

## Vlivy sluneční a geomagnetické aktivity na výskyt synoptických situací v Evropě

Radan Huth<sup>1</sup>, Jan Kyselý<sup>1</sup>, Josef Bochníček<sup>2</sup>, Pavel Hejda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4, email: huth@ufa.cas.cz, honza@ufa.cas.cz

<sup>2</sup> Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4, email: jboch@ufa.cas.cz, ph@ufa.cas.cz

### Shrnutí

Zimní měsíce (zima = prosinec až březen) jsou rozděleny do tří tříd podle průměrné měsíční hodnoty slunečního toku F10.7, který aproximuje sluneční aktivitu. Třídy (nízká, střední a vysoká sluneční aktivita) jsou určeny podle velikosti F10.7 jako dolní a horní čtvrtina a prostřední polovina. V každé třídě počítáme četnosti výskytu skupin synoptických typů Hesse-Brezowského. Rozdíly četností jednotlivých skupin typů mezi třídami sluneční aktivity jsou indikátorem vlivu sluneční aktivity na atmosférickou cirkulaci v Evropě. Statistickou významnost těchto rozdílů určujeme pomocí metody blokového resamplingu. Získali jsme několik statisticky významných výsledků: 1. Západní typy jsou za vysoké aktivity četnější než za nízké. 2. Severní typy jsou za nízké aktivity četnější než za vysoké. 3. Východní a anticyklonální typy jsou za nízké aktivity četnější než za střední; opak platí pro cyklonální typy. Analogickou analýzu jsme uskutečnili pro geomagnetickou aktivitu. Její výsledky do od sluneční aktivity výrazně liší, zejm. v tom, že za vysoké geomagnetické aktivity pozorujeme sníženou zonalitu.

### Abstract

Winter months (winter = December to March) are divided into three classes according to the mean monthly solar F10.7 flux, which approximates the solar activity. The classes (low, moderate, and high solar activity) are determined based on the magnitude of F10.7 as the lower and upper quarter and middle half. Within each class, frequencies of occurrence of groups of Hess-Brezowsky synoptic types are calculated. Differences in the occurrence of individual groups of types between solar activity classes indicate a solar effect on atmospheric circulation over Europe. Statistical significance of these differences is estimated by a block resampling method. Several statistically significant results are obtained: 1. Westerly types are more frequent under high than low solar activity. 2. Northerly types are more frequent under low than high activity. 3. Easterly and anticyclonic types are more frequent under low than moderate solar activity; the opposite holds for cyclonic types. Analogous analysis was conducted for geomagnetic activity. Its results considerably differ from the solar activity, especially in that suppressed zonalit is observed under high geomagnetic activity.

### 1. Úvod

Množství důkazů, že sluneční aktivita, zejména její 11-letý cyklus, ovlivňuje cirkulaci v troposféře, stále narůstá. Charakteristiky cirkulace, které dosud byly z tohoto pohledu zkoumány, zahrnují mj. šířkovou polohu drah cyklón (Brown a John 1979; Tinsley 1988), polohu hlavních akčních center (Christoforou a Hameed 1997), severní a jižní prstencový mód (tj. arktickou a antarktickou oscilaci; Ruzmaikin a Feynman 2002; Ogi a kol. 2003, 2004; Kuroda a Kodera 2005; Huth a kol. 2006b, 2007a), a polohu, intenzitu a prostorový rozsah severoatlantické oscilace (Boberg a Lundstedt 2002; Kodera 2002, 2003) i dalších módů atmosférické nízkofrekvenční proměnlivosti (Huth a kol. 2005, 2006a). Kompozitní analýza odhalila zvýšenou zonalitu troposférické cirkulace v mírných šířkách za vysoké sluneční aktivity (Bochníček a Hejda 2002, 2005).

Většina výše uvedených prací se zabývala charakteristikami popisujícími atmosférickou cirkulaci ve velkých prostorových měřítkách a v oblasti nízkých frekvencí (měsíční a delší průměry). Proto se zdá být rozumné rozšířit výzkum slunečních vlivů na menší časoprostorová měřítka atmosférické cirkulace. Vhodným nástrojem k popisu atmosférické cirkulace v denním a sub-kontinentálním (regionálním) měřítku jsou klasifikace cirkulačních polí (cirkulační typy).

Některé studie se vedle sluneční aktivity zabývají i vlivy geomagnetické aktivity (např. Bochníček a kol. 2001; Bochníček a Hejda 2002, 2005, 2006; Thejll a kol. 2003). Proto se v této práci zaměříme na analýzu vlivu jak sluneční, tak i geomagnetické aktivity na výskyt cirkulačních typů Hesse-Brezowského, jež popisují atmosférickou cirkulaci v dolní troposféře ve střední Evropě.

## 2. Data a metody

Analýza se zabývá prodlouženou zimou (měsíce prosince až březen). Zkoumané období pokrývá prosinec 1949 až březen 2003, což dohromady činí 216 měsíců.

Sluneční aktivita je charakterizována průměrným měsíčním slunečním radiovým tokem s vlnovou délkou 10,7 cm (F10.7). Data jsou rozdělena do tří skupin podle úrovně sluneční aktivity, analogicky našim předchozím pracím (Huth a kol. 2005, 2006a,b, 2007a). Zde popisujeme výsledky pro rozdělení 25:50:25, tj. třída odpovídající nízké sluneční aktivitě obsahuje 25% nejnižších hodnot F10.7, třída odpovídající vysoké aktivitě obsahuje 25% nejvyšších hodnot F10.7 a třída odpovídající střední aktivitě obsahuje zbývajících 50% hodnot. Výsledky pro jiná rozdělení (na poloviny, na třetiny, subjektivně) dávají statisticky méně významné výsledky.

Obdobně jsou rozdělena data podle úrovně geomagnetické aktivity, charakterizované měsíčním průměrných indexem Ap. Výsledky prezentujeme pro rozdělení na stejné třetiny, tj. třídy pro nízkou, střední i vysokou geomagnetickou aktivitu obsahují třetinu dat. Výsledky pro jiná rozdělení dávají velmi podobné výsledky.

Jako klasifikace cirkulačních polí je použit katalog Hesse a Brezowského (H&B) (např. Gerstengarbe a kol. 1999). Tento katalog byl a stále je používán v

mnoha meteorologických i klimatologických studiích v širší střední Evropě. Sestává z 29 cirkulačních typů a jedné malé skupiny neurčených polí; jejich seznam a krátký popis je uveden v Tab.1. Jednotlivé H&B typy jsou seskupeny podle jejich cirkulačního charakteru do deseti hlavních typů; navíc jsme jednotlivé H&B seskupili do šesti překrývajících se "supertypů" podle jejich převládající cyklonality / anticyklonality ve střední Evropě a podle převládajícího hlavního směru proudění (viz tab.1). Směrové supertypy se skládají z hlavních typů s prouděním ze čtyř hlavních směrů: západní supertyp ( $W^*$ ) je složen ze severozápadního (NW), západního (W) a jihozápadního (SW) hlavního typu, atp. Pro usnadnění orientace jsou směrové supertypy označeny hvězdičkou.

Pro každou třídu sluneční a geomagnetické aktivity počítáme průměrnou četnost každého hlavního typu a supertypu. V každé třídě testujeme nulovou hypotézu, že četnost cirkulačního hlavního typu / supertypu je stejná

**Tab.1.** Seznam cirkulačních typů s jejich stručnými charakteristikami a přiřazením do hlavních typů a supertypů.

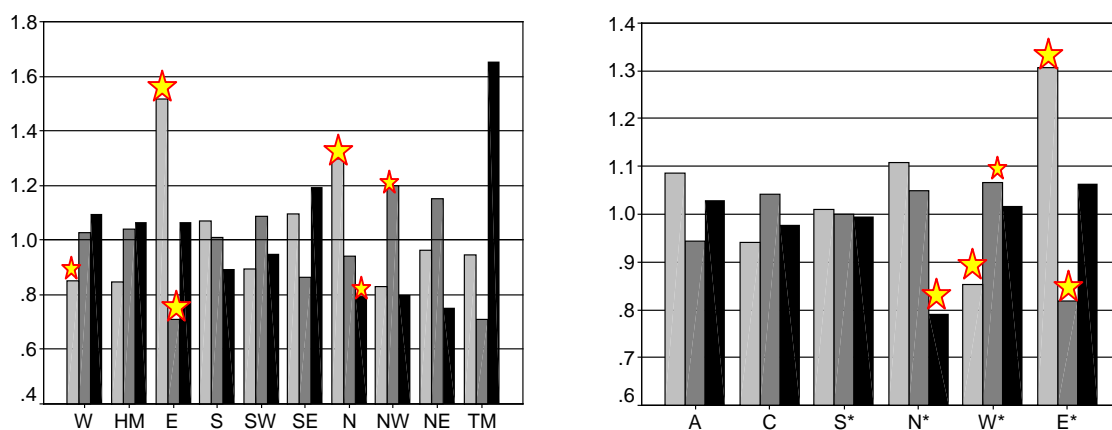
typ	hlavní typ	(anti-) cyclonální supertyp	směrový supertyp	stručný popis
WZ	W	C	$W^*$	západní cyklonální
WA	W	A	$W^*$	západní anticyklonální
WW	W	C	$W^*$	západní úhlovitá
WS	W	C	$W^*$	západní s jižní cyklonální drahou
HM	HM	A	-	výše nad střední Evropou
BM	HM	A	-	hřeben nad střední Evropou
TM	TM	C	-	níže nad střední Evropou
SWA	SW	A	$S^*, W^*$	jihozápadní anticyklonální
SWZ	SW	C	$S^*, W^*$	jihozápadní cyklonální
NWA	NW	A	$W^*, N^*$	severozápadní anticyklonální
NWZ	NW	C	$W^*, N^*$	severozápadní cyklonální
NA	N	A	$N^*$	severní anticyklonální
NZ	N	C	$N^*$	severní cyklonální
HNA	N	A	$N^*$	severní anticyklonální, výše nad Islandem
HNZ	N	C	$N^*$	severní cyklonální, výše nad Islandem
HB	N	-	$N^*$	výše nad Britskými ostrovy
TRM	N	C	$N^*$	brázda nad střední Evropou
NEA	NE	A	$N^*, E^*$	severovýchodní anticyklonální
NEZ	NE	C	$N^*, E^*$	severovýchodní cyklonální
HFA	E	A	$E^*$	výše nad Skandinávií, anticyklonální
HNFA	E	A	$E^*$	výše nad Norským mořem / Skandinávií, anticyklonální
HFZ	E	C	$E^*$	výše nad Skandinávií, cyklonální
HNFZ	E	C	$E^*$	výše nad Norským mořem / Skandinávií, cyklonální
SEA	SE	A	$E^*, S^*$	jihovýchodní anticyklonální
SEZ	SE	C	$E^*, S^*$	jihovýchodní cyklonální
SA	S	A	$S^*$	jižní anticyklonální
SZ	S	C	$S^*$	jižní cyklonální
TB	S	-	$S^*$	níže nad Britskými ostrovy
TRW	S	C	$S^*$	brázda nad západní Evropou
U	-	-	-	neurčený

jako její dlouhodobý průměr. Statistická významnost je určena pomocí blokového resamplingu; technické detaily postupu zde neuvádíme, čtenář je může vyhledat v práci Huth a kol. (2008). Zamítnutí nulové hypotézy znamená, že četnost daného cirkulačního hlavního typu / supertypu je statisticky významně odlišná v dané třídě sluneční / geomagnetické aktivity od dlouhodobé průměrné hodnoty, tj. vliv sluneční / geomagnetické aktivity je tak detekován.

Výsledky jsou prezentovány na obr. 1 a 2 ve formě podílů četností v dané třídě sluneční / geomagnetické aktivity k dlouhodobé průměrné četnosti pro daný hlavní typ / supertyp. Graf vlevo je pro hlavní typy, vpravo pro supertypy. Skupiny sloupců odpovídají jednotlivým hlavním typům / supertypům. Sloupce v každé skupině odpovídají odleva nízké, střední a vysoké sluneční / geomagnetické aktivitě. Statisticky významné hodnoty na hladině významnosti 90% a 95% jsou vyznačeny malými a velkými hvězdičkami.

### 3. Výsledky pro sluneční aktivitu

Výsledky pro sluneční aktivitu ukazuje obr.1. Několik rysů v grafech je nápadných a zaslouží komentář. Zprv, západní typy (W, W\*) jsou nejméně četné za slunečních minim, což je kompenzováno zvýšeným výskytem východních typů (E, E\*). Hlavní rozdíl se objevuje mezi slunečním minimem a ostatními dvěma třídami; rozdíly mezi střední a vysokou aktivitou jsou poměrně malé. Za zmínku stojí, že východní hlavní typ i supertyp se vyskytuje nejméně za střední, nikoliv vysoké sluneční aktivity. Zadruhé, severní typy jsou více (méně) četné za nízké (vysoké) aktivity; to platí pro severní supertyp (N\*) a ze třech hlavních typů se severní složkou proudění jen pro ten čistě severní (N). Tento efekt není kompenzován odpovídajícími změnami v jižních, jihozápadních či jihovýchodních typech. Hlavní typy severovýchodní a severozápadní (NE, NW) mají tendenci být nejčtenější za střední sluneční aktivity. Zatřetí pozorujeme tendenci k menšímu (většímu) výskytu anticyklonálních (cyklonálních) typů (A\*, C\*) při průměrné sluneční aktivitě; statistická významnost je zde však nízká, jen na úrovni 80%. Velké změny hlavního typu s níží nad střední Evropou (TM) nedosahují statistické významnosti kvůli poměrně vzácnému výskytu tohoto typu.



**Obr.1.** Výsledky analýzy pro sluneční aktivitu. Podíly četností hlavních cirkulačních typů (vlevo) a supertypů (vpravo) v jednotlivých třídách sluneční aktivity (zleva ve skupinách sloupců: nízká, střední, vysoká) k dlouhodobým průměrným četnostem. Statisticky významný vliv na hladině 90 a 95% (podrobnosti v textu) je označen malou a velkou hvězdičkou.

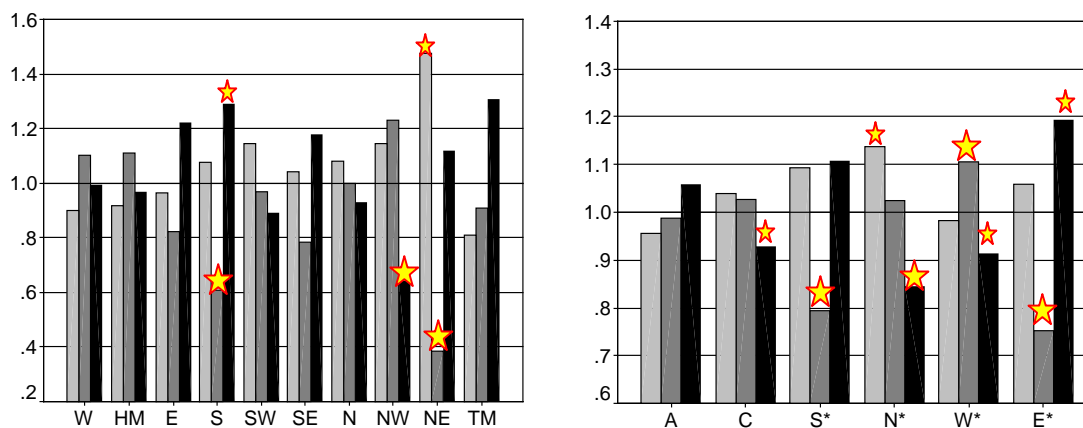
Snad nejnápadnější projev slunečního vlivu na četnosti synoptických typů se objevuje pro západní a východní supertyp. Zatímco za nízké aktivity jsou západní typy méně než dvakrát tak četné než východní (četnosti jsou 39,5% a 20,4%), za střední aktivity se západní typy vyskytují téměř čtyřikrát častěji než východní (49,5% oproti 12,8%).

### 4. Výsledky pro geomagnetickou aktivitu

Obr.2 zřetelně ukazuje, že geomagnetické vlivy na četnost cirkulačních typů jsou výrazně odlišné od vlivů slunečních. Zprv, největší rozdíl četností v mnoha případech pozorujeme mezi střední a vysokou geomagnetickou aktivitou, nikoliv mezi nízkou a střední jako v případě sluneční aktivity. Zadruhé, četnosti západních a východních situací se, podobně jako pro sluneční aktivitu, navzájem kompenzují, avšak vysoká geomagnetická aktivita je spojena s malým výskytem západních situací a velkým výskytem východních situací, tj. se zeslabenou zonalitou. Naopak za střední aktivity je zonalita vyjádřena nejsilněji: četnost západních (východních) typů je nejvyšší (nejnižší). Zatřetí, u severních typů pozorujeme největší výskyt za nízké aktivity a nejmenší výskyt za vysoké aktivity. Jižní typy se chovají odlišně: jejich četnost je nejvyšší za střední aktivity, zatímco za nízké a vysoké aktivity je jejich výskyt srovnatelný. Začtvrté, rostoucí geomagnetická aktivita je spojena s rostoucí četností anticyklonálních situací a snižující se četností cyklonálních situací. Obecně lze říci, že

za vysoké geomagnetické aktivity je cirkulace “méně živá”, tj. vyskytuje se málo zonálních a cyklonálních typů, zato více východních a anticyklonálních.

Časová proměnlivost geomagnetické aktivity probíhá v časových měřítcích kratších než jeden měsíc, proto jsme provedli analogickou analýzu pro 10-denní průměry místo měsíčních. Abyshom zohlednili skutečnost, že časové měřítko vlivu geomagnetické aktivity na cirkulaci v troposféře je pravděpodobně několik málo dní, analyzovali jsme navíc 10-denní průměry s 5-denním zpožděním oproti hodnotám geomagnetické aktivity. Obě tyto analýzy vedly jen k velmi malému počtu statisticky významných výsledků; vliv geomagnetické aktivity v 10-denním časovém měřítku je tedy podstatně menší než v měsíčním měřítku.



**Obr.2.** Výsledky analýzy pro geomagnetickou aktivitu. Jinak jako obr.1.

## **5. Diskuse a závěr**

Analýza cirkulačních typů za různých fází 11-letého slunečního cyklu potvrdila a rozšířila předchozí výsledky, získané jinými postupy, že sluneční aktivita významně ovlivňuje troposférickou cirkulaci. Zvýšený výskyt východních a snížený výskyt západních situací za nízké sluneční aktivity je v souladu s celkovým obrazem snížené zonality za slunečních minim, získaným v předchozích studiích (Bochníček a Hejda 2002, 2005; Kodera 2002, 2003; Huth a kol. 2005, 2006a). Na druhou stranu zjištění, že četnosti východních i západních situací se mezi střední a vysokou sluneční aktivitou mění jen málo, nelze pomocí předchozích výsledků interpretovat.

Vliv geomagnetické aktivity na cirkulační typy se od vlivu sluneční aktivity zásadně liší. Vysoká geomagnetická aktivita je doprovázena sníženou zonalitou a zvýšeným výskytem anticyklonálních situací. Náznaky, získané ze studia módů proměnlivosti (Huth a kol. 2007b), že vlivy střední geomagnetické aktivity se v některých případech podobají vlivům nízké sluneční aktivity, analýza cirkulačních typů nepotvrdila.

Shrnuto závěrem, podařilo se nám ukázat, že (i) klasifikace cirkulace jsou užitečným nástrojem při studiu vlivů sluneční a geomagnetické aktivity na troposférickou cirkulaci a (ii) různé popisy troposférické cirkulace vedou k podobným interpretacím.

## **Poděkování**

Tato práce byla podpořena Grantovou agenturou Akademie věd ČR, projekt A3042401.

## **Literatura**

Boberg, F., Lundstedt, H., 2002: Solar wind variations related to fluctuations of the North Atlantic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1718.

Bochníček, J., Hejda, P., Pýcha, J., 2001: Comparison of solar and geomagnetic activity effects on the Northern Hemisphere weather changes. *Studia geophys. geod.*, **45**, 133-154.

Bochníček, J., Hejda, P., 2002: Association between extraterrestrial phenomena and weather changes in the Northern Hemisphere in winter, *Surv. Geophys.*, **23**, 303-333.

Bochníček, J., Hejda, P., 2005: The winter NAO pattern changes in association with solar and geomagnetic activity, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **67**, 17-32.

Bochníček, J., Hejda, P., 2006: Connections between the distribution of prevailing winds in the winter Northern Hemisphere, solar/geomagnetic activity and the QBO phase. *Studia geophys. geod.*, **50**, 299-318.

- Brown, G.M., John, J.I., 1979: Solar cycle influences in tropospheric circulation, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **41**, 43-52.
- Christoforou, P., Hameed, S., 1997: Solar cycle and the Pacific 'centers of action', *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 293-296.
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C., Rüge, U., 1999: *Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-1998*, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- Huth, R., Pokorná, L., Bochníček, J., Hejda, P., 2005: Vliv sluneční aktivity na módy proměnlivosti atmosférické cirkulace. In: *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*, Hvězdárna v Úpici, Úpice, 98-105.
- Huth, R., Pokorná, L., Bochníček, J., Hejda, P., 2006a: Solar cycle effects on modes of low-frequency circulation variability, *J. Geophys. Res.*, **111**, D22107.
- Huth, R., Bochníček, J., Hejda, P., 2006b: Vliv 11-letého slunečního cyklu na Arktickou oscilaci. In: *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*, Hvězdárna v Úpici, Úpice, 85-91.
- Huth, R., Bochníček, J., Hejda, P., 2007a: The 11-year solar cycle affects the intensity and annularity of the Arctic Oscillation, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **69**, 1095-1109.
- Huth, R., Pokorná, L., Bochníček, J., Hejda, P., 2007b: Srovnání vlivu sluneční a geomagnetické aktivity na módy proměnlivosti atmosférické cirkulace. In: *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*, Hvězdárna v Úpici, Úpice, tento svazek.
- Huth, R., Kyselý, J., Bochníček, J., Hejda, P., 2008: Solar activity affects the occurrence of synoptic types over Europe. *Ann. Geophys.* (v recenzním řízení)
- Kodera, K., 2002: Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the NAO, *Geophys. Res. Lett.*, **29** (8), 59.
- Kodera, K., 2003: Solar influence on the spatial structure of the NAO during the winter 1900-1999, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1175.
- Kuroda, K., Kodera, K.: Solar cycle modulation of the Southern Annular Mode, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13802, 2005.
- Ogi, M., Yamazaki, K., Tachibana, Y., 2003: Solar cycle modulation of the seasonal linkage of the North Atlantic Oscillation (NAO), *Geophys. Res. Lett.*, **30** (22), 2170.
- Ogi, M., Yamazaki, K., Tachibana, Y., 2004: The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode, *J. Geophys. Res.*, **109**, D20114.
- Ruzmaikin, A., Feynman, J., 2002: Solar influence on a major mode of atmospheric variability, *J. Geophys. Res.*, **107** (D14), ACL7.
- Thejll, P., Christiansen, B., Gleisner, H., 2003: On correlations between the North Atlantic Oscillation, geopotential heights, and geomagnetic activity. *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 1347, doi: 10.1029/2002GL016598.
- Tinsley, B.A., 1988: The solar cycle and the QBO influences on the latitude of storm tracks in the North Atlantic, *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 409-412.