

FYZIKÁLNÍ PODSTATA VĚTRNÉ EROZE NA TĚŽKÝCH PŮDÁCH

The physical point of wind erosion on heavy-textured soils

Jana Kozlovsky Dufková

Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova univerzita v Brně

Abstrakt

Na základě výsledků laboratorních simulací rozpadu půdních agregátů vlivem nízkých teplot, terénních měření teploty vzduchu a vlhkosti půdy a statistických vyhodnocení získaných údajů byla sestavena rovnice, která vyjadřuje vliv různých faktorů na rozpad půdních agregátů. Veškeré analýzy, ať již terénní či laboratorní, probíhaly na půdách z podhůří Bílých Karpat. S využitím vícenásobné regresní analýzy a krokové regrese byly stanoveny statisticky významné faktory ovlivňující rozpad půdních agregátů.

Klíčová slova: erodovatelnost, zmrznutí–rozmrznutí půdy, vysušení půdy mrazem

Abstract

The equation that expresses the influence of factors affecting soil aggregates breakdown, and thus wind erosion, originated from the results of laboratory simulations of soil aggregates breakdown due to low temperatures treatment, field measurements of air temperature and soil moisture, and statistical evaluation of gained outcomes. All the analyses, whether field or laboratory, were realized on soils from the Bílé Karpaty Mountains foothills. The statistically significant factors, influencing the soil aggregates breakdown, were determined using multiple regression analysis and stepwise regression.

Keywords: erodability, freezing-thawing, freeze-drying

Úvod

Větrná eroze, jev postihující především lehké výsušné půdy, se na několika místech České republiky vyskytuje i na půdách těžkých. Jednou z oblastí, kde se tato anomálie projevuje, je podhůří Bílých Karpat. Proces větrné eroze působí v tomto území převážně v zimním a předjarním období, kdy vlivem nízkých teplot dochází na zdejších půdách k výraznému rozpadu půdní struktury a půdy, které by zrnitostně v jiných oblastech patřily mezi neohrožené, jsou zde větrnou erozí silně ohrožovány.

Cílem práce bylo stanovit statisticky významné faktory ovlivňující rozpad půdních agregátů těžkých půd a kvantifikovat vztah mezi těmito faktory pomocí rovnice. Doposud totiž

neexistuje rovnice, která by byla schopna stanovit intenzitu větrné eroze na těžkých půdách. V současné době známé rovnice jsou založeny na předpokladu, že větrná eroze se na těžkých půdách (půdách s vyšším obsahem jílnatých částic) nevyskytuje.

Materiál a metody

Veškeré analýzy, ať již terénní či laboratorní, probíhaly na půdách ze tří experimentálních lokalit v podhůří Bílých Karpat, kde větrná eroze prokazatelně působí. Jedná se o lokality Ostrožská Nová Ves, Blatnice pod Svatým Antonínkem a Suchá Loz. U všech třech lokalit byly provedeny půdní rozborů. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Pedologická charakteristika tří experimentálních lokalit

Experimentální lokalita	Půdní typ	Půdní částice < 0,01 mm (%)	Neerodovatelná frakce půdy > 2 mm (%)	Humus (%)	CaCO₃ (%)
Ostrožská Nová Ves	černozem pelická	52,8	54,3	2,3	0,7
Blatnice pod Sv. Antonínkem	černozem modální	58,7	58,3	2,9	0,2
Suchá Loz	kambizem oglejená	62,7	61,6	3,7	0,2

Na základě studia odborné literatury, která se zabývá simulacemi vlivu nízkých teplot na rozpad půdních agregátů a na základě rozboru nedostatků jednotlivých metod přemrzání byla navržena vlastní metodika, která měla simulovat vliv klimatických podmínek na rozpad půdních agregátů těžkých půd v podhůří Bílých Karpat. Metodika je podrobně popsána v práci Kozlovsky Dufkové (2010a) nebo Kozlovsky Dufkové (2010b).

Na vzduchu vyschlé vzorky půdy z povrchové vrstvy byly podrobeny agregátové analýze, při které byly na sítech odděleny půdní částice a agregáty větší než 2 mm (tzv. neerodovatelná frakce půdy = NEF) (Švehlík, 1990). Podle různých autorů (např. Hinman *et Bisal*, 1968; Staricka *et Benoit*, 1995; Bullock *et al.*, 1999) je důležitým faktorem, ovlivňujícím rozpad půdních agregátů, půdní vlhkost. Z tohoto důvodu byly vzorky půdy, resp. NEF, ovlhčeny na následující vlhkosti vyskytující se reálně v přirozených podmínkách – na vlhkost přibližně se rovnající plné vodní kapacitě Θ_S , polní vodní kapacitě Θ_{PK} , bodu vadnutí Θ_V a jedna sada

vzorků byla ponechána bez ovlhčení Θ_0 (kontrolní vzorek vysušený při pokojové teplotě). Ovlhčené vzorky NEF byly následně vystaveny působení nízkých teplot v procesu „zmrznutí–rozmrznutí“ (= FT z angl. „freezing and thawing“) a „vysušení půdy mrazem“ (= FD z angl. „freeze-drying“). Za hraniční teplotu při simulaci procesu zmrznutí byla brána teplota -2°C , pro simulaci procesu rozmrznutí $+2^{\circ}\text{C}$ a pro simulaci procesu vysušení půdy mrazem opět -2°C . Vzhledem k tomu, že v přirozených podmínkách dochází k těmto procesům během zimy několikrát, byly cykly FT/FD několikrát opakovány, a to až do doby, než se NEF, která zůstávala na sítech, přestala rozpadávat, tedy změna hmotnosti byla menší než 1 %, protože po každém cyklu, byla provedena agregátová analýza a opětovně zjištěn obsah NEF ve vzorku.

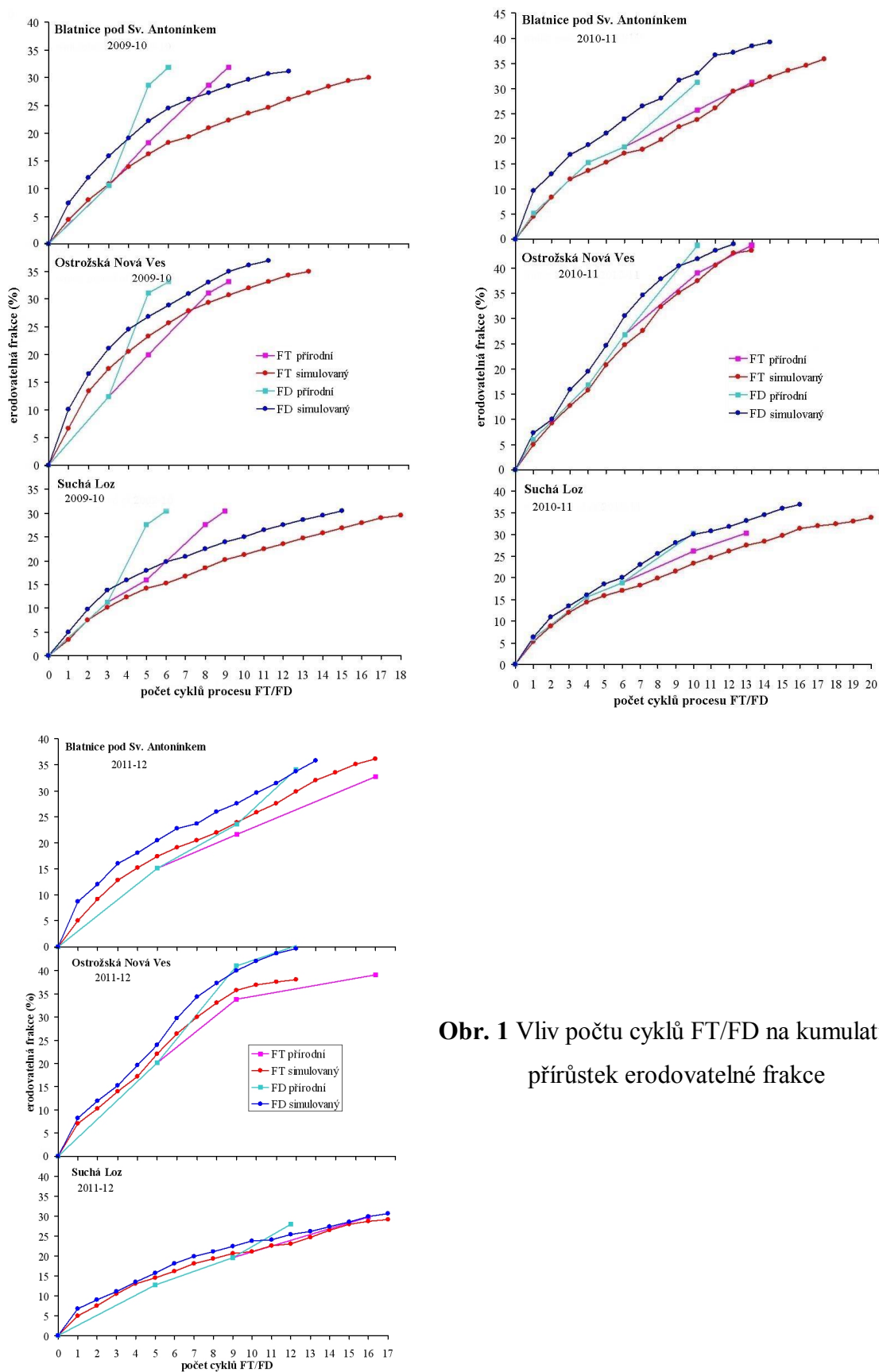
Současně s laboratorními simulacemi rozpadu půdních agregátů probíhala v terénu měření teploty vzduchu a vlhkosti půdy. Teplota vzduchu byla měřena 2 m nad zemským povrchem pomocí čidla Hobo (Onset Computer Corporation), přízemní minimum měřilo čidlo Dallas DS18B20 (Maxim/Dallas Semiconductor Products, Maxim Integrated Products). Vlhkost půdy byla měřena v hloubce 0,5 m pod zemským povrchem pomocí čidla VIRRIB (Amet).

Úkolem teplotních čidel bylo zaznamenat počet cyklů procesu FT a FD v terénních podmínkách během chladného období roku.

Aby bylo možno posoudit, zda navržená metodika přemrzání a rozpadu půdních agregátů v laboratorních podmínkách skutečně simuluje přírodní procesy FT/FD, bylo potřeba statisticky vyhodnotit a porovnat získané výsledky. Statistické analýzy byly provedeny pomocí programů Minitab 15.1. (Minitab Inc.), Unistat 5.1 (Unistat Ltd.) a MS Office Excel.

Výsledky a diskuse

Porovnání přírodních a v laboratoři simulovaných procesů přemrzání bylo provedeno na základě porovnání kumulativního přírůstku procentuálního obsahu erodovatelné frakce (=EF, částice a agregáty $< 2\text{ mm}$) po jednotlivých cyklech procesu FT/FD, a to především z toho důvodu, že procentuální obsah NEF v analyzovaných vzorcích nebyl na počátku přírodního a simulovaného procesu přemrzání půdy zcela totožný, a tudíž by jeho porovnávání bylo obtížné a nepřehledné. Kumulativní přírůstky procentuálního obsahu EF byly vyneseny do grafů (Obr. 1), aby bylo možno sledovat postupné narůstání množství rozpadlých půdních agregátů od prvního až do posledního cyklu přirozeného i simulovaného procesu FT/FD.



Obr. 1 Vliv počtu cyklů FT/FD na kumulativní přírůstek erodovatelné frakce

Grafické porovnání je však založeno na subjektivním hodnocení. Objektivní posouzení podobnosti simulovaných a přírodních procesů FT/FD bylo provedeno pomocí statistických analýz. Kromě nejznámějšího, nepoužívanějšího a nejjednoduššího testu nulovosti korelačního koeficientu, byl použit např. dvouvýběrový F-test pro rozptyl nebo dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů, při kterém se posuzoval vztah mezi průměry.

Z provedených statistických analýz vyplývá, že přírodní a simulovaný proces přemrzání půdních agregátů se podle dvouvýběrových parametrických testů z 95 % statisticky významně neliší, což znamená, že navržená metodika přemrzání půdních agregátů v laboratorních podmínkách simuluje přírodní proces FT/FD s tím, že v přírodě od sebe nelze oba procesy zcela oddělit a na rozpad půdních agregátů působí i jiné vlivy.

Posledním krokem analýz bylo určit statisticky významné faktory, které ovlivňují rozpad půdních agregátů. Toto vyhodnocení bylo provedeno pomocí vícenásobné regresní analýzy (VRA), při které byl využit statický program Minitab a pomocí krokové (etapové) regrese (Stepwise Regression) za použití programu Unistat. V rámci VRA byla vytvořena rovnice (1), s pomocí které je možno stanovit obsah NEF po působení několika cyklů FT nebo FD při určité vlhkosti půdy v době zmrznutí. Korelační koeficient je roven 0,7970 při dosažené hodnotě $P = 0,000$:

$$NEF_{end} = -12,37 + 0,49NEF_{start} - 0,43V - 1,02FT - 1,34FD + 0,56M + 0,48H, \quad (1)$$

kde NEF_{end} = výsledný obsah NEF po prodělání několika cyklů procesu FT/FD (%),

NEF_{start} = počáteční obsah NEF před působením procesu FT/FD (%),

FT = počet cyklů procesu FT,

FD = počet cyklů procesu FD,

V = vlhkost půdního vzorku v době zmrznutí (% obj.),

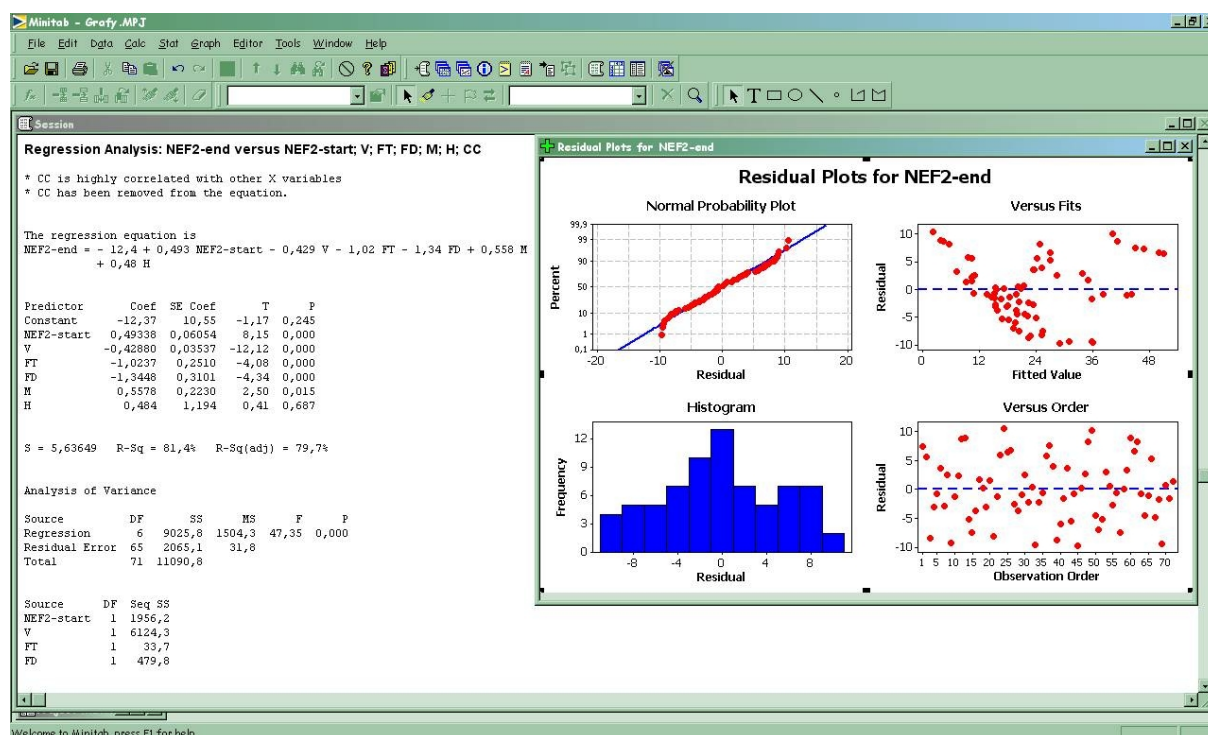
M = obsah jílnatých částic (%) a

H = obsah humusu (%).

Podle některých autorů (např. Skidmore *et* Layton 1992, Fryrear *et al.* 1994, López *et al.* 2000) je intenzita rozpadu půdních agregátů mrazem ovlivněna také obsahem $CaCO_3$ v půdě. Colazo *et* Buschiazzo (2010) uvádějí, že zvyšování obsahu $CaCO_3$ v půdě až do 5 g.kg^{-1} má vliv na zvyšování obsahu EF. Pokud se v půdě nachází větší množství $CaCO_3$, než je uvedená hranice, obsah EF se snižuje díky tvorbě druhotných agregátů. Podle Chepila (1954) nemá 3% obsah

CaCO₃ v půdě žádný vliv na agregátovou stabilitu, ale zvýšení obsahu CaCO₃ na 10 % a více se projeví ve zvýšení stability. Autor ovšem podotýká, že zmiňovaný efekt je patrný pouze u lehkých půd. Lehrs *et al.* (1993) uvádějí, že při obsahu 0–4 % CaCO₃ v půdách s vyšším obsahem jílnatých částic roste stabilita půdních agregátů, ale při zvýšení obsahu CaCO₃ na 4–32 % se zvyšuje obsah EF v půdě.

Vzhledem k tomu, že u půd na všech třech experimentálních lokalitách byl obsah CaCO₃ stanoven, mohla do VRA vstoupit i tato hodnota. Při sestavení korelační matice byla ovšem zjištěna multikolinearita mezi obsahem CaCO₃ a jinými proměnnými v matici a oba použité (výše uvedené) statistické programy tuto veličinu z dalších analýz vyloučily (Obr. 2).



Obr. 2 Výstupní protokol VRA z programu Minitab s vyřazením proměnné „obsah CaCO₃“ (CC) z dalších analýz

O vzájemných vztazích závisle i nezávisle proměnných v rovnici (1) referují korelační koeficienty v korelační matici v Tab. 2. Výsledky korelační analýzy, resp. míry podobnosti korelačních koeficientů, mohou být interpretovány i pomocí tzv. dendrogramů v rámci shlukové (clusterové) analýzy, které jsou na první pohled přehlednější než samotné korelační matice (Obr. 3). Dendrogram vyjadřuje podobnost korelačních koeficientů jedné závisle (NEF_{end}) a šesti nezávisle (NEF_{start}, FT, FD, V, M a H) proměnných, přičemž nejpodobnější

(nejbližší), a tudíž nejvíce ovlivňující závisle proměnnou (konečný obsah NEF po několika cyklech přemrznutí), je vlhkost půdy v době jejího zmrznutí (V). Významné působení na rozpad půdních agregátů v zimním období přičítají vlhkosti půdy i jiní autoři (Bryan 1971; Edwards, 1991; López *et al.* 2001; Oztaz *et Fayetorbay* 2003 aj.). Podle Staricky *et Benoit* (1995) má půdní vlhkost a počáteční velikost agregátů mnohem větší vliv na jejich rozpad, než samotný proces FT a půdní druh.

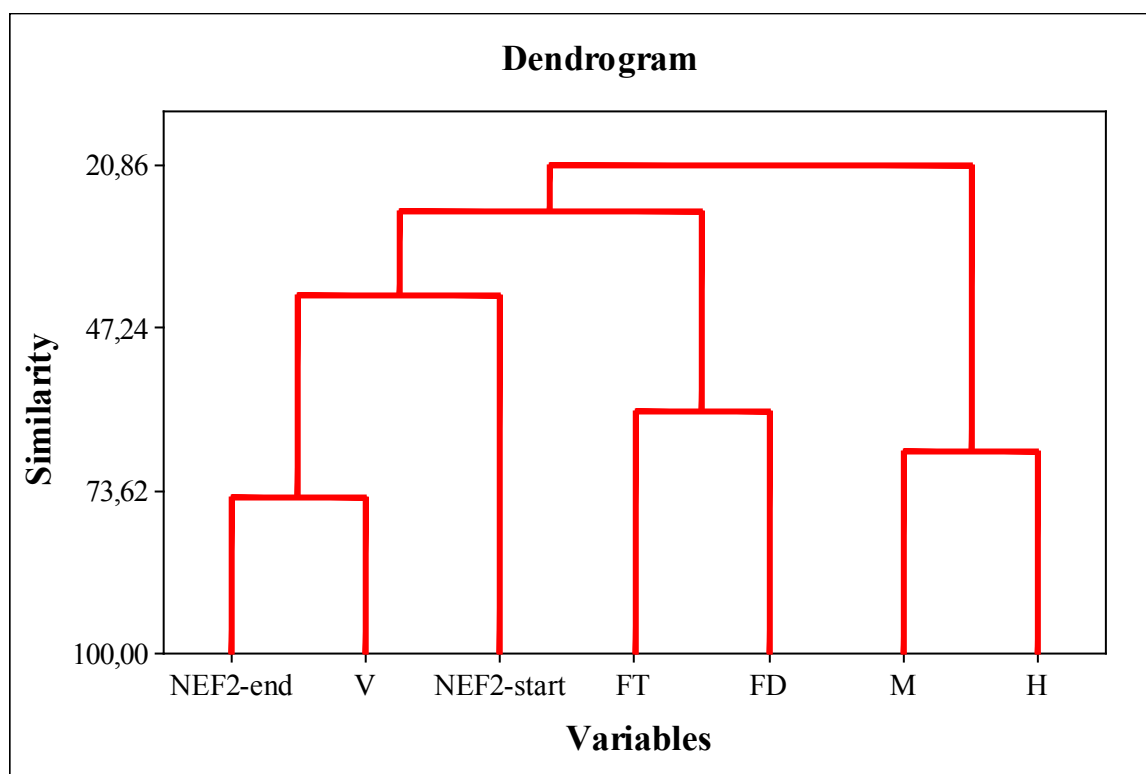
Tab. 2 Korelační matice udávající statistické závislosti mezi jednotlivými proměnnými vstupujícími do rovnice (NEF_{end} – výsledný obsah NEF po prodělání několika cyklů procesu FT/FD (%); NEF_{start} – počáteční obsah NEF před působením procesu FT/FD (%); FT – počet cyklů procesu FT; FD – počet cyklů procesu FD; V – vlhkost půdního vzorku v době zmrznutí (% obj.); M – obsah jílnatých částic (%); H – obsah humusu (%))

	NEF_{end}	NEF_{start}	V	FT	FD	M	H
NEF_{end}	1						
NEF_{start}	0,4200	1					
V	-0,7480	-0,0119	1				
FT	-0,0281	0,2824	0,1234	1			
FD	-0,0238	0,2819	0,0705	-0,6085	1		
M	0,20856	0,1984	0,0468	0,1001	0,1077	1	
H	0,16786	0,1799	0,0327	0,0789	0,1000	0,6727	1

Počty cyklů procesu FT a FD, které jsou podle dendrogramu na stejné úrovni, působí na základě statistického vyhodnocení simulačních analýz na konečný obsah NEF podobně. Při grafickém vyhodnocování v laboratoři simulovaných procesů FT a FD se však jako intenzivnější proces, který měl na rozpad půdních agregátů větší účinek, jevil proces FD. Také Tatarko *et al.* (2001), McKenna Neumann (2003) nebo van Dijk *et Law* (2003) uvádějí, že významnější z procesů FT a FD, ve smyslu jejich působení na rozpad půdních agregátů, je proces FD. Teprve s poklesem vlhkosti půdy klesá význam procesu, který na půdní agregáty působí, rozdíl se stírají.

Obsah jílnatých částic se ukázal, z hlediska ovlivnění rozpadu půdních agregátů, jako nejméně účinný faktor, což je zajímavé zjištění, protože podle mnoha autorů (Pasák 1971, Středanský 1980, Schwab *et al.* 1993, Attou *et al.* 1998, Stout *et Lee* 2003 aj.) je obsah

jílnatých částic jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících tvorbu druhotných agregátů a hrud a potažmo i potenciální erodovatelnost půd větrem. Vysvětlení se nabízí v přibližně stejném obsahu jílnatých částic ve třech analyzovaných půdách (rozdíl v obsahu jílnatých částic na všech třech lokalitách činil jen 9,9 %), a tudíž se při statistických analýzách vliv obsahu jílnatých částic na konečný obsah NEF příliš neprojevil.



Obr. 3 Dendrogram vyjadřující podobnost korelačních koeficientů nezávisle proměnných veličin ovlivňujících rozpad půdních agregátů v zimním období (NEF_{end} – závisle proměnná)

Jedním z faktorů, který má také vliv na stabilitu půdních agregátů, a který nebyl zahrnut do hodnocení, je způsob obhospodařování půdy. Na všech třech experimentálních lokalitách byla půda kultivována obdobným způsobem, takže by se vliv způsobu hospodaření na rozpad půdních agregátů stejně neprojevil. Podle Langstona *et McKenna Neuman* (2005) jsou půdní zrnitost a způsob zpracování půdy nejdůležitějšími faktory ovlivňujícími půdní erodovatelnost; pomocí nich lze vysvětlit až 50 % celkové variability EF. Stabilita půdních agregátů v zimním období závisí především na pěstovaných plodinách a případných posklizňových zbytcích (Layton *et al.* 1993). Půda krytá rostlinnými zbytky nebo sněhem nevysychá, je chráněna před účinky mrazu (před procesy FT a FD). Pozitivní vliv ochranné vrstvy vegetace či sněhu se projevuje především v suchých zimách, méně pak v zimách

vlhkých. Bezorebný způsob hospodaření má za následek tvorbu poměrně malých agregátů, které se navíc snadno rozpadají a půda se může stát, pokud není chráněna posklizňovými zbytky, náchylnou k větrné erozi (Unger 1991).

Závěr

Pomocí výsledné rovnice (1) je možno stanovit obsah neerodovatelné frakce v půdě po určitém počtu cyklů procesů FT/FD, pokud je znám počáteční obsah NEF, vlhkost půdy v době jejího zmrznutí a obsah jílnatých částic v půdě. Získaná rovnice sice neumožňuje stanovení konkrétního množství oderodované půdy, avšak na základě vypočítaného obsahu neerodovatelné frakce půdy a předpokladu 40% hranice erodovatelnosti, dokáže alespoň přibližně určit, zda těžká půda vystavená několika cyklům přemrznutí bude v jarním období náchylná k odnosu větrem či nikoliv. Podle Bisala *et* Fergusona (1968) jsou totiž půdy, které obsahují < 40% NEF náchylné k větrné erozi, 40% hranice je nazývána hranicí erodovatelnosti.

Literatura

Attou F., Bruand A., le Bissonnais Y., 1998. Effect of clay content and silt-clay fabric on stability of artificial aggregates. *European Journal of Soil Science* 49:569–577.

Bisal, F., Ferguson, W.S., 1968. Monthly and yearly changes in aggregate size of surface soils. *Canadian Journal of Soil Science* 48:159–164.

Bryan, R.B., 1971. The influence of frost action on soil-aggregate stability. *Transactions of the Institute of British Geographers* 54:71–88.

Bullock, M.S., Larney, F.J., McGinn, S.M., Izaurralde, R.C., 1999. Freeze-drying processes and wind erodibility of a clay loam soil in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 79(1):127–135.

Colazo J.C., Buschiazzi D.E., 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159:228–236.

Edwards, L.M., 1991. The effect of alternate freezing and thawing on aggregate stability and aggregate size distribution of some Prince Edward Island soils. *European Journal of Soil Science* 42(2):193–204.

Fryrear, D.W., Krammes, C.A., Williamson, D.L., Zobeck, T.M., 1994. Computing the wind erodible fraction of soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(2):183–188.

- Hebák, P., 2006. *Vícerozměrné statistické metody 2*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 239 s. ISBN 80-7333-036-9.
- Hendl, J., 2004. *Přehled statistických metod zpracování dat*. 3. vyd. Praha: Portál, 696 s. ISBN 978-80-7367-482-3.
- Hinman, W.C., Bisal, F., 1968. Alterations of soil structure upon freezing and thawing and subsequent draing. *Canadian Journal of Soil Science* 48:193–197.
- Chepil W.S., 1954. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind III. Calcium carbonate and decomposed organic matter. *Soil Science* 77:473–480.
- Kozlovsky Dufková, J., 2010a. Assessment of influence of overwinter processes on soil degradation by wind erosion. In *16th international congress of Soil and Water Conservation* (proceedings [CD-Rom]). Santiago de Chile: International Soil Conservation Organization, 8.–12.11.2010, pp. 384–389.
- Kozlovsky Dufková, J., 2010b. Vliv nízkých teplot na rozpad půdních částic těžkých půd. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 58(2):161–168. ISSN 1211-8516.
- Langston G., McKenna Neuman C., 2005. An experimental study on the susceptibility of crusted surfaces to wind erosion: A comparison of the strength properties of biotic and salt crusts. *Geomorphology* 72:40–53.
- Layton J.B., Skidmore E.L., Thompson C.A., 1993. Winter-associated changes in dry-soil aggregation as influenced by management. *Soil Science Society of America Journal* 57:1 568–1 572.
- Lehrsch G.A., Sojka R.E., Jolley P.M., 1993. Freezing effects on aggregate stability of soils amended with lime and gypsum. *Catena supplement* 24:115–127.
- López, M.V., Gracia, R., Arrue, J.L., 2000. Effect of reduce tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragon. *Europea Journal of Agronomy* 12:191–199.
- López, M.V., Gracia, R., Arrue, J.L., 2001. An evaluation of wind erosion hazard in fallow lands of semiarid Aragon (NE Spain). *Journal of Soil and Water Conservation* 56:212–219.
- McKenna Neuman C., 2003. Effect of temperature and humidity upon the entrainment of sedimentary particles by wind. *Boundary-Layer Meteorology* 108:61–89.
- Oztas, T., Fayetorbay, F., 2003. Effects of freezing and thawing processes on soil aggregate stability. *Catena* 52:1–8.

Pasák V., 1971. Význam zrnitostního složení a vlhkosti půdy při větrné erozi. *Meliorace* 44(1).

Schwab G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K., 1993. *Soil and water conservation engineering*. New York: John Wiley & Sons.

Skidmore, E.L., Layton, J.B., 1992. Dry soil aggregate stability as influenced by selected soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 56(2):557–561.

Staricka, J.A., Benoit, G.R., 1995. Freeze-drying effects on wet and dry soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 59:218–223.

Stout J.E., Lee, J.A., 2003. Indirect evidence of wind erosion trends on the Southern High Plains of North America. *Journal of Arid Environments* 55:43–61.

Stred'anský J., 1980. Závislost' odnosu pôdy od rýchlosti vetra. *Pol'nohospodárstvo* 26(3):219–227.

Švehlík, R., 1990. Hranice erodovatelnosti půdy větrem. *Geografický časopis* 42(3):309–319.

Tatarko J., Wagner L.E., Boyce C.A., 2001. Effects of overwinter processes on stability of dry soil aggregates. In *Soil erosion research for the 21st century* [proceedings]. Honolulu, 3.–5.1.2001, pp. 459–462.

Unger P.W., 1991. Overwinter changes in physical properties of a no-tillage soil. *Soil Science Society of America Journal* 55:778–782.

Poděkování

Výsledky práce jsou součástí řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QH82099 „Kriteria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními“.

Kontakt:

Ing. Jana Kozlovsky Dufková, Ph.D.

Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1, 613 00 Brno

tel. 545 132 472, janadufkova@email.cz