

## **Meteorologické podmínky příznivé re-emisi částic půdy v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)**

The meteorological conditions favorable for re-emission of soil particles in  
Brno-Tuřany (2004 – 2012)

*Gražyna Knozová*

*Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, grazyna.knozova@chmi.cz*

### **Abstrakt**

Re-emise je důležitým faktorem ovlivňujícím větrnou erozi půdy a zároveň se promítá na koncentraci suspendovaných částic v ovzduší. Cílem předkládané práce je prozkoumání podmínek příznivých vzniku re-emisi v okolí Brna. Studie je zaměřena na analýzu četnosti výskytu a délky trvání epizod, ve kterých meteorologické podmínky byly příznivé pro re-emisi částic půdy. Kriterium pro identifikace sledovaných epizod byl výskyt dosti čerstvého větru, jehož rychlost překračuje 5,4 m/s v průběhu bezsrážkové epizody, čemž se rozumí období 5 nebo více jdoucích po sobě dnů, kdy celkový úhrn srážek nepřekročil 0,5 mm.

**Klíčová slova:** větrná eroze, PM<sub>10</sub>

### **Abstract**

Re-emission is an important factor influenced wind erosion of soil. On the other hand it impacts the concentration of particulate matter in the air. The aim of this paper is to characterize of the conditions favorable for re-emission in Brno surrounding. This study investigated frequency and duration of the specific meteorological conditions. The occurrence of moderate breeze (wind speed exceed 5.4 m/s) during episode without precipitations (period of minimum 5 following days, when total of precipitation is smaller then 0,5 mm) were the criteria for identification of re-emission episodes.

**Keywords:** wind erosion, PM<sub>10</sub>

## Úvod

Re-emise je přírodním jevem, v jehož průběhu působí pohyb vzduchu, nejčastěji vítr, na povrch Země svou mechanickou silou. Zároveň uvolňuje částice, jež jsou na něm usazené, uvádí je do pohybu a přenáší na různou vzdálenost. Re-emise z jedné strany přispívá erozi půdy a z druhé strany jej účinek se projevuje na růstu koncentraci tuhých částic v ovzduší. Koncentrace znečištění ovzduší tuhými částicemi je proto možné použít jako nepřímý ukazatel větrné eroze, Tento indikátor využívali v odborné literatuře také jiní autoři (např. Sharratt, Vaddella, 2012). Jak je patrné, jde o komplexní proces ovlivňovaný mnoha faktory, jako jsou: místní klimatické podmínky, okamžitá meteorologická situace, typ povrchu, charakter antropogenního využití konkrétní lokality apod. Intenzita re-emisí se mění v průběhu času. Zásadní význam zde má výskyt atmosférických srážek a síla a směr větru. Intenzita re-emisí je také různá v odlišných regionech hlavně v závislosti na vlhkostních poměrech krajiny. Sledovaný proces je obzvlášť důležitý v sušších oblastech.

Cílem předkládané práce je charakteristika epizod re-emisí v Brně-Tuřanech, položených na severním okraji jedné z nejsušších oblastí v České republice. Podle Brázdila, Kirchnera a kol. (2007) na území vymezeném Znojmem na západě, Břeclavi na východě a Brnem na severu se vyskytuje největší počet suchých epizod vyjádřených pomocí několika indexů sucha jako SPI, SPDI nebo Palmerův Z-index. Suché epizody v této oblasti se vyznačují nejen vysokou četností krátkodobých epizod (více než 70 během 40 let), ale v porovnání ze zbytkem Moravy a Slezska i podstatně větší intenzitou, perzistencí a poměrně dlouhým trváním (v průměru přesahujícím 4 měsíce).

Studie je zaměřena na analýzu četnosti výskytu, délky trvání epizod re-emise částic půdy a dopadu re-emise na koncentrace tuhých částic v ovzduší. Jde přitom pouze o případy, ve kterých re-emise vznikla přírodní silou a to působením větru na suchý povrch.

## Materiály a metoda práce

Re-emise je jevem, který se vyskytuje v různých prostorových a časových dimenzích ale pro tuto práci mají význam především procesy probíhající na regionální úrovni v jednotkách hodin. Jako základní studijní materiál bylo využité měření na meteorologické stanici Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Brno-Tuřany, lokalizované na jihovýchodním okraji brněnské aglomerace. Stanice je položena v otevřeném terénu, využívaném hlavně pro zemědělství, v nadmořské výšce 241 m. V blízkosti meteorologické

stanice se nachází také stanice automatického imisního monitoringu znečištění ovzduší (AIM) sítě ČHMÚ, která je dle klasifikace EOI charakterizována jako pozad'ová.

Zpracování byly podrobeny údaje naměřené v hodinovém kroku v období let 2004 až 2012. Jde jak o meteorologické prvky, tak i o koncentrace suspendovaných částic. V případě meteorologických dat bylo využito hlavně hodinových úhrnů srážek, průměrné hodinové rychlosti větru a dalších doplňujících údajů. Při hodnocení efektivity re-emise byly využity údaje o průměrné hodinové koncentraci suspendovaných částic  $PM_{10}$ .

Za kritérium podmínek příznivých pro vznik re-emise byla stanovena dlouhodobá nepřítomnost srážek a vítr o síle umožňující vznášení prachu z povrchu. V první fázi zpracování proto byly vybrány bezsrážkové epizody definované jako situace, při nichž se během minimálně 120 po sobě následujících hodin nevyskytly srážky větší než 0,5 mm. Tato podmínka má garantovat, že je povrch země suchý. Síla adheze mezi částicemi usazenými na povrchu je v takovém případě malá a proces re-emise může být snadno iniciován. V obdobích vykazujících uvedené podmínky byla provedena selekce případů, kdy průměrná rychlost větru během minimálně dvou po sobě jdoucích hodin překročila rychlost 5,4 m/s. Podle Beaufortovy anemometrické stupnice, která vychází z pozorování projevů větru na pevnině, se od této hranice jedná o dosti čerstvý vítr, který zdvihá prach a kousky papíru a pohybuje slabšími větvemi.

Případy vybrané podle uvedených kritérií byly podrobeny statistické analýze. Bylo provedeno hodnocení délky trvání zkoumaných epizod a následně byla charakterizována koncentrace  $PM_{10}$  v průběhu epizod re-emise a v bezprostředně následujícím čase.

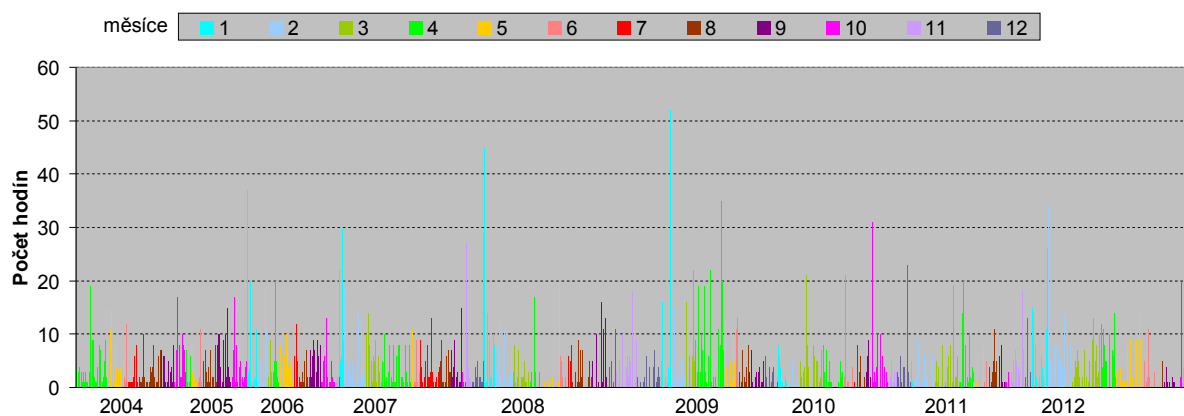
Studijní materiál nebyl z důvodu velkého časového rozlišení dat zcela kompletní. Nejvíce údajů schází pro období počátku roku 2004, pro zimní období 2004/2005 a pro poslední měsíce roku 2005, a sice v rozmezí měsíců listopad až březen. Uvedené měsíce nebyly zahrnuty do zpracování hlavně kvůli nedostatkům v měření srážek.

## **Výsledky a diskuse**

V období 2004 až 2012 bylo zpracováno celkem 1017 epizod, kdy mohla přírodním způsobem vznikat re-emise. Sledované epizody se vyskytovaly v průběhu celého roku. Největší počet hodin kdy doházelo k re-emisi lze však zaznamenat v období od února po květen, s maximem v dubnu. Sekundární maximum výskytu epizod re-emise je zaznamenáno v září. Popsaný roční chod sledovaných situací je třeba hodnotit jako nepříznivý z důvodu, že

zemědělská půda v přechodných ročních obdobích není pokryta vegetací a proto je silně ohrožená větrnou erozí a to bez ohledu na její druh.

Největší počet hodin s podmínkami příznivými re-emisi byl zjištěn v dubnu 2009 roku a dosáhl 215 h (30 %). S ohledem na nekompletnost studijního materiálu nelze přímo srovnávat jednotlivé kalendářní roky jako celek, je ale možno konstatovat, že roky 2008 a 2012 patří mezi ty nejpříznivější pro výskyt re-emise; první z ohledu na velký počet epizod (161 epizod); druhý z ohledu na velký počet hodin s podmínkami příznivými pro re-emise (723 h). Délka trvání jednotlivých epizod se měnila od 1 hodiny po 53 hodiny (obr. 1). Nejdéle trávající epizoda se vyskytla v období 28.–30. 1. 2009, tzn. v pátém až sedmém dni bezsrážkové epizody, při průměrné teplotě vzduchu 0,9 °C, rychlostí větru 7,1 m/s s maximálními nárazy 14,1 m/s. Průměrná koncentrace suspendovaných částic frakce PM<sub>10</sub> během epizody se rovnala 19 µg.m<sup>-3</sup>, přičemž koncentrace PM<sub>10</sub> se během epizody zvětšila o 2 µg.m<sup>-3</sup>.



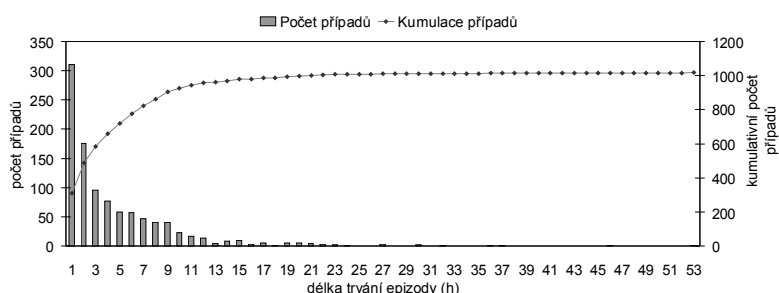
Obr. 1 Délka trvání jednotlivých epizod s podmínkami vhodnými pro re-emise Brně-Tuřanech (2004 – 2012)

Četnost výskytu epizod v návaznosti na délku jejich trvání prezentuje obrázek 2. Nejčastěji podmínky příznivé re-emisi trvají krátkou dobu, nepřesahující 2 hodiny. Je to však doba dostatečná k tomu, aby došlo k zdvižení malých částic půdy v lokálním měřítku. Experiment v aerodynamickém tunelu dokazuje, že 80% částic, osazených na povrchu je zvednuto do ovzduší během počátečních 2,5 minut epizody (Braaten et al., 1993).

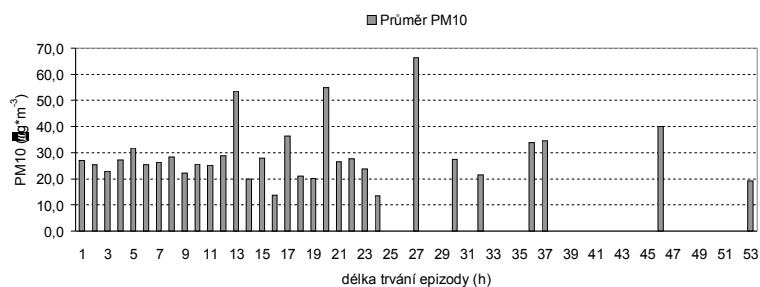
S délkou epizody klesá jejich počet. S ohledem na důvěryhodnost použití statistických metod se další část práce zaměřuje na vyhodnocení epizod s dobou trvání od jedné do šesti hodin, kdy je k dispozici minimálně 57 případů (epizody 6 hodinové).

Účinnost re-emisí, čímž se rozumí hodnocení příspěvku re-emise v celkové koncentraci suspendovaných částic, byla v předkládané práci provedena s pomocí dvou

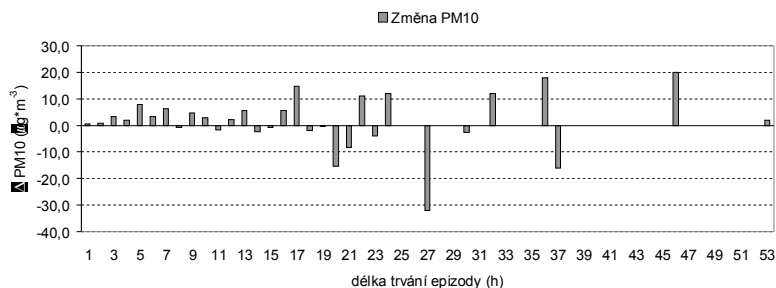
nepřímých ukazatelů, a to imise  $PM_{10}$  a její změny z hodiny na hodinu. Změnu koncentrace částic v průběhu celé epizody je vypočítána jako součet všech hodinových vzestupů a poklesů  $PM_{10}$ . Na obrázku 3 jsou znázorněny průměrné koncentrace  $PM_{10}$  v průběhu epizod re-emise o různé délce trvání. Průměrná koncentrace  $PM_{10}$  se v epizodách 1 až 6 hodinových měnila v rozmezí 23 až 27  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V průběhu sledovaných epizod dochází k nárůstu koncentrace částic v ovzduší v rozmezí 1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (epizody 1 hodinové) až 8  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (epizody 5 hodinové), (obrázek 4).



Obr. 2 Počet epizod re-emise o různé délce trvání v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)



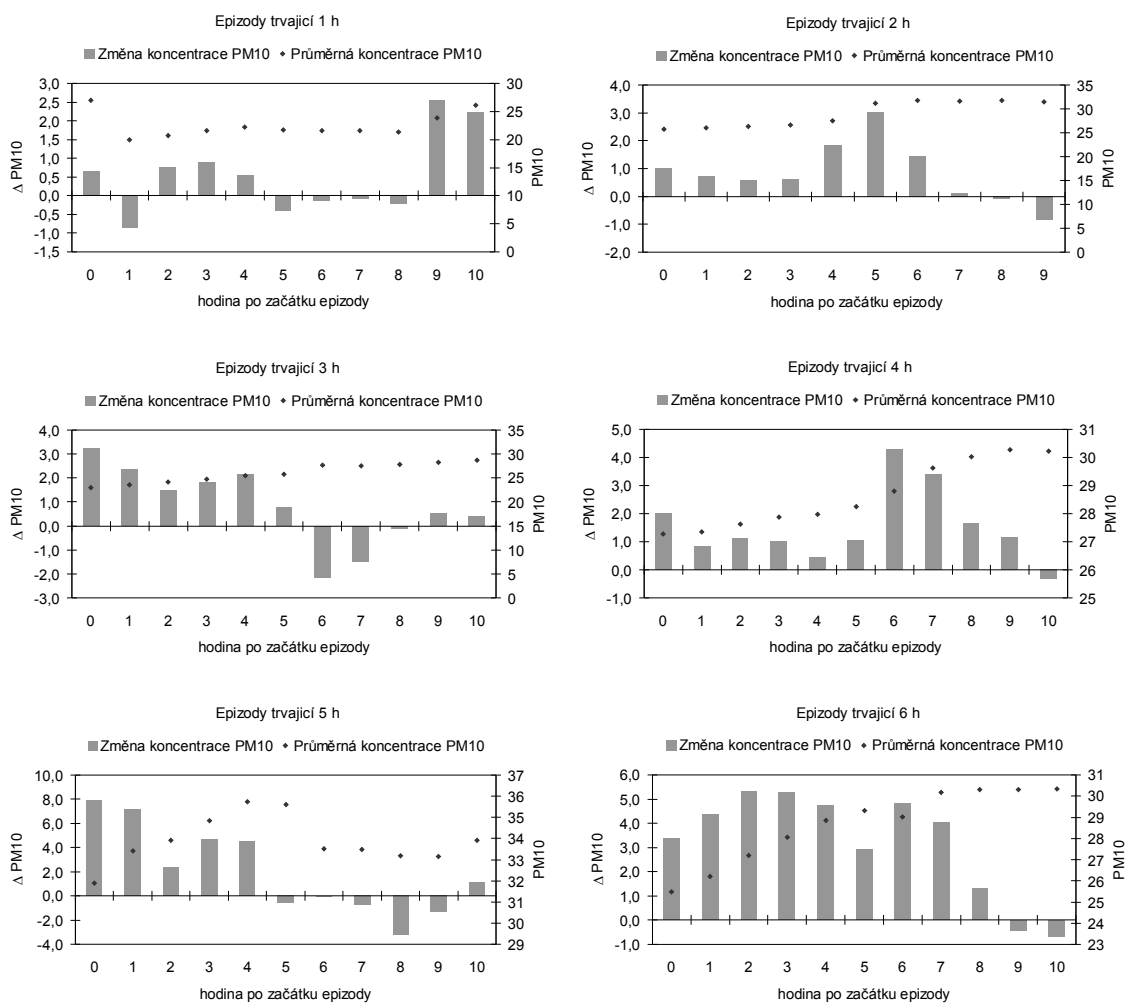
Obr. 3 Průměrná koncentrace  $PM_{10}$  v epizodách o různé délce trvání v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)



Obr. 4 Průměrná změna koncentrace  $PM_{10}$  v epizodách o různé délce trvání v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)

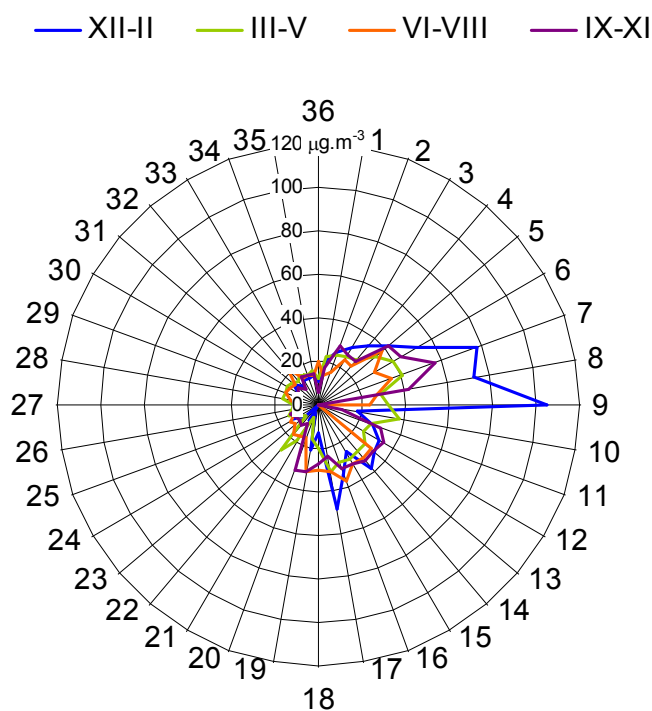
Vítr odnáší částice emitované v konkrétním místě (zdrojová oblast) a přenáší je do sousedních oblastí. Množství částic přidaných do ovzduší během epizody re-emise se proto může odrazit na celkové imisi teprve po zmenšení síly větru. V dalším kroku byla proto analyzována změna koncentrace  $PM_{10}$  v čase odpovídajícím délce trvání epizody re-emise,

nicméně z časovým odstupem. Sloupce v grafech na obrázku 5 ukazují, o kolik se změnila koncentrace  $PM_{10}$  v průběhu epizody (sloupec 0) a o kolik se změnila koncentrace  $PM_{10}$  v čase stejně dlouhém jako epizoda, ale vzhledem k začátku epizody opožděným o 1 až 10 hodin. Jak již bylo uvedeno, během epizod re-emise trvajících od jedné do šesti hodin dochází k nárůstu koncentrace  $PM_{10}$ . V případě jednodinových epizod imise  $PM_{10}$  ihned po ukončení epizody klesá. To znamená, že vítr odnesl suspendované částice z okolí stanice do jiné oblasti. V dalších časových úsecích se situace mění a imise  $PM_{10}$  ovlivňují jiní činitelé. V případech epizod trvajících delší dobu i po ukončení re-emise nadále dochází k nárůstu koncentraci částic v ovzduší. Je to způsobeno opadáním částic z vyšších vrstev směrem k povrchu země. Výjimkou jsou pouze epizody pětihodinové, při kterých hned po ukončení epizody koncentrace  $PM_{10}$  klesá. Není vyloučeno, že v tomto případě větší roli než re-emise hraje denní cyklus dalších meteorologických činitelů, jako například tloušťka vrstvy smíchávání nebo denní cyklus jiných zdrojů  $PM_{10}$ .



Obr. 5 Průměrná změna koncentrace  $PM_{10}$  v epizodách o různé délce trvání v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)

Jelikož v epizodách re-emise se jedná o transport částic v ovzduší je důležité vyhodnocení vlivu směru větru na koncentrace  $PM_{10}$  na sledované lokalitě. Na obrázku 6 jsou zobrazeny průměrné koncentrace  $PM_{10}$  v závislosti na směru větru v čtyřech ročních obdobích. Největší znečištění suspendovanými částicemi je v zimních měsících, kdy dominantní vliv na čistotu ovzduší mají zdroje svázané z vytápěním. Největší hodnoty jsou zaznamenány při východním a severovýchodním větru a také při větrech z jižních směrů. Na jaře, v létě a na podzim, kdy komunální zdroje mají menší význam než v zimě, koncentrace  $PM_{10}$  jsou však opět největší při východních, severovýchodních a jižních větrech. Jak už bylo zmíněno stanice Brno-Tuřany je položena na jihovýchodním okraji Brna, nicméně při větrech z nad města koncentrace tuhých částic je výrazně menší než při větrech z nad orných polí, která obklopují stanici právě z východní a jižní strany a podle klasifikace potenciální ohroženosti půdy větrnou erozí (<http://ms.sowac-gis.cz>) jsou to půdy náchylné a mírně ohrožené větrnou erozí. I když v celkové imisi  $PM_{10}$  nelze striktně rozeznat z jaké zdrojové oblasti pochází suspendované částice: z blízkého okolí nebo z dálkového přenosu, vliv větrné eroze půdy je v tomto případě významný.



Obr. 6 Průměrná koncentrace  $PM_{10}$  v epizodách re-emise při jednotlivých směrech větru v Brně-Tuřanech (2004 – 2012)

## Závěr

Cílem práce bylo podání charakteristiky epizod příznivých pro re-emise částic půdy v okolí Brna. Nepřímým ukazatelem intenzity re-emise v předkládané studii byla koncentrace  $PM_{10}$  a její změna z hodiny na hodinu. Jako epizody příznivé re-emisi byly definovány situace, kdy rychlost překračuje 5,4 m/s během bezsrážkové epizody, charakterizované jako období pěti nebo více po sobě jdoucích dnů, kdy celkový úhrn srážek nepřekročil 0,5 mm. Na základě analýzy materiálů z období let 2004 – 2012 bylo zjištěno, že pro re-emisi v Brně-Tuřanech je nejvíce příznivé období od února po květen, s maximem v dubnu, zatímco v září je sekundární maximum výskytu re-emisi. Z velké části je to období, kdy aktivní povrch není pokryt vegetací, a proto ohrožení půdy větrnou erozi je tehdy větší. Epizody re-emise se však mohou vyskytovat ve všech ročních obdobích.

Podmínky příznivé pro re-emisi trvají nejčastěji krátkou dobu, nepřesahující dvě hodiny. S délkou epizody klesá jejich počet. Nejdělsí zaznamenaná epizoda trvala v Brně-Tuřanech více než dva dni. Na základě statistické analýzy bylo dokázáno, že v průběhu epizod re-emise dohází k nárůstu koncentrace částic v ovzduší průměrně o  $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  během hodiny. Koncentrace  $PM_{10}$  v epizodách re-emise je největší při větrech s východního a jižního sektoru což, potvrzuje, že imise znečištění ovzduší je přijatelným indikátorem větrné eroze půdy.

## Literatura

Braaten, D.A., Shaw, R.H., Paw, U.K.T.: Boundary-layer flow structure associated with particle reentrainment. *Boundary- Layer Meteorology* 65, 255–272 (1993).

Brázdil, R., Kirchner K. et al., 2007, Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a Slezsku, Masaryková univerzita, ČHMÚ, Ústav geonomy Akademie věd ČR, Brno-Praha-Ostrava, s. 431, ISBN 978-80-210-4173-8.

<http://ms.sowac-gis.cz>

Sharratt, B. S., Vaddella, V.K., 2012, Threshold friction velocity of soils within the Columbia Plateau, *Aeolian Research* 6, 13–20



**Kontakt:**

Gražyna Knozová Dr.

Český hydrometeorologický ústav

Kroftová 43, 617 67 Brno

00420 541 421 034, [grazyna.knozova@chmi.cz](mailto:grazyna.knozova@chmi.cz)