 4 spolu s pozorovaným průběhem. Tato křivka však nezohledňuje pomalý růst, takže na pravé straně je poněkud níže než křivka pozorovaných dat. Z jejího průběhu se stanoví pro složku D minimum v letech 1836, 1910 a 1984, maximum v letech 1873 a 1947. Pro složku H je maximum v roce 1904 a minimum v roce 1946. Opět rozdíl několika let lze považovat za zanedbatelný.



Obr. 5. Spektra řad přepočtených přírůstků magnetické deklinace D a intenzity horizontální složky H .

Změna hodnoty magnetické deklinace je dána změnou polohy geomagnetického pólu. Ten se v současné době nachází na ostrovech severozápadně od Kanady a pomalu se přesunuje směrem přibližně k severu až severozápadu. V roce 1970 se nacházel na 81° severní šířky a $84,7^\circ$ západní délky. Kdyby jeho pohyb byl rovnoměrný a přímočarý, tak by také změna deklinace pozorovaná ve střední Evropě byla pravidelná bez nějakého zvlnění, jak bylo vidět např. na obr. 3. Tak tomu ale není. Pozorovaný průběh deklinace naznačuje, že pohyb je buďto nerovnoměrný, nebo dráha je zakřivená. Protože se současně pravidelně podle stejné zákonitosti mění také intenzita horizontální složky, znamená to, že se pravidelně, se stejnou periodou, mění vzdálenost střední Evropy od magnetického pólu, tedy že se pól pohybuje po jakési zvlněné křivce, na níž lze vysledovat periodu kolem už zmíněných 75 let, a existenci už zmíněné pravděpodobné variace s delší periodou. Pro úplné vyhodnocení pohybu magnetického pólu je ovšem třeba pozorování z více stanic rozložených po celé polokouli a samozřejmě za mnohem delší dobu. To však daleko přesahuje rámec tohoto příspěvku. Pohyb pólu v dimenzích daleko větších, v řádu tisíců až milionů let, se určuje z paleomagnetických měření. To je ovšem zcela jiná disciplína. Na druhé straně z podobných dlouhodobých měření nelze určit variace s podstatně kratší periodou, jako je zde popisována perioda 75-letá.

Existuje dále zajímavá podobnost mezi popsány dlouhodobými změnami intenzity a směru zemského magnetického pole a dlouhodobou změnou sluneční aktivity. Na obr. 6 je nakreslen průběh sluneční aktivity (Wolfova čísla) za celou dobu pozorování magnetické deklinace a na ukázkou jsou připojeny (bez číselné škály) obě křivky nakreslené na obr. 4. Obě tyto křivky s jistým přiblížením, i když zdaleka ne přesně, kopírují průběh sluneční aktivity. Dobře se shoduje minimum po roce 1900, maximum 1940-1960 a částečně i předcházející kolem r. 1870, naproti tomu s prvním a posledním minimumem je to horší. V obdobích, kdy se průběh sluneční aktivity velmi liší od nakreslené sinusové křivky, se od této sinusovky odlišuje také křivka pro změnu magnetické deklinace, která se naopak více blíží průběhu sluneční aktivity (jako by chtěla vytvořit jakýsi kompromis mezi nimi). To platí např. pro první dlouhodobé maximum ve sluneční aktivitě, které je nižší než druhé, a totéž lze pozorovat i ve změně deklinace, dále pak první dva a poslední dva vysoké sluneční cykly, kdy je křivka změny deklinace posazena výše než křivka sinusová. Jinak graf poměrně dobře vystihuje 80-letou periodu ve sluneční aktivitě, která byla mnohokrát popsána v literatuře. Kromě ní existuje ve sluneční aktivitě perioda přibližně 205 let, jejíž zásluhou jsou právě cykly na samém začátku a na konci zkoumaného období vyšší (Střešník, 2004). Jakým způsobem mohou dlouhodobé periody ve sluneční aktivitě ovlivňovat dlouhodobé změny zemského magnetického pole, není známo. Je možné, že je to jen náhodná shoda platná jen přibližně pouze v posledních dvou stoletích. K potvrzení nebo vyvrácení by však bylo třeba mít materiál za podstatně delší období, aby bylo možné posoudit také případný vliv také 205-leté periody ve sluneční aktivitě.



Obr. 6. Průběh Wolfových čísel sluneční aktivity 1830-2008 (slabá čára). Pro porovnání jsou připojeny obě křivky z obr. 4, bez číselné škály.

Literatura

- Bock R., Schumann W. (1948): Katalog der Jahresmittel der magnetischen Elemente der Observatorien und der Stationen, an denen eine Zeitlang erdmagnetische Beobachtungen stattfanden. Akademie Verlag Berlin.
- Bouška J. (1949): Zemský magnetismus (geomagnetismus). JČMF Praha 1949.
- Chapman S., Bartels J. (1940): Geomagnetism. Oxford 1940.
- Linthe H.-J. (ed.) (2005): Yearbook „Magnetic results 2000“, Adolf-Schmidt-Observatory Niemeck, Potsdam 2005, p. 46-48.
- Střeščík J. (2004): Střednědobé a dlouhodobé periodicity ve sluneční aktivitě. XVII. Celoštátní slnečný seminár, zborník referátov, Stará Lesná, 76-81.