



Česká pedologická společnost
Societas pedologica slovacica
Masarykova univerzita v Brně
Mendelova univerzita v Brně
Česká zemědělská univerzita v Praze
Univerzita Palackého v Olomouci
VUMOP Praha a Brno
UKZUZ Brno

16. pedologické dny 2013

Časové změny půdních vlastností a jejich predikce

(Sborník příspěvků)

4. 9. – 6. 9. 2013, Milovy, Hotel Devět skal



Editor: Eva Sáňková

Vydala: © Mendelova univerzita v Brně, 2013

Texty neprošly formální a jazykovou úpravou

Obsah

Juraj Bebej, Juraj Gregor, Marián Homolák, Emília Jurášová – Zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôd vplyvom preferovaného prúdenia vody v pôde

Erika Gömöryová, Dušan Gömöry - Vývoj niektorých pôdnych charakteristík na kalamitných plochách tanapu v období rokov 2006-2012

Jan Horáček, Pavel Novák, Peter Liebhard, Eduard Strosser, Maria Babulicová - Zhoršuje se kvalita humusu v černozemích?

Beáta Hrabovská, Anna Hammerová, Jiří Jandák, Martin Brtnický, Jan Hladký, Vítězslav Vlček - Vodná erózia pôdy

Šimon Chmelár - Stav zemědělských půd na černozemích v oblasti Hustopeče

Jozef Kobza – Sprasný stav a vývoj vlastností pôd Slovenska

Dana Kotorová, Božena Šoltysová – Vývoj vlastností ťažkých pôd pri rozdielnej agrotechnike

Jana Kozlovsky Dufková - Erodivateľnosť ťažkých pôd vätrem a nový spôsob jejího stanovení

Erika Kriaková, Marián Homolák, Viliam Pichler, Erika Gömöryová – Vplyv melioračných efektov lesa na variabilitu zásob pôdného organického uhlíka v krajine s chladnou horskou klímou

Jarmila Makovníková - Aktuálny stav a vývojové trendy aktívneho hliníka v kambizemiach Slovenska

Katarína Nováková, Vladimír Piš, Igor Sobocký- Časové zmeny vlhkosti rôznych druhov poľnohospodárskych pôd

Martin Svoboda, Jan Červinka – Vliv traktorových souprav na zhutnění

Filip Vašák, Jindřich Černý, Šárka Shejbalová, Martin Kulhánek, Jiří Balík - Změny půdního pH v dlouhodobých polních pokusech s rotací plodin

Tereza Zádorová, Vít Penížek, Daniel Žížala, Šárka Čejková – Mapování koluvizemí v hnědozemích oblastech na základě analýz digitálního modelu terénu

ZMENY FYZIKÁLNYCH A CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ PŮD VPLYVOM PREFEROVANÉHO PRŮDENIA VODY V PŮDE

Juraj Bebej, Juraj Gregor, Marián Homolák a Emília Jurášová
*Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, T. G.
Masaryka 24, 960 53 Zvolen*
bebej@tuzvo.sk, gregor@tuzvo.sk, homolak@tuzvo.sk, e.jurasova@gmail.com

ABSTRAKT

V predloženej práci sú dokumentované zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôd na úrovni minerálneho podielu pôd vo vzťahu k procesom vnútropôdneho zvetrávania podmieneným pohybom vody v pôde v transportných cestách zdokumentovaných pomocou závlahových testov s farbivom Brilliant Blue. Granulometrické analýzy potvrdili štatisticky významné vplyvy preferovaného prúdenia na textúru pôd. Výsledky meraní pH minerálneho podielu pôd zdokumentovali korelácie týchto hodnôt s veľkosťou zrnitostných frakcií, na základe čoho je možné hodnoty pH v H₂O pôdneho skeletu považovať za indikátor stupňa ich alterácie. Výsledky geochemického štúdia jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd odhalili intenzívne vyvinuté procesy mobilizácie a translokácie niektorých prvkov, pričom tieto procesy sú evidentné tak na úrovni jemnozeme, ako aj jednotlivých zrnitostných frakcií pôdneho skeletu. Získané výsledky zdokumentovali vzájomné previazanie procesov vnútropôdneho zvetrávaniamineralného podielu pôd so zložením sorpčného komplexumineralného podielu pôd, ako aj súvis s procesmi pohybu vody v pôde. Potvrdila sa taktiež významná úloha skeletovej frakcie mineralného podielu pôd na zásobách bázičných kationov sorpčného komplexu, ako aj cca 40% podiel skeletovej frakcie pôd na bilančných zásobách uhlíka v pôde.

Kľúčové slová: vnútropôdne zvetrávanie, fyzikálno-chemické vlastnosti pôd, kationová výmenná kapacita, preferované prúdenie vody v pôde

ÚVOD

Lesné pôdy sú charakteristické vysokým podielom pôdneho skeletu, ktorý tvoria minerálne zrná väčšie ako 2 mm, no napriek tomu táto frakcia mineralného podielu pôd nie je bežnou súčasťou fyzikálno-chemických analýz a samostatného vedeckého štúdia. Napriek týmto konštatovaniám sa však vo vedeckej literatúre objavili viaceré práce cieľom ktorých bolo zhodnotiť význam skeletovej frakcie na látkovo-energetických tokoch v pôde (Ugolini et al., 1996., Corti et al. 2002), na štruktúre mikrobiálnych spoločenstiev v pôde (Certini et al. 2004), na hydrologických a retenčných vlastnostiach skeletnatých pôd Gregor (1991), Gregor (1992), Novák et al. (2000). Heiser et al. (2004) dokázali, že pôdny skelet môže dosahovať analogickú výmennú kapacitu kationov v sorpčnom komplexe ako jemnozeme a nasýtenosť bázičnými kationmi pôdneho skeletu môže byť dokonca vyššia ako pri frakcii jemnozeme. Prvé práce v tejto oblasti z lesných pôd SR (Bebej et al. 2011) potvrdili v plnom rozsahu predstavu o účasti tejto frakcie mineralného podielu pôd na pôdotvorných reakciách v zmysle prác Cortiho et al. (1997), Kohlera (2001), Heisera et al. (2004), ako aj

skutočnosť, že skeletová frakcia s rozmermi 2,0–5,0 mm je pri pôdotvorných procesoch a reakciách aktívnou zložkou minerálneho podielu pôd.

Cieľom predloženého príspevku je v krátkosti zdokumentovať najvýznamnejšie skutočnosti, ku ktorým sa prišlo počas štúdia skeletovej frakcie lesných pôd SR v rámci riešenia viacerých výskumných úloh rôznych projektových schém a dizertačnej práce Jurášovej (2013), ktorá študovala procesy vnútropôdneho zvetrávania pôdneho skeletu a sorpčné charakteristiky minerálneho podielu pôd vo vzťahu s pohybom vody v pôde. Získané analytické podklady umožnili taktiež vyčíslit' bilančné zásoby živín a uhlíka viazané na jednotlivé zrnitostné frakcie minerálneho podielu pôd.

METODIKA

Pre účely sledovania redistribúcie živín v pôdnom profile bol navrhnutý a zrealizovaný terénny indikátorový experiment. Odberové práce boli vykonané na území Starohorských vrchov, v bukovo-smrekovom poraste lokality Šachtičky, v masíve Panského dielulokalizovaného severne od Banskej Bystrice vo Fatransko-tatranskej oblasti a subprovincii Vnútrotných Západných Karpát.

Na lokalite Šachtičky bol v na pôdu indikátorovým aplikátorom (*Obr. 1*) aplikovaný roztok farbiva Brilliant Blue FCF s koncentráciou 10 g/l (Flury, Flühler, 1995) na ploche o rozlohe 1m² po dobu cca. 1 hod. Následne boli odkryté jednotlivé rezy so zobrazenými preferovanými cestami vody v pôde (*Obr. 2*), z ktorých boli odobrané pôdne vzorky na laboratórne rozbor a analýzy. Pôdny profil je opísaný v *Tab. 1*.

Názov pôdneho horizontu		Hĺbka (cm)	Opis pôdneho horizontu
Pokryvkový opadankový horizont Oo	subhorizont O _{ol}	1,5 – 7,0	listnatý a ihličnatý opad (listy, konáriky, šišky...)
	subhorizont O _{of}	0,5 – 1,5	drvina z listnatých a ihličnatých drevín
	subhorizont O _{oh}	0,0 – 0,5	melina z listnatých a ihličnatých drevín
Ochrický horizont	horizont Ao	0 – 5,0	ochrický, tmavohnedý, piesčitohlinitý, vlhký, jemne odrobinkovitý, kyprý, skelet veľkosti štrku cca 5 %, stredne prekorenený, zjavný prechod do Bv horizontu
Podpovrchové horizonty	Bvp1 horizont	5 – 20	podpovrchový kambický, vymytý, ochudobnený o seskvioxidy
	Bvs1 horizont	20 – 40	podpovrchový kambický, obohatený o seskvioxidy
	Bv horizont	40 – 70	podpovrchový kambický pôvodný
	Bvp2 horizont	70 – 90	podpovrchový kambický, vymytý, ochudobnený o seskvioxidy
	Bvs1 horizont	90 – 110	podpovrchový kambický, obohatený o seskvioxidy
	horizont C ₁	110 +	bledohnedý (po belavej svetlej bridlici?), piesčitý, až 70 % navetráleného skeletu (bridlice), vlhký, uľahnutý, materský substrát: svahovina z pestrých bridlic, zlepcov, brekcií, pieskocov a valúnov leukokrátnych granitoidov s draselnými živcami

Tab.1 Opis pôdneho profilu lokality Šachtičky

V súlade s kritériami Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (Šály et al., 2000) ide o pôdny typ kambizem podzolová.

Odber vzoriek sa zrealizoval na objemovej báze tak, že na každých 10 cm hĺbky boli Kopeckého fyzikálnymi valčekmi s objemom 100 cm^3 z každého rezu odobraté po tri vzorky pôdy na ďalšie laboratórne rozbory a analýzy podľa nasledovného kľúča:

- 1) vzorka nesfarbenej zeminy označená ako **NF** (t.j. nesfarbená vzorka) reprezentujúca vzorky pôd ležiacich mimo preferovaného prúdenia farbiaceho roztoku,
- 2) vzorka slabo sfarbenej zeminy (označená ako **SF**: stredne sfarbená), reprezentujúca pôdu ležiacu na okraji vlhkostného frontu,
- 3) vzorka intenzívne sfarbenej zeminy (**IF**: intenzívne sfarbená vzorka), reprezentujúca pôdu zo zón s preferovaným prúdením vody v pôde.



Obr. 1 Aplikácia indikátorového farbiva na pôdu



Obr. 2 Odkrytý pôdny profil po aplikácii farbiva

Na takto odobratých pôdnych vzorkách sme vykonali komplexný rozbor základných fyzikálnych a chemických vlastností pôdy. K meraným parametrom patrili stanovenia: (a) obsahu vody v pôde TDR metódou, (b) objemovej hmotnosti pôdy, (c) zrnitostného zloženia minerálneho podielu pôd na objemovej báze s tým, že skeletová frakcia pôd sa pre potreby ďalšieho štúdia rozdelila dopiatichzrnitostných frakcií skeletu označených symbolmi: A: od 2,0 mm – 2,5 mm, B: 2,5 mm – 2,8 mm, C: od 2,8 mm – 5,0 mm, D: od 5,0 mm – 7,0 mm a nakoniec, E: frakcie skeletu $> 7,0 \text{ mm}$, čo spolu tvorilo 720 zrnitostných frakcií.

U vybraných vzoriek bola taktiež meraná merná a objemová hmotnosť pôdneho skeletu (hydrostatickou metódou), z ktorých následným výpočtom bola určená pórovitosť pôdneho skeletu.

Súčasťou rozborov bola zrnitostná analýza jemnozeme pipetovacou metódou.

Súčasťou analýz bolo aj meranie hodnôt pH v H_2O jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd štandardnými laboratórnymi postupmi. Analogicky, štandardnými laboratórnymi postupmi (NH_4Cl a meraním AAS) bol stanovený obsah bázických kationov v sorpčnom komplexe pôd, a to tak v rámci frakcie jemnozeme, ako aj na úrovni jednotlivých zrnitostných frakcií pôdneho skeletu.

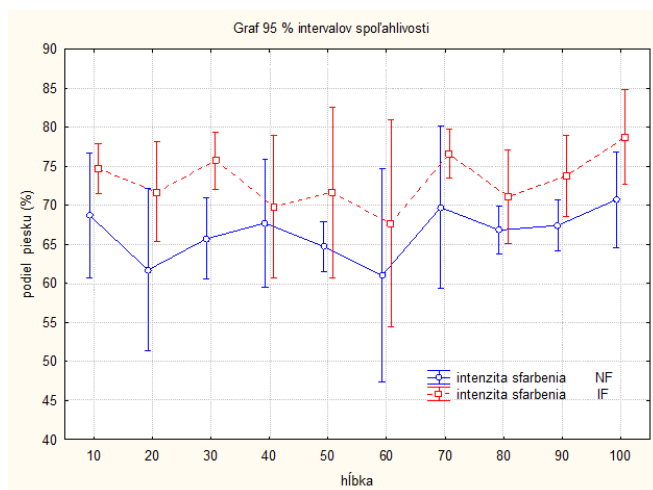
Chemické zloženie jednotlivých zrnitostných frakcií pôdneho skeletu s pohľadom geochemických profilov dokumentujúcich procesy vnútrópodného zvetrávania sme určili pomocou XRF analyzátoru NITONXL3t GOLDD s He preplachom, pričom tieto merania boli realizované na štandarde „soil“ analyticky overenom v laboratóriách spoločnosti SPECTRO G.M.B.H. v Nemecku.

Z dôvodu kontaminácie experimentálnej plochy organickým farbivom Brilliant Blue bol obsah uhlíka C v minerálnom podieli pôd realizovaný na pôdnych vzorkách odobratých z paralelnej pôdnej sondy nezasiahnutej pôsobením infiltračného testu, pričom samotné merania sa realizovali na CNS analyzátoře Vario Macro v laboratóriách KPP TU vo Zvolene.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z výsledkov štúdia procesov odohrávajúcich sa na rozhraní systému pôdny roztok-minerálny podiel pôd v zónach s rozdielnou intenzitou pohybu vody v pôde - detailne diskutovaných v práci Jurášová (2013) - osobitnú pozornosť venujeme nasledovným zisteniam:

1). Viacfaktorová analýza vzťahov medzi hĺbkou pôdy, transportnými cestami vody v pôde a zrnitostným zložením pôd zdokumentovala, že v celom hĺbkovom profile pôdy s preferovaným prúdením vody (IF) je možno pozorovať relatívne obohatenie minerálneho podielu jemnozeme o pieskovú frakciu, v zrovnaní so zónami ležiacim mimo preferovaných ciest (Obr. 3). Spomínaný proces vo vrchnej časti pôdneho profilu IF je podmienený vymývaním ílovej frakcie, ktorá sa následne skoncentrovala do zóny NF.



Obr. 3: Vplyv preferovaného prúdenia na distribúciu piesku v pôdnom profile

2). Analýza pH v H₂O jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd preukázala v celom pôdnom profile v globále (t.j., bez ohľadu na prítomnosť preferovaných ciest pohybu vody v pôde) postupný nárast hodnôt pH v H₂O v smere od frakcie jemnozeme k najväčšej zrnitostnej frakcii pôdneho skeletu „E“, pričom na základe štatistickej analýzy vplyv hĺbky na študovaný parameter je štatisticky veľmi významný ($p=0,000$) a za štatisticky veľmi významný ($p=0,000$) možno považovať aj vplyv preferovaného prúdenia na hodnoty pH v H₂O v zónach s preferovaným prúdením (IF). Zhodnôt pH v H₂O ďalej vyplýva, že tieto sú usporiadané v logickej postupnosti teoreticky opísanej CORTIMET al. (1998) charakterizujúcej nárast intenzity prejavov vnútrópodného zvetrávania smerom k vyšším zrnitostným módom minerálneho podielu pôd. Na základe týchto údajov najintenzívnejšie prejavy vnútrópodného zvetrávania sme zdokumentovali v najvyššej časti pôdneho profilu (0 – 50 cm).

3). Pozoruhodné výsledky sme zistili pri geochemickom štúdiu pôdneho skeletu a koexistujúcich zrnitostných frakcií jemnozeme. Pri hliníku (Al), železe (Fe), kremíku (Si) a draslíku (K) sa vo vrchnej časti pôdneho profilu zdokumentoval proces podzolizácie, v dôsledku čoho možno pozorovať prejavy translokácie týchto prvkov do nižších horizontov s tým, že spomínaný proces sme zaznamenali vo všetkých zrnitostných módoch minerálneho podielu pôd, čo dokumentuje proces **aktívneho zapojenia** sa celého minerálneho podielu pôd do pedogenetických procesov.

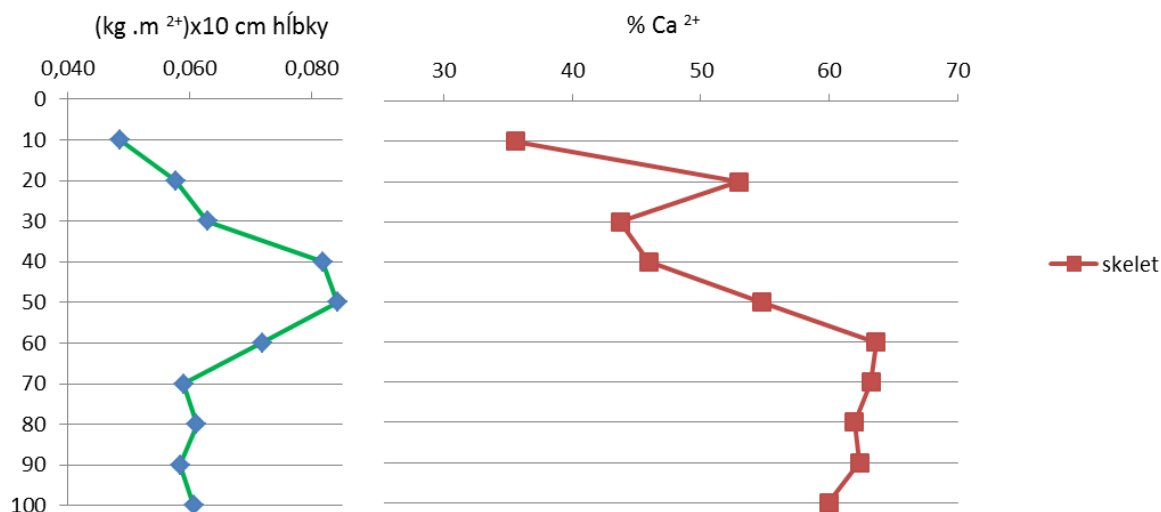
4). Výsledky štúdia koncentrácie bázičných katiónov v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd odhalili komplexné pôsobenie procesov determinujúcich ich distribúciu v pôdnom profile. Z predbežných výsledkov sa kľúčové zistenia považujeme nasledovné:

- Vplyv **hlĺbky** na koncentráciu bázičných katiónov v sorpčnom komplexe sa jednoznačne zdokumentoval len pri K^+ s tým, že vo všetkých zrnitostných módoch minerálneho podielu pôd koncentrácia K^+ v sorpčnom komplexe s hĺbkou štatisticky významne klesá.
- Vplyv **preferovaného prúdenia** na koncentráciu bázičných katiónov v minerálnom podieli pôd sa štatisticky veľmi významne prejavil len pri Na^+ , a aj to z dôvodu chemického zloženia farbiva Brilliant Blue obsahujúceho v svojom zložení Na. Pri ostatných študovaných katiónoch (Mg^{2+} , K^+ a Ca^{2+}) sa vplyv preferovaného prúdenia vody na ich koncentráciu v sorpčnom komplexe štatisticky nepreukázal, aj keď na základe modelovania koncentrácií prvkov programom SURFER satento vplyv prejavil minimálne pri horčíku.
- Ako štatisticky veľmi významný sa preukázal **vplyv zrnitostnej frakcie** minerálneho podielu pôd na koncentráciu Ca^{2+} v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd: s nárastom koncentrácií tohto prvku smerom k vyšším zrnitostným módom skeletovej frakcie. Za pozoruhodné považujeme zistenie, že vzťah medzi zrnitostnou frakciou a koncentráciou Mg^{2+} v sorpčnom komplexe je opačný ako pri Ca^{2+} , t.j. smerom k väčším zrnitostným frakciám pôdneho skeletu sa jeho koncentrácia znižuje a analogickú situáciu sme zdokumentovali aj pri K^+ .

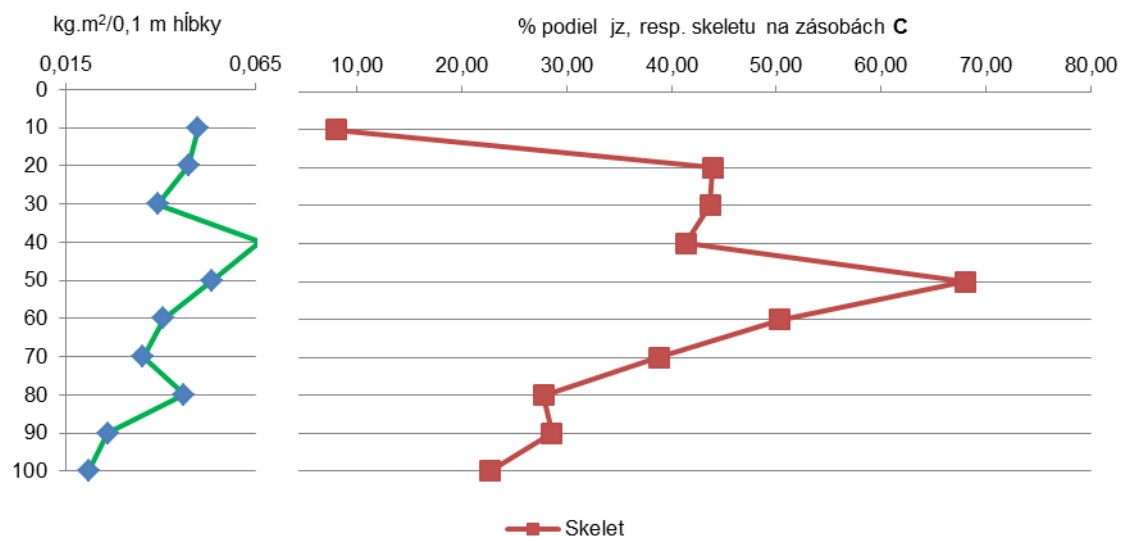
5). Za zaujímavé možno považovať aj hodnotenia distribúcie prvkov medzi pevnou fázou minerálneho podielu pôd (určených XRF analýzou), koncentráciou týchto prvkov v mobilnej forme v sorpčnom komplexe pôd, hĺbkou a ostatnými sledovanými parametrami. Pri každom zo sledovaných prvkov sú spomínané distribučné vzťahy odlišné a tieto budú predmetom detailnejšieho hodnotenia v samostatnej vedeckej práci.

6). Z údajov o distribúcii jednotlivých študovaných bázičných katiónov v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd a ich percentuálnom zastúpení na celkových bilanciách zásob týchto prvkov medzi frakciami jemnozeme a skeletovou frakciou minerálneho podielu pôd vyplýva, že na celkových zásobách týchto prvkov v najvrchnejších horizontoch pôdneho profilu (0 – 30 cm) dominantnú úlohu zohráva frakcia jemnozeme (cca 70% podiel), kým v hlbších účasťach zas významne rastie úloha skeletovej frakcie minerálneho podielu pôd, ktorá v týchto častiach pôdneho profilu môže dosahovať až 65% podiel na celkových bilanciách zásobbázičných katiónov (**Obr. 4**).

7). Podobne zaujímavé výsledky sme zistili aj pri štúdiu distribúcie uhlíka medzi frakciami jemnozeme a skeletovou frakciou minerálneho podielu pôd. Aj v tomto prípade (**Obr. 5**) s nárastom hĺbky rastie význam skeletovej frakcie na zásobách tohto prvku v minerálnom podieli pôd, pričom v hĺbkovom intervale 20 – 70 cm sa pôdny skelet sa podieľa týchto zásobách až 45%. V tejto súvislosti podotýkame, že väzba uhlíka na frakciu pôdneho skeletu sa zdokumentovala tak na úrovni pôdnych výbrusov, ako bola potvrdená taktiež metódami elektrónovej mikroanalýzy a elektrónovej mikroskopie.



Obr. 4: Zásoby Ca²⁺ v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd v študovanom pôdnom profile vyjadrené v (kg.m²)x0,1m (ľavá časť grafu) a percentuálny podiel skeletovej frakcie na bilancií týchto zásob(pravá časť grafu)



Obr. 5: Zásoby C v minerálnom podieli pôd v študovanom pôdnom profile vyjadrené v (kg.m²)x0,1m (ľavá časť grafu) a percentuálny podiel skeletovej frakcie na zásobuhlíka (pravá časť grafu)

ZÁVER

Výsledky terénneho zavlažovacieho experimentu zdokumentovali význam pohybu vody v pôde na procesy vnútropôdneho zvetrávania a na distribúciu prvkov tak v pevnej fáze, ako aj v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd. Intenzita procesov vnútropôdneho zvetrávania podmienená pohybom vody v pôde v preferovaných zónach prúdenia závisí od časovej dĺžky existencie týchto zón, ktorá je pravdepodobne kľúčovým faktorom zodpovedným zaznamenanú distribúciu prvkov medzi pevnou minerálnou fázou a sorpčným komplexom pôd. Výsledkom spomínaných procesov je aj relatívne významný podiel skeletovej frakcie minerálneho podielu pôd na celkových zásobách bázičných kationov

v sorpčnom komplexe pôd, ako aj na ďalších prvkoch, ako napr. uhlíka. Znamená to, že skeletová frakcia minerálneho podielu pôd nepredstavuje len potenciálny zdroj živín, ale je aj reálnym rezervoárom týchto živín podieľajúcich sa na aktuálnych bio-geochemických cykloch v systéme pôda – voda - biota.

Procesy pohybu vody v pôde v zónach preferovaného prúdenia vody na základe predbežných údajov nášho štúdia vyvolávajú často protichodné reakcie, ktoré komplikujú interpretáciu geochemických profilov prvkov zaznamenaných v jednotlivých zrnitostných frakciách pôdneho profilu. Ako príklad možno uviesť vplyv preferovaného prúdenia vody v pôde na zastúpenie pieskovej frakcie v týchto zónach, ktorého dôsledkom je vyplavovanie ílovej frakcie do miest ležiacich mimo týchto zón. Takýmto spôsobom sa zvyšuje zastúpenie ílových minerálov v sorpčnom komplexe pôd na okrajoch preferovaných ciest vody v pôde. Naopak, v zónach s preferovaným prúdením vody dochádza zas k intenzívnejšiemu zvetrávaniu minerálneho podielu pôd a následkom toho aj k intenzívnejšiemu vymývaniu prvkov. Štatisticky významné závislosti koncentrácií bázických kationov sorpčného komplexu pôd od zrnitostných frakcií skeletovej frakcie minerálneho podielu pôd vyvolávajú otázky o príčinách týchto javov, ktoré môžu mať svoj pôvod aj v distribúcii jednotlivých tried ílových minerálov 2:2 → 1:1 na rozhraniach s odlišným vodným režimom, ako aj v celom rade ďalších faktorov, ktoré bude potrebné detailne preštudovať.

Pod'akovanie: Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV – 0580-10.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Bebej, J., Janega A., Maňúch T., 2011:** Výskum fyzikálnych a chemických vlastností lesných pôd s vysokým obsahom skeletu na území Vysokých Tatier. Veterná kalamita a smrekové ekosystémy, ISBN 978-80-228-2252-7, 39-70.
- Certini, G., Campbell, C.D., Edwards, A.C., 2004:** Rock fragments in the soil support different microbial community from the fine earth. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 119-128.
- Corti, G., Ugolin, F.C., Agnelli, A., Certini, G., Cuniglio, R., Berna, F., Sanjurjo Fernández, M., 2002 :** The soil skeleton a forgotten pool of carbon and nitrogen in soil. *European Journal of Soil Science*, 53, 283-298.
- Flury, M., 2006:** Preferential flow in the vadose zone and implication for contaminant transport. In: Roulier, S., and R. Schulin (ed.) 2006. Preferential flow and transport processes in soil. Abstracts. Swiss Federal Institute of Technology, Zürich (ETHZ), 31.
- Flury, M., Flühler, H., 1995:** Tracer characteristics of Brilliant Blue FCF. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 22–27.
- Fulajtár, E., 2006:** Fyzikálne vlastnosti pôdy. VÚPOP Bratislava, ISBN 80-89128-20-3, 142.
- Gregor, J., 1991:** Amount of water in the soil in conditions of the beech ecosystem, *Lesnícký časopis (The Forestry Journal)*, 37, 3, 175-185.
- Gregor, J., 1992:** Vlhkosť pôdy v bučine v závislosti od reliéfu a zakmenenia., KDP, ÚEL SAV Zvolen, 104 s.
- Heiser, U., Raber, B., Hildebrand, E.E., 2004:** The importance of the soil skeleton for plant-available nutrients in sites of the Southern Black Forest, Germany. *Eur. J. Forest Res.*, 123, 249-257.
- Homolák, M., Pichler, V., Jury, W. A., Capuliak, J., O'Linger, J., Gregor, J., 2010:** Unsaturated hydraulic conductivity estimation of a forest soil assuming a stochastic-

convective process. Soil Science Society of America Journal. - ISSN 0361-5995. - Vol. 74, no. 1 (2010), 292-300.

Jurášová, E., 2013: Zvetrávanie skeletu ako proces ovplyvňujúci látkovo-energetické toky a stav pôdy. Dizertačná práca, LF-11112-12369, TU vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Zvolen, 139 s.

Kobza et.al. 2011: Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. VÚPOP Bratislava, ISBN 978-80-89128-89-1, 52-55, 116-126.

Kohler, M., 2001: Inonenspeicher and Ionenmobilisierungspotentiale der Skelettfraction von Waldböden im Schwarzwald. Freib. Bodenk. Abh., 39, 1-158.

Poesen, J., Lavee, H., 1994: Rock fragments in top soils: significance and processes, Catena 23: 1-28.

Šály, R., 1986: Svahoviny a pôdy Západných Karpát. Veda, Bratislava, 200.

Šály et. al. 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. VÚPOP Bratislava, Societaspedologica slovacica, Bratislava, ISBN 80-85361-70-1, 54.

Ugolini, F.C., Corti, G., Agnelli, A., Piccardi, F., 1996: Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in soils Sciences 161, 521-542.

ABSTRACT

The submitted paper presents basic information about both the physical and the chemical changes in mineral compounds of soil caused by intrasoil weathering to be induced by preferential paths of water flow in the soil revealed via sprinkler tests with the aid of Brilliant Blue dye tracer. Mineral particle size distribution analysis of fine-earth showed statistically significant effects of preferential path of water flow on soil texture. The result of pH in H₂O measurements of both the skeleton and the fine-earth fraction of mineral compounds of soil to document the correlation between these values and particle-size classes of soil skeleton, whereupon the pH in H₂O values can be regarded as an indicator of degree of the soil skeleton alteration. The geochemistry data of soil skeleton by particle-size classes around the preferential paths of water flow revealed well-developed processes of mobilization and translocation of Al, Si, Fe as well as the K and Ca to be visible within all soil skeleton grain-size classes. The data obtained showed also the mutual link between the processes of intrasoil weathering on the one hand and the composition of sorption complexes of soil on the second hand. Inter-alia it was found the important role of skeleton fraction of mineral soil content regarding the balances of basic cations of soil sorption complex, as well as around 40% contribution of skeleton fraction of total carbon storage.

Key-words: intrasoil weathering, physical and chemical properties of soil, cation exchange capacity, preferential flow of water

VÝVOJ NIEKTORÝCH PÔDNYCH CHARAKTERISTÍK NA KALAMITNÝCH PLOCHÁCH TANAPU V OBDOBÍ ROKOV 2006-2012

Erika Gömöröyová, Dušan Gömöröy

Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, SK-960 53 Zvolen,
Slovensko

e-mail: gomoryova@tuzvo.sk

Abstrakt

Na jeseň r. 2004 bola rozsiahla časť územia TANAP-u postihnutá vetrovou kalamitou. Príspevok sa zaoberá vývojom niektorých fyzikálno-chemických a mikrobiálnych vlastností pôdy na kalamitných plochách s rozdielnym manažmentom (plocha s vyťaženými padnutými stromami, s ponechanými padnutými stromami, spálenisko) a kalamitou nepostihnutej referenčnej ploche v období rokov 2006 - 2012. Doterajšie výsledky naznačujú, že vo vyšších nadmorských výškach je vplyv mezoklímy na pôdne mikrobiálne spoločenstvá pravdepodobne omnoho významnejší ako rozdiely v mikroklimatických podmienkach v dôsledku rozdielného manažmentu plôch. V súvislosti s postupnými zmenami v zložení a pokryvnosti rastlinných spoločenstiev pozorovať aj zmeny v kvalite pôdnej organickej hmoty.

Úvod

V novembri 2004 zasiahol územie TANAP-u silný vietor o rýchlosti nad 200 km.hod⁻¹, v dôsledku čoho došlo k poškodeniu lesných porastov (polomy a vývraty) na ploche vyše 12.000 ha. V lete r. 2005 časť takto poškodeného územia o výmere 220 ha bola zničená povrchovým požiarom (FLEISCHER 2011). V súvislosti s týmito udalosťami prišli pracovníci Výskumnej stanice TANAP-u pod vedením Dr. Fleischera s myšlienkou založiť v kalamitou postihnutej oblasti výskumné plochy, na ktorých by sa dlhodobo monitorovali zmeny a vývoj jednotlivých zložiek lesného ekosystému a jeho okolia – klímy, pôdy, vody, hydrologických pomerov, rastlínstva a živočíšstva, obnovy porastu a pod. Na veľkej časti kalamitného územia boli padnuté stromy z plochy vyťažené. Na časti územia bolo padnuté drevo ponechané *in situ* za účelom sledovania bio-geochemických cyklov v človekom neovplyvnených ekosystémoch. Výskumné plochy boli vybrané na ploche s vyťaženou drevnou hmotou (EXT), s vyťaženou drevnou hmotou a následne zasiahnutou požiarom (FIR), nevyťaženou drevnou hmotou (NEX) a ako porovnávací báza bola vybraná plocha v kalamitou nepostihnutom smrekovom poraste (REF).

Následkom veternej kalamity, otvorením plochy v dôsledku chýbajúceho stojaceho porastu, došlo k zmenám v mikro- a mezoklíme daných plôch, k zmenám v prísune čerstvej organickej hmoty na povrch pôdy atď., je teda predpoklad, že následkom týchto zmien dôjde aj k zmenám niektorých pôdnych vlastností, najmä k zmenám v rozdelení teplôt a vlhkosti pôdy. Viaceré štúdie poukazujú na to, že následkom disturbancií dochádza k zmenám aj v aktivite, štruktúre a funkcii mikrobiálnych spoločenstiev a teda k rozdielom v procesoch dekompozície organickej hmoty. Cieľom tejto práce je podať stručné informácie o vývoji a zmenách niektorých pôdnych vlastností na kalamitných plochách v rokoch 2006 – 2012, t.j. za obdobie 7 rokov.

Materiál a metódy

Štúdium pôdnych pomerov pôd sme uskutočnili na už vyššie spomínaných štyroch experimentálnych plochách na území TANAP-u. Všetky plochy sú situované v nadmorskej výške 1000 – 1250 m n. m. na svahoch s J až JV expozíciou a sklonom 5 – 10 % (FLEISCHER 2011). Prevládajúcim pôdnym typom je kambizem podzolová. Nadložný humus predstavuje na referenčnej ploche cca 10 cm hrubú vrstvu organického materiálu, na ploche FIR bol v dôsledku požiaru prevažne spálený.

Plocha REF je založená v 120-ročnom smrekovom poraste (*Picea abies* (L.) Karst.) s prímiesou smrekovca (*Larix decidua* Mill.). Vegetačný kryt je bohatý na machy, a druhy ako *Avenella flexuosa* a *Vaccinium myrtillus*. Na kalamitných plochách sú rozdiely v bylinnom a trávnom kryte. Na ploche EXT väčšiu časť plochy pokrýva *Callamagrostis villosa*, od r. 2007 tiež *Callamagrostis arundinacea* a *Chamaerion angustifolium*. Na ploche FIR bola bezprostredne po požiari zničená bylinná vrstva, ale neskôr došlo k výraznému obsadeniu plochy druhmi *Chamaerion angustifolium* a od r. 2008 aj *Callamagrostis villosa*. Na ploche NEX je bylinná prikrývka podobná ploche REF s tým, že mozaikovite na presvetlených miestach sa vyskytujú svetlomilné druhy tráv a bylín (ŠOLTÉS a kol. 2011).

Pôdne vzorky sme odobrali na každej ploche v 10 m odstupoch pozdĺž 90 m dlhého transektu v období rokov 2006-2009 a to z najvrchnejšieho, humusom obohateného minerálneho horizontu (spravidla A-horizont), z hĺbky 3-10 cm. Odbery sa uskutočnili niekoľkokrát počas vegetačného obdobia: na jar (máj), v lete (júl/august) a na jeseň (október). V r. 2011 a 2012 sme uskutočnili odbery len na jeseň, pričom vzorky sme odobrali tiež pozdĺž transektu, ale len z 5-tich odberných miest (20 m odstupy), avšak odobrali sme aj vzorky z jednotlivých horizontov nadložného humusu (L, F, H).

Časť každej odobratej vzorky bola vysušená voľne na vzduchu a použitá na stanovenie reakcie pôdy (pH-H₂O a pH-KCl – potenciometricky), obsahu organického uhlíka (Türinova metóda v prvých dvoch rokoch); od r. 2008 pomocou CNS analyzátoru VarioMacro bol stanovený celkový dusík a uhlík.

Druhá časť vzorky bola hneď po prinesení z terénu uchovávaná pri teplote 4°C a použitá pre mikrobiálne stanovenia. Na analýzu sa použili vzorky nepreosiaté, s prirodzenou vlhkosťou, v záujme zachovania čo najprirodzenejších podmienok. Skelet, hrubšie korene či iné väčšie organické zvyšky boli odstránené pomocou pinzety. Tieto vzorky boli použité pre stanovenie:

- bazálnej respirácie pôdy (Resp) – titračné stanovenie CO₂ uvoľneného z 50 g pôdnej vzorky, inkubovanej 24 hod. pri teplote 22°C a absorbovaného do 25 ml 0,05 N NaOH (ISERMEYER in ALEF 1991)

- aktivity katalázy (Katal) – meraním objemu kyslíka, ktorý sa uvoľnil po 10 min. z 10 g pôdnej vzorky po pridaní 20 ml 3% H₂O₂ (CHAZIJEV 1976)

Okrem toho sa v čerstvo odobratých vzorkách stanovila aj momentálna vlhkosť pôdy (Vm) (gravimetricky - 24 hod. sušením pri teplote 105°C).

Pre štúdium funkčnej diverzity a štruktúry pôdneho mikrobiálneho spoločenstva sme použili BIOLOG Eco platne (INSAM 1997). Z každej plochy a z každého termínu odberu sa pre 3 vzorky pripravilo inokulum, k vzorke sa pridal 0,9 % NaCl a 150 µl extractu o zriedení 1:10.000 sa inkubovalo v mikrotitračných platniach pri 27°C po dobu 6 dní. Hodnoty absorbancie odčítavané dvakrát denne pri 590 nm sa použili na výpočet metabolickej aktivity na základe plochy pod časovou absorbančnou krivkou.

Všetky výsledky sú prepočítané na sušinu. Bohatosť pôdnej mikrobiálnej komunity (Ab) sa vyjadřila ako počet substrátov s absorbanciou nad 0,2. Funkčná diverzita mikroorganizmov (Div) sa hodnotila pomocou Hillovho indexu (HILL 1973).

Pri štatistickom spracovaní údajov sme využili štatistický program SAS/STAT® (SAS 1988).

Výsledky

V tab. 1 uvádzame výsledky analýzy variancie pôdnych charakteristík, zisťovaných počas rokov 2006 - 2012. Prekvapujúcim zistením je fakt, že sledované plochy sa významne líšili medzi sebou len pri dvoch charakteristikách – obsahu uhlíka a kvalite organickej hmoty, vyjadrenou pomerom C/N. Naopak, pri väčšine sledovaných parametrov sa ukázali významné rozdiely ako medzi termínmi odberu vzoriek (jar, leto, jeseň), tak medzi rokmi. Zároveň však takmer pri všetkých charakteristikách boli významné aj interakcie obdobie × rok, t.z. že počas jednotlivých rokov sa správali dané charakteristiky rozdielne.

Tab. 1 Analýza variancie pôdnych charakteristík (významnosť *F*-testov)

Faktor	pH	V _m	C	N	C/N	Resp	Katal	Ab	Div
Plocha	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Obdobie	***	***	*	***	***	***	ns	***	***
Plocha × obdobie	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Rok	***	***	***	***	***	***	*	ns	ns
Plocha × rok	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Obdobie × rok	***	***	*	***	***	***	ns	***	***
Plocha × obdobie ×rok	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Hladina významnosti: *** $\alpha < 0,001$ ** $0,001 < \alpha < 0,01$ * $0,01 < \alpha < 0,05$ ns - nesignifikantné

Pokiaľ ide o rozdiely v štruktúre mikrobiálneho spoločenstva, z 31 substrátov sa len pri dvoch skupinách ukázali významné rozdiely medzi plochami, 19 skupín reagovalo rozdielne v jednotlivých obdobiach roka a až pri 27 skupinách sa ukázali významné rozdiely medzi rokmi (tab. 2).

Tab. 2 Rozdiely v skupinách mikroorganizmov metabolizujúcich rozdielne substráty, hodnotené na základe BIOLOG Ecoplantní (sumarizácia výsledkov analýzy variancie)

Faktor	Počet funk.skupín, ktoré sa líšili	Funkčné skupiny, metabolizujúce daný substrát, pri ktorých boli zaznamenané rozdiely
Plocha	2	D,L- α -glycerolfosfát, glukózo-1-fosfát
Obdobie	19	
Rok	27	Všetky okrem xylózy, fenyletylamínu, cyclodextrínu a kys. 2-hydroxybenzoovej
Obdobie \times rok	27	Všetky okrem kys. 2-hydroxybenzoovej, glykogénu a kys. α -ketomaslovej
Plocha \times obdobie	10	
Plocha \times rok	2	Kys. akonitová, D-cellobióza
Plocha \times obdobie \times rok	6	B-metyl-D-glukozid, L-asparagín, L-serín, N-acetyl-D-glukozamín, α -D-laktóza

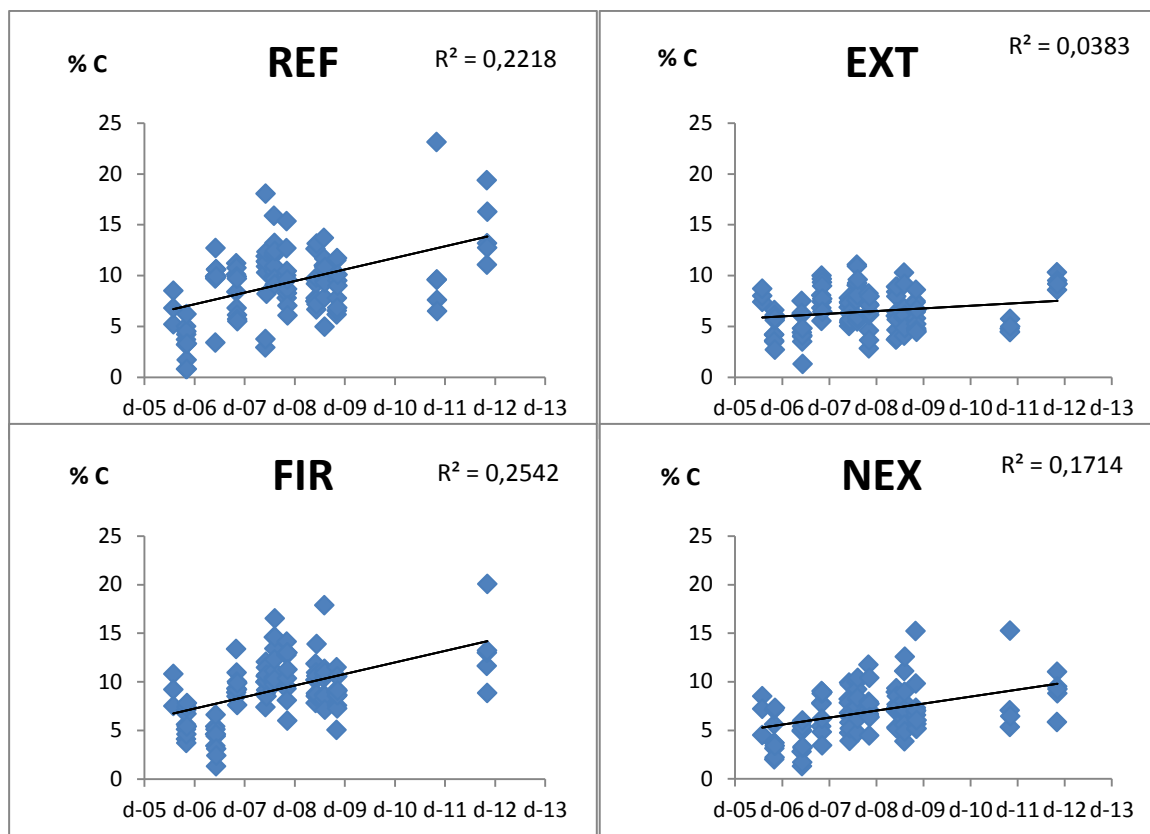
Za účelom zistenia, či existuje nejaký trend v zmenách pôdných charakteristík v priebehu sledovaného obdobia, vypočítali sme korelačné koeficienty pôdných premenných s rokmi (tab. 3). Vzhľadom na to, že mikrobiálne charakteristiky sa vyznačujú výraznou dynamikou v priebehu roka, koeficienty sú rátané pre rozdielne sezóny odberu vzoriek. Z uvedených charakteristík sa len pri štyroch (obsah C, pH, abundancia a diverzita mikroorganizmov) ukázali viac-menej určité trendy v priebehu sledovaného obdobia. Treba však zdôrazniť, že uvedené obdobie 7 rokov je pomerne krátke na to, aby sa nejaké výraznejšie trendy prejavili, obzvlášť keď zoberiem do úvahy skutočnosť, že väčšina z týchto charakteristík sa vyznačuje aj mimoriadne veľkou priestorovou variabilitou. Taktiež, pre nedostatočný počet údajov v časovom rade nebolo možné niektoré koeficienty vypočítať.

Tab. 3 Spearmanove korelačné koeficienty pôdných premenných s časom (rokmi)

	REF			EXT			FIR			NEX		
	jar	leto	jeseň	jar	leto	jeseň	jar	leto	jeseň	jar	leto	jeseň
C			**	***			***			***		
N												
C/N									***			
pH				***			***			***	***	
Vm												
Resp	***					*			*			**
Katal												
Ab		***			***			***			***	
Div		***			***			***			***	

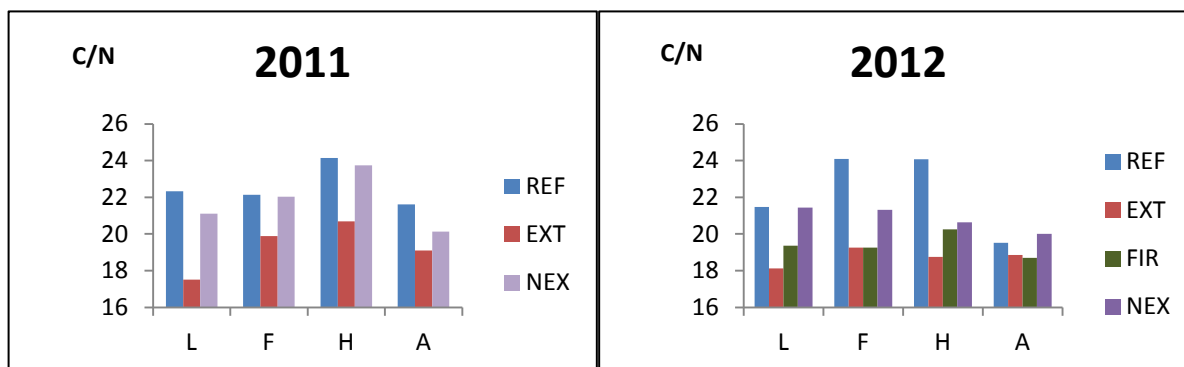
Hladina významnosti: *** $\alpha < 0,001$ ** $0,001 < \alpha < 0,01$ * $0,01 < \alpha < 0,05$

Najvýraznejšie zmeny pozorovať pri organickej hmote – obsahu C (obr. 1). Na všetkých výskumných plochách pozorovať nárast obsahu organickej hmoty v sledovanom období, pričom vo všeobecnosti ide o lineárny trend nárastu. Najvýraznejšie rozdiely pozorovať na ploche FIR a REF, naopak najmenšie zmeny sme zaznamenali na ploche EXT.



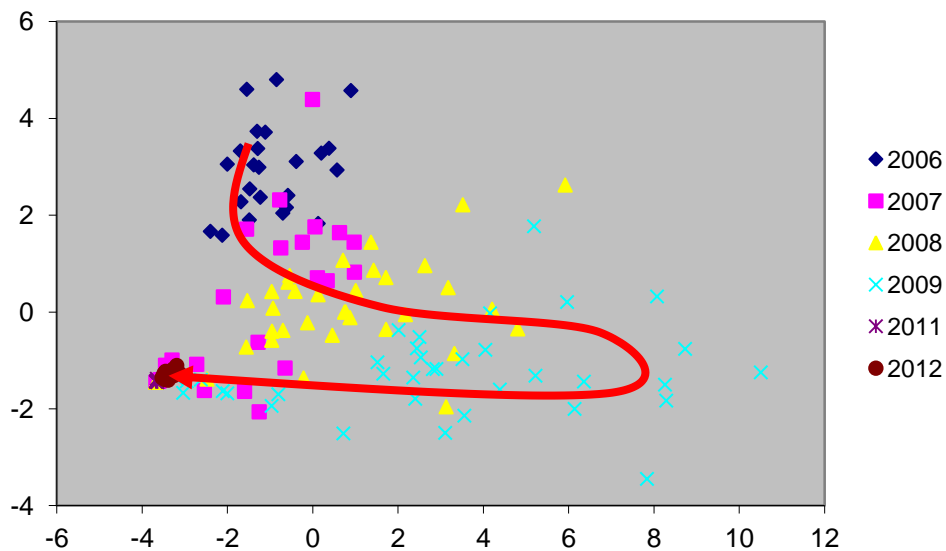
Obr. 1 Zmeny v obsahu organického uhlíka na jednotlivých plochách v r. 2006 – 2012 (os x predstavuje jednotlivé roky)

Ako už bolo uvedené vyššie, následkom kalamity došlo ku zmene štruktúry bylinnej a trávnej prikrývky. Keďže sa rastliny a ich zvyšky rôznia v chemickom zložení, dali sa očakávať aj zmeny v kvalite pôdnej organickej hmoty medzi jednotlivými plochami. V tab. 3 síce chýbajú korelácie pre C/N, ale ako už bolo spomínané, v sledovanom čase sme mali k dispozícii len obmedzený počet údajov. Z obr. 2 je však zrejmé, že zmeny v bylinnej a trávnej prikrývke sa odrazili aj na hodnotách C/N. Na plochách s dominanciou *Chamaerion angustifolium* a *Callamagrostis villosa* (EXT, FIR) je C/N výrazne nižší ako na plochách s málo pozmenenou vegetáciou (REF, NEX), pričom rozdiely sa prejavujú nielen v horizontoch nadložného humusu, ale aj v A-horizonte.



Obr. 2 Priemerné hodnoty C/N v jednotlivých horizontoch na sledovaných plochách v r. 2011 a 2012

Pri hodnotení štruktúry mikrobiálneho spoločenstva pôdy na základe skupín metabolizujúcich rôzne uhlíkaté substráty, sa prekvapujúco neukázali rozdiely medzi plochami a ani medzi obdobiami v rámci roka (údaje nepubl.). Avšak jasné rozdiely sú zrejmé medzi jednotlivými rokmi (obr. 3), pričom sa zdá, že posledné dva roky si boli mikrobiálne spoločenstvá svojou štruktúrou bližšie, ako roky predchádzajúce.



Obr. 3 Analýza základných komponentov štruktúry mikrobiálneho spoločenstva podľa rokov (BIOLOG)

Podobne ako pri charakteristikách uvedených v tab. 3, tak aj pre jednotlivé skupiny mikroorganizmov sme vypočítali korelačné koeficienty s rokmi. Z 31 substrátov na Ecoplatniach sa pri ôsmich z nich ukázali určité trendy nárastu v r. 2006 – 2009 (skupiny metabolizujúce L-arginín, metylester kys. pyrohroznovej, L-asparagin, L-fenylalanin, D-mannitol, N- acetyl D-glukozamín, D,L- α -glycerolfosfát, kyselina jablčná), naopak pri cyclodextríne išlo o trend poklesu v sledovanom období.

Záver

Výsledky analýz pôdnych vzoriek z rokov 2006 – 2012 prekvapujúco nepotvrdili významnejšie rozdiely medzi plochami, založenými v kalamitnej oblasti TANAP-u. Výrazné rozdiely takmer pri všetkých sledovaných charakteristikách sa však ukázali medzi jednotlivými rokmi, čo naznačuje, že vplyv mezoklímy v týchto polohách je pravdepodobne omnoho výraznejší ako vplyv mikroklimatických podmienok v dôsledku rozdielneho manažmentu plôch. Doterajšie výsledky tiež naznačujú mierny nárast obsahu organickej hmoty na všetkých plochách, najmä však na ploche referenčnej a spálenisku. Na plochách sa zmenila v sledovanom období aj kvalita organickej hmoty, pričom na plochách s odstránenou drevnou hmotou (EXT, FIR) došlo v priebehu sledovaného obdobia k poklesu C/N nielen v horizontoch nadložného humusu, ale aj v minerálnom A-horizonte pôd.

Poďakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0580-10 a Vedeckej grantovej agentúry VEGA 1/1314/12.

Literatúra

- ALEF, K., 1991: Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie. Aktivitäten, Biomasse, Differenzierung. Ecomed, Landesberg.
- FLEISCHER, P. 2011: Pokalamitný výskum vo Vysokých Tatrách – ciele, metódy a charakteristika lokalít. In Fleischer, P. & Homolová, Z. (Eds.), Štúdie o Tatranskom Národnom Parku, 10(43): 7–12.
- HILL, M.O., 1973: Diversity and Evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology 54, 427–432.
- INSAM, H., 1997: A new set of substrates proposed for community characterization in environmental samples. In H. Insam, A. Rangger (Eds.), Microbial Communities. Functional Versus Structural Approaches, Springer, Heidelberg, p. 260–261.
- KHAZIEV, F.CH., 1976: Fermentativnaja aktivnost pochv. Metodiceskoje posobje, Moskva.
- SAS, 1988: SAS/STAT User's guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute, Cary.
- ŠOLTÉS, R., ŠKOLEK, J., KYSELOVÁ, Z., 2008: Pokalamitný vývoj vegetácie. In Matejka F. & Fleischer P. (Eds.), Pokalamitný výskum v TANAP-e 2008, Stará Lesná, Slovakia, p. 203–219.

Zhoršuje se kvalita humusu v černozemích?

Jan HORÁČEK, Pavel NOVÁK**, Peter LIEBHARD***, Eduard STROSSER*, Maria BABULICOVÁ*****

ZF JU v Českých Budějovicích, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, **VÚMOP Praha Zbraslav, Žabovřeská 250, 156 00 Praha-Zbraslav, *BOKU Wien, Gregor Mendel Strasse 33, 1180 Wien ****CVRV Piešťany, Bratislavská cesta 122, 921 68 Piešťany*

Abstrakt

Půdní organická hmota (POH) je velice složitý soubor neživých organických látek různého původu a stupně přeměny, ve které je převážně ceněna její zhumifikovaná složka. Pro posouzení stavu a hodnocení POH proto nestačí jen údaj o jejím celkovém množství, resp. o celkovém organickém uhlíku (C_{ox}). Ten je proto většinou doplňován kvalitativními parametry POH, z nichž nejpoužívanější jsou poměr huminových kyselin k fulvokyselinám HK:FK a tzv. barevný kvocient Q 4/6. Výsledky z řady černozemních lokalit z poslední doby naznačují svými zhoršenými hodnotami proti výsledkům uváděným zejména ve starší literatuře zhoršení kvality POH v tomto půdním typu. To by bylo možno přičíst na vrub lidské činnosti, především způsobům zpracování, ale i acidifikaci, nevhodným osevním postupům, kvalitě a množství organických hnojiv, atd. Pro zodpovědnější posouzení však většinou nejsou pro konkrétní lokality k dispozici porovnávací (vstupní) hodnoty uvedených kvalitativních parametrů POH. Proto byly ještě současně analyzovány archivované půdní vzorky vybraných středočeských černozemí z tzv. „S“ sond a čerstvě odebrané vzorky z těchto lokalit. V souboru čerstvě odebraných vzorků byly u všech lokalit zjištěny horší kvalitativní parametry (nižší poměry HK:FK a vyšší hodnoty Q4/6) POH, než ve vzorcích archivních. U všech kvantitativních parametrů POH (C_{ox} , a jeho všech stanovených složek) tomu bylo naopak. Otázkou zůstává, zda zhoršení kvality POH současných černozemí není dostatečně kompenzováno vyšší sekvestrací uhlíku do půdy. Zároveň problematiku porovnání současných a starších údajů kvality POH černozemí lze považovat za otevřenou.

Klíčová slova: půdní organická hmota, kvalita humusu, černozemě

Úvod

Charakteristika a význam půdní organické hmoty

Půdní organická hmota (POH) je složitý, heterogenní, polydispersní soubor organických látek různého původu, s proměnlivým složením, stupněm dispersity, aktivity a tím i vztahem k ostatním složkám půdní hmoty a živým organismům (SOTÁKOVÁ, 1982), ZAUJEC et al. (2009) charakterizují půdní organickou hmotu jako jeden z článků řetězce

trofických vazeb mezi různými formami života, které ho uzavírají a zároveň jsou i jeho prvním článkem.

Význam půdní organické hmoty pro půdní úrodnost a obecně pro kvalitu půdy je dlouhodobě známý a dlouhodobě oceňovaný. Není pochyb o tom, že půdní organická hmota příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, je základním faktorem půdní úrodnosti a v převážné míře je podmínkou existence velmi bohaté a diversifikované půdní bioty (KUBÁT et al., 2008).

Vedle agronomického významu půdní organické hmoty se v poslední době zvláště oceňuje její význam pro životní prostředí, a to zejména z hlediska akumulace organického uhlíku a jeho sekvestrace do půdy a dále také z hlediska zachování ekologických funkcí půdy (KUBÁT et al., 2008). POH představuje významnou část organického uhlíku v biosféře a v závislosti na podmínkách prostředí může omezovat uvolňování skleníkových plynů z půdy a ovlivňovat sekvestraci uhlíku v půdním prostředí (POSPÍŠILOVÁ a TESAŘOVÁ, 2009).

Úbytky organické hmoty v půdě jsou považovány za nejvýznamnější faktor procesu degradace půd v obecném pojetí. Jsou způsobovány především větrnou a vodní erozí, nedostatečným přísunem organických hnojiv do půd a nevhodnými, resp. komerčními osevními postupy. Kvantifikace tohoto jevu je problematická, i když běžným pozorováním jsou známky dobře patrné (světlé erodované plochy na orné půdě bez vegetace na návětrných plochách svahů, odnosy materiálu kvalitního humusového horizontu do vodotečí nebo jeho akumulace v podsvahových diluviích (SÁŇKA a MATERNA, 2004).

Antropogenní a další vlivy na půdu

Odhlédneme-li u vlivu člověka na půdu od marginálních činností jako jsou drobnější zemní práce, ale i podstatnějších působení, jako překrývání povrchu stavbami a zpevněnými plochami (soil sealing), ale i působení globálního významu, jako je desertifikace a acidifikace, pak nejrozsáhlejším vlivem na hospodářsky využívaných půdách jsou agrotechnické zásahy, z nichž nejvýznamnější, působící na organickou hmotu a její složky v půdě, je její zpracování.

Způsobů nebo systémů zpracování půdy je mnoho a není účelem tohoto sdělení je popisovat. Omezíme se pouze na nejhrubší rozdělení, a to na systémy konvenční s hlubokou orbou a na systémy s jejím vynecháním, resp. systémy mělkého (šetrného) zpracování a jejich vztahu k půdní organické hmotě.

U zpracování půdy orbou, které zapravují posklizňové zbytky a organická hnojiva hlouběji, zjišťuje většina autorů (např. KINSELY 1998, BADALÍKOVÁ a PROCHÁZKOVÁ 2002, aj.) vyšší mineralizaci organické hmoty většinou v celém prokypřeném (a provzdušněném) profilu spojené i vyšší aktivitou mikroedafonu a momentálně větším množstvím uvolněných živin pro následující plodinu, ale zároveň mohou tyto živiny za nepříznivých podmínek být proplaveny nebo odneseny erozí. Na další transformace POH, resp. na proces humifikace se u této technologie názory již liší. Teoreticky by měla hluboká orba humifikaci spíše napomáhat vytvořením anaerobních podmínek právě u hlouběji zaklopené organické hmoty, ale zde nutno zdůraznit, že velmi důležitou roli hraje také druh plodiny či organického hnojiva. (ZAUJEC et al., 2009) Při zpracování bez hluboké orby nachází většina autorů (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ 2002) zvýšený obsah POH v povrchové vrstvě, nejčastěji do 0,1m, když

hlouběji v půdním profilu se obsahy půdní organické hmoty již vyrovnávají. Nutno však dodat, že v naprosté většině případů jde o krátkodobé či střednědobé uplatňování těchto minimalizačních technologií. Naopak v dlouhodobém (cca 30 let bez orby) polním pokusu v profilové studii ve Schwandorfu naše pracoviště zjistilo přibližně stejné rozložení množství i kvality POH do hloubky cca 0,25 m v orané i bezorebné variantě pokusu, avšak hlouběji v půdním profilu (0,3 - 0,55m) bylo již množství POH vyšší v mělce zpracovávané půdě a byla zjištěna i její lepší kvalita (HORÁČEK et al., 2001). Z toho vyplývá, že není nutno sledovat příliš kvantitu půdní organické hmoty, nýbrž také její kvalitu, resp. kvalitativní parametry, které ji charakterizují. Ovšem v jakémisi kvazistacionárním stavu, který existuje v dlouhodobě zemědělsky využívaných, převážně však orných půdách, je i celkové množství půdní organické hmoty určitým měřítkem úrodnosti či produkční schopnosti dané půdy (LAL a KIMBLE 1997; HORÁČEK et al., 2004).

Cílem tohoto sdělení je zamyslet se nad kvantitativně-kvalitativními parametry zejména zpracovávaných černozemí vzhledem k jejich relativně horším hodnotám, a to zvláště v porovnání s dříve uváděnými údaji pro tento půdní typ.

Materiál a metodika

Kvantitativní parametry POH.

Všeobecně nejpoužívanějším ukazatelem obsahu POH v půdě je celkové množství jejího oxidovatelného uhlíku C_{ox} resp. tzv. „humusu“, což jest ovšem jen obsah C_{ox} vynásobený přepočítávacím koeficientem 1,724, odvozeným z cca 58 % obsahu C v huminových kyselinách. Vypovídací schopnost tohoto parametru je však, jak plyne z přehledu literatury, poněkud sporná, neboť absentují „absolutní“ kritériální hodnoty.

Nejčastěji se tento uhlík zjišťuje oxidací na mokré cestě, kdy nejpoužívanějším oxidačním činidlem je roztok dichromanu draselného přesné molality v kyselině sírové, tzv. chromsírová směs. V poslední době zažívá určitou renesanci jako oxidans roztok manganistanu draselného (viz dále). Obě oxidační činidla poskytují poněkud nižší výsledky obsahů C_{ox} než přímé spalování, realizované většinou přístroji elementární analýzy.

Samozřejmě chceme-li stanovit některé kvalitativní parametry, např. nejčastěji užívaný poměr HK:FK (obsah huminových kyselin k obsahu fulvoyselin), nevyhneme se jejich kvantitativnímu stanovení, kdy po separaci následuje oxidimetrická analytická koncovka. Většinou jde o přesně definovaný přídavek nadbytku oxidačního činidla se zjištěním jeho nespoteřovaného množství retitrací nebo fotometricky.

Shodná analytická koncovka se pak používá prakticky pro kvantitativní stanovení všech ostatních složek půdy.

Tak je stanovována i tzv. labilní část nebo složka půdního uhlíku, na kterou se v poslední době soustřeďuje řada autorů (KUBÁT et al., 2008; KOLÁŘ et al., 2009 aj.).

Jde o uhlík vodorozpustný, nebo častěji tzv. horkovodorozpustný, označovaný C_{hws} (hot watter soluble), anebo o jistý podíl celkového oxidovatelného uhlíku, stanovený pomocí „měkčích“ oxidačních činidel tj. roztoků $K_2Cr_2O_7$ a nebo $KMnO_4$ „slabší“ koncentrace, nežli je molalita používaná pro stanovení uhlíku celkového. Pomineme-li „různorodost“ získání této složky POH a opět absenci „absolutních“ kritériálních hodnot, resp. nenávaznost např. na

výnosy a jiné parametry POH (KUBÁT et al., 2008), je nutno dodat, že labilní půdní C se převážně rekrutuje z primární organické hmoty a studií mineralizačně-humifikačních procesů těchto imputů není opět mnoho.

Kvalitativní parametry POH

Na kvalitu POH se můžeme dívat z celé řady hledisek. V první řadě je to množství a kvalita jejího zhumifikovaného podílu, ale množství i „kvalita“ labilní složky POH. Lze ale posuzovat i sorpčně-iontovýměnné vlastnosti jednotlivých složek, jejich relativní molekulovou hmotnost, elementární složení, stupeň „aromatizace“ a „kondenzace“ humusových látek, charakter a pevnost vazby s minerálním podílem půdy atd.

V praxi i v odborné literatuře jsou nejfrekventovanějšími kvalitativními ukazateli POH poměr HK: FK a tzv. barevný kvocient Q 4/6. Při „přísnějším“ posouzení by však měly být uváděny pouze jako parametry „humusu“, resp. humusových látek, nikoli tedy veškeré POH v půdě.

Poměr HK : FK

Jak uvedeno výše, jde o poměr oxidovatelného uhlíku HK k oxidovatelnému uhlíku FK, resp. C_{ox} humátů a fulvátů, neboť v reálném půdním prostředí jde hlavně o soli těchto kyselin. Pro určení tohoto poměru je nutno tyto složky z půdy vyextrahovat, separovat a kvantitativně stanovit. S vyhodnocením (pokud se nejedná o srovnávací experimenty) však máme jisté potíže, neboť kromě absence „absolutních“ kritériálních hodnot je nutno pro odpovědnější posouzení vztahovat nalezené hodnoty ke konkrétnímu půdnímu typu, nebo ještě lépe, k dané lokalitě (KUBÁT et al., 2008) a hodnotám zde obvyklým. Obecně pak platí, že jedny z nejvyšších hodnot HK:FK dosahují právě černozemě, a to rozmezí 2,5 až 3,5 (POSPÍŠIL, 1980, BIELEK, 2000, SOTÁKOVÁ, 1982), když i zde nutno v řadě případů zohledňovat ještě subtyp, případně zrnitost (KUBÁT et al., 2008, FOUKALOVÁ et al., 2005). Hodnoty poměru HK:FK se obecně snižují s přibývajícím nadmořskou výškou, resp. zhoršující se agronomickou hodnotou půdních typů, i když také ne v přímé úměrnosti (KUBÁT et al., 2008). Toto hodnotící kritérium je založeno na poznatku, že HK (resp. humáty), které mají velkou sorpčně-iontovýměnnou kapacitu, jsou součástí tmelů půdních agregátů a jsou v půdě za normálních podmínek nerozpustné, tedy stabilní. Oproti tomu FK (resp. fulváty), u nichž se uvádí sorpční kapacita ještě vyšší, jsou definovány jako rozpustné v slabě kyselém i zásaditém prostředí, mohou tedy za určitých okolností způsobit ztrátu živin vyplavením, mají velmi nízkou agregační schopnost a mohou i destruovat část minerální složky půdy (PAVEL et al., 1984).

Barevný kvocient 4/6

Barevný kvocient (též koeficient) je vlastně poměr absorbancí (dříve extinkcí) extraktu humusových látek (HL), resp. sumy humusových kyselin (ale i jednotlivě HK či FK) při

vlnové délce kolem 460 a 660 nm, nejčastěji $Q_{4/6} = A_{465}/A_{665}$. Hodnocení vychází z experimentálního zjištění, že čím je číselná hodnota $Q_{4/6}$ nižší, tím roztok HL (HK a FK) obsahuje více aromatických a „kondenzovaných“ útvarů (do jisté míry lze i říci, že obsahuje HL s vyšší relativní molekulovou hmotností).

U vyhodnocení tohoto parametru ale narážíme na stejné potíže jako u hodnocení poměru HK:FK. Chybí „absolutní“ kritériální hodnoty a je zde opět nutnost srovnání s obvyklými hodnotami ve stejném půdním typu (či obvyklé hodnotě lokality) a rovněž zde není soulad (úzká korelace) s výškovou pásmovitostí půd nebo výnosem. Do jisté míry je problematické i jeho vlastní analytické stanovení (HORÁČEK et al., 2004) a zejména porovnatelnost dat pracovišť, používajících rozdílné vlnové délky.

Stupeň humifikace Sh

Stupeň humifikace se uvádí nejčastěji ve tvaru $Sh = C_{ox} HL / C_{ox} \text{ celk.}$, tedy jako podíl humusových kyselin k celkovému množství POH, resp. celkovému oxidovatelnému uhlíku, ale často je i používán ve tvaru $Sh = C_{ox} HK / C_{ox} \text{ celk.}$. Charakterizuje tedy „kvalitu“ POH v půdě s oceněním vyššího podílu humusových látek – čím vyšší hodnota Sh, tím vyšší kvalita POH - kritériální hodnoty pro sumu HK + FK uvádí např. VALLA et al., (2002), pro samotné HK (GRIŠINA a ORLOV, 1978). Toto kritérium však nezohledňuje (stejně jako obě předchozí) funkci huminů, kdy se mlčky předpokládá jejich naprostá nereaktivita v půdě.

Poměr celkového obsahu uhlíku k obsahu celkového dusíku C:N

Poměr C:N je kvalitativní charakteristika opět celé POH používaná ale převážně v odborných pracích. Vychází z poznatku, že v humusových látkách je tento poměr přibližně 10:1 (PAVEL et al., 1984). Širší poměr C:N než 10 značí nižší kvalitu POH. Obvyklou hodnotu tohoto poměru pro černozemě uvádí např. ZAUJEC et al. (2009) v rozmezí 6,1-7,1.

Infračervená a fluorescenční spektra humusových látek HL

Jsou modernější obdobou již dříve (HORÁČEK, 1995) zkoumaných infračervených spekter HL, ale využívá se především nižší pracnosti nedestruktivních technik, nejčastěji reflexní spektroskopie v infračervené (DRIFT) a blízké infračervené oblasti (NIRS) (KUBÁT et al., 2008), nebo se stanovují synchronní, emisní nebo excitační fluorescenční spektra (POSPÍŠILOVÁ et al., 2006). Také zde však „absolutní“ kritériální hodnoty chybí, včetně případné návaznosti na výnos plodin a užší korelace s jinými parametry POH.

Labilní podíl půdního C

O možnosti, případně nutnosti hodnotit kvalitu tohoto podílu půdního uhlíku se začíná uvažovat až v posledních letech a to v souvislosti s jeho velkým významem pro rozvoj biologické aktivity půd. Zjišťuje a hodnotí se především „rozložitelnost“ labilního podílu půdního C, kdy vyšší rozložitelnost se hodnotí kladněji. O jednu z navrhovaných metod se

pokusilo i naše pracoviště (KOLÁŘ et al.; 2009) a to hodnocením rychlostní konstanty rozkladu.

Černoze země ČM

Černoze země jsou obecně považovány za agronomicky nejhodnotnější půdní typy. Jejich přirozená či potenciální úrodnost se může samozřejmě dosti podstatně lišit v závislosti na subtypu, varietě, půdotvorném substrátu, zrnitosti, vlhkostních poměrech a dalších vlastnostech stanoviště, ale také na množství a kvalitě půdní organické hmoty. Obsah C_{ox} se většinou uvádí v rozmezí 1,5 - 2,5% (resp. 2 - 3,5 % „humusu“) (BIELEK, 2000; KUBÁT et al., 2008). To znamená, že ČM obsahují organického uhlíku v průměru méně, než řada agronomicky horších půdních typů. Předpokládá se však, že většina tohoto uhlíku je obsažena hlavně ve zhumifikovaném podílu POH, jehož kvalita v humusových horizontech, vyjádřená např. poměrem HK:FK 2,5 - 3,5, nebo barevným kvocientem $Q\ 4/6\ 1 - 1,5$ (PAVEL et al., 1984; POSPÍŠIL 1980), je velmi vysoká. Agronomická hodnota černoze země je dále podpořena většinou příznivým zrnitostním složením, vysokou sorpční a pufrací kapacitou, stabilitou půdních agregátů a příznivou (neutrální až slabě alkalickou) půdní reakcí.

Protože u naprosté většiny vzorků černoze země, které jsme měli k dispozici, nebo jsme hodnoty jejich ukazatelů POH získali z literatury, absentovala starší analytická data, požádali jsme VÚMOP Praha o poskytnutí menší gramáže archivovaných půdních vzorků, u kterých byla vysoká pravděpodobnost nálezu odběrového místa shodného s umístěním tzv. S sondy při odběru pro KPP. Takto byly vytipovány a v konečné fázi i nalezeny lokality Klapý, Libčevce, Libochovice, Nová Ves, a Račíněves, kde byly v červenci 2013 odebrány půdní vzorky z humusových Ap horizontů. Vzorky byly na vzduchu usušeny, upraveny na 2 mm prosev pomocí mlýnu pulverisette 8 (Fritsch), homogenizovány a část oddělena na laborette 27 (Fritsch) pro úpravu na 0.25 mm prosev, který naše pracoviště již dlouho používá nejen k obvyklému stanovení Cox, ale i k frakcionaci humusových látek. Vzorky byly analyzovány společně s archivovanými vzorky z těchto lokalit, tedy Ap horizonty původních „S“ sond dle běžných metodik a frakcionace humusu byla provedena v úpravě našeho pracoviště (např. HORÁČEK et al.; 2008). Stejně bylo postupováno i v případě analýz dřívějších – Modřice u Brna, Borovce a Gross Enzersdorf. Analytická opakování byla zpracována běžnými statistickými postupy (PECHOČ 1981). Podrobnější matematicko-statistické šetření nebylo možno z důvodu malých souborů i počtu opakování provést a výsledky jsou uvedeny jen rozpětím zjištěných hodnot.

Výsledky a diskuse

Úvodem nutno poznamenat, že černoze země nejsou hlavním předmětem zájmu našeho pracoviště, neboť ZF JU v Českých Budějovicích řeší nejvíce vlastnosti kambizemí, jako převažujícího půdního typu regionu i celé ČR. Černoze země však využívá jako srovnávací půdní typ až v inkubačních nebo i polních pokusech. A právě některé výsledky kvalitativních parametrů POH černoze země z poslední doby našeho i jiných pracovišť, které se dosti významně liší od údajů zejména v starších pracích, nás přivedly k úvaze o možném

antropickém degradačním vlivu zejména prostřednictvím zpracování, resp. celého systému hospodaření na tomto půdním typu.

Výsledky si dovoluujeme uvést formou souhrnných tabulek a grafů kvantitativně-kvalitativních ukazatelů POH z vybraných lokalit. Jedná se převážně o zjednodušeně zprůměrované údaje, které z hlediska různých výzkumných záměrů nelze zcela sjednotit. Diskutovány budou proto jen nefrekventovanější ukazatele, tedy obsahy celkového uhlíku C_{ox} , hodnoty poměrů HK:FK a hodnoty barevného kvocientu Q 4/6, případně hodnoty stupně humifikace Sh.

Jako prvou si dovoluujeme okomentovat charakteristiku černozemě karbonátové z Modřic u Brna, které jsme odebrali cca 250 kg zhruba před 35 lety právě jako srovnávací zeminu pro inkubační experimenty (Tab. č. 1)

Obsah C_{ox} 1,35 - 1,37% se pohybuje okolo průměrného obsahu udávaného pro tento půdní typ (POSPÍŠIL, 1980). Kvalitativní parametry HK:FK = 1,76 a Q 4/6 = 2,6 se sice částečně shodují s údaji POSPÍŠILA (1980), ale jsou již na hranici odpovídající horší kvalitě HL pro ČM^{Ca}. Shodou okolností v souboru moravských černozemí vyšetřovaném pracovníky MZLU v Brně (FOUKALOVÁ et al., 2006), který bude komentován následně, se tato lokalita rovněž vyskytuje, ale při téměř shodném obsahu C_{ox} = 1,50% zde autoři nalézají poměr HK:FK v průměru pouze 1,06 a Q 4/6 kolem 4, což jsou hodnoty zcela odlišné od dříve uváděných. Nutno však dodat, že totožnost odběrového místa je zde dosti sporná (možná zástavba).

Z práce výše uvedených autorů jsme si dále dovolili použít rozpětí jimi zjištěných hodnot pro devět moravských černozemí s vypuštěním Křenovic, které sami autoři považují za problematické (silná eroze). Hodnoty C_{ox} v rozpětí 1,46 - 2,24% lze považovat za dostačující, ale poměr HK:FK 1,00 - 1,87 a Q 4/6 v rozmezí 3,1 - 4,4 zejména v „horších“ hodnotách ukazatelů již nikoliv, i když podle některých novějších hodnocení (BRTNICKÝ a JANČEK, 2007) by se o špatnou kvalitu HL nejednalo.

Jako další příklad uvádíme vybrané průměrné hodnoty ukazatelů POH černozemě hnědozemní z lokality Borovce. Jedná se o pokusnou bázi CVRV Piešťany a analytická data jsou převzata z monografie (BABULICOVÁ et al., 2011). Již průměrný obsah celkového uhlíku 1,02 % lze považovat za nízký, neodpovídající danému půdnímu typu. Rovněž průměrná hodnota poměru HK:FK 1,12 je velmi vzdálena údajům v literatuře pro tento půdní typ. Barevný kvocient zde nebyl bohužel stanoven. Úskalí hodnocení stupně humifikace bylo již zmíněno výše, přesto jeho průměrná hodnota (Sh = 38,2 %) je velice nízká a vůbec neodpovídá černozemnímu půdnímu typu. Zároveň nutno ale dodat, že ani zde nebyl stanoven obsah oxidovatelného uhlíku huminů. Na druhé straně stupeň humifikace vyjadřuje podíl uhlíku humusových kyselin z celkového C_{ox} v půdě a ve starších (PAVEL et al., 1984) i novějších odkazech (POSPÍŠILOVÁ a TESAŘOVÁ, 2009) je uváděn pro černozemě na úrovni 80 - 90% celkového uhlíku. I když podle našich zkušeností a výsledků KUBÁTA et al. (2008) jde o údaj velmi nadsazený, v černozemích by se mohly obsahy humusových kyselin tomuto zastoupení blížit za předpokladu, že budou jednoznačně převažovat huminové kyseliny nad fulvokyselinami, a to v poměru cca 2 - 3:1. To v tomto případě nejen že není splněno, ale zejména minimální hodnoty Sh kolem 30 - 35 % zjištěné na některých částech pokusné lokality jsou zarážející.

Dále diskutovanými jsou údaje vzorků černozemě, které jsme měli možnost odebrat v rámci projektu „Kontakt“ v Gross Ensesdorfu - (pokusná stanice BOKU Vídeň) a v naší klasifikaci by se jednalo o ČM^{Ca} (Tab. č. 1) Zde jsou vlastnosti humusového horizontu do hloubky 0,4m relativně homogenní a platí to i pro parametry POH. Obsah C_{ox} je v průměru 1,58 %, poměr HK:FK 1,04, Q 4/6 4,0 a Sh 40,1 %. Jestliže obsahy C_{ox} by danému půdnímu typu odpovídaly, již to naprosto nelze říci o kvalitativních parametrech. Ty by naznačovaly velmi zhoršenou kvalitu “humusu“, což platí zejména pro poměr HK:FK a barevný koeficient Q 4/6, kdy zjištěné hodnoty jsou již velmi vzdálené od údajů pro tento půdní typ, které uvádí zvláště starší literatura. Významná je ale zároveň skutečnost, že výzkumní pracovníci BOKU zde prozatím nezaznamenávají žádné výrazné výnosové deprese, ale tak relativně nepříznivé kvalitativní parametry POH si rovněž neumí vysvětlit (LIEBHARD, 1995).

V souboru vybraných středočeských černozemí, kde bylo možno porovnat analytická data archivovaných půdních vzorků (analyzovaných ovšem v současnosti) s daty vzorků totožných lokalit v současnosti odebraných, jsou výsledky parametrů POH Ap horizontů poněkud rozporuplné. Podle zavedených ukazatelů kvality POH, tedy poměru HK:FK (Graf č. 1), barevného kvocientu Q4/6 (Graf č.2), případně stupně humifikace Sh (Graf č. 3) by bylo nutno konstatovat zhoršení kvality POH u všech lokalit v průběhu uplynulých cca 40 letech i když u některých ne až tak výrazné (Klapý, Libochovice). Ovšem při pohledu do Tab. č. 2 zjišťujeme naopak dosti výrazné zvýšení (zlepšení) všech kvantitativních hodnot POH současných Ap horizontů oproti archivovaným. Zohledněním této skutečnosti, tj. zvýšené sekvestrace uhlíku do půdy v posledních desetiletích, nelze potom při komplexním hodnocení těchto černozemí o jejich agronomické „hodnotě“ jednoznačně rozhodnout a otázku kvality POH černozemních půdních typů lze tak považovat za otevřenou.

Závěr

Výše uvedené výsledky by mohly naznačovat jisté obecné zhoršení kvality POH některých černozemí, které lze u svažitých lokalit vysvětlit dosti jednoduše erozními smyvy humusových horizontů. V rovinných partiích je zdůvodnění složitější a patrně jde o vliv celého systému hospodaření, kde za hlavní je možno považovat na orných půdách jejich zpracování. Lze samozřejmě spekulovat i o jisté rozdílnosti používaných analytických metod či jejich chybách, ale největším problémem je absence srovnávacích (vstupních) dat výše uvedených kvalitativních parametrů POH příslušných lokalit z minulé doby, neboť pracná frakcionace humusových látek se prováděla jen ojedinele. Srovnávací studie parametrů POH archivovaných a v současnosti odebraných Ap horizontů vybraných středočeských černozemí ukázala sice na jisté snížení kvality humusu v čase, které však při komplexním hodnocení stanovišť může být kompenzováno zvýšenou sekvestrací uhlíku do půdy. Problematiku porovnávání současných a starších údajů kvality POH černozemí lze tak považovat stále za otevřenou.

Použitá literatura

- BABULICOVÁ M., KOTOROVÁ D., SEKERKOVÁ M., MALOVCOVÁ L. (2011) : Důsledky vyššího podílu hustosiatých obilnin v osevných postupech na vlastnosti půdy, produkční schopnost, výskyt chorob a zaburienost porastov. CVRV Piešťany, s 138.
- BADALÍKOVÁ B., PROCHÁZKOVÁ B. (2002): Desagregace půdní hmoty vlivem různého hospodaření se slámou. In: BORŮVKA L. (ed.): Pedologické dny 2002: Degradace půdy. Praha, Česká zemědělská univerzita, s. 47-150.
- BIELEK P. (2000): Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPOP Bratislava, s 254, ISBN 80-85361-44-2
- BRTNICKÝ M., JANČEK M. (2007): Obsah a kvalita humusu v půdách střední Moravy. In: VIII. věd.konf. doktorandů a ml. věd. pracovníků. s 23, ISBN 978-80-8094-105-5
- FOUKALOVÁ J., POKORNÝ E. (2006): Agroekologické limity vybraných biologických vlastností orníc černosolů v oblasti střední Moravy. In: Mendelnet '06, Agro, s 64
- GRIŠINA L.A., ORLOV D.S. (1978): Sistema pokazatelej gumusovo sostojanija počv. In: Problemy počvovedenija. Izd. Nauka, Moskva , s. 53-61.
- HORÁČEK J. (1995): Studie vlastností a přeměn organické hmoty v půdě. [Docentská habilitační práce]. České Budějovice. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra obecné produkce rostlinné. 218 s.
- HORÁČEK J., LEDVINA R., RAUS A. (2001): The content and quality of organic matter in cambisol in a long-term no-tillage system. Rostlinná výroba, 47 (5): 205-210.
- HORÁČEK J., KOLÁŘ L., LEDVINA R., ČECHOVÁ V., HŘEBEČKOVÁ J. (2004): Ovlivnění transformace půdní organické hmoty. Collection of Scientific Papers: Series for Crop Science, 21. České Budějovice, Jihočeská univerzita, s. 55 – 60.
- HORÁČEK J., KOLÁŘ L., ČECHOVÁ V., HŘEBEČKOVÁ J. (2008): Phosphorus and Carbon Fraction Concentrations in a Cambisol Soil as Affected by Tillage. Com. In Soil Sci. And Plant Anal., 39, : 2032-2045, ISSN 0010-3624
- HŮLA J., PROCHÁZKOVÁ B. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Zemědělské informace. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 104 s.
- KINSELLA J. (1998): Agriculture`s role in protecting the environment (lecture). Illinois, Agricultural Technology Center Lexington.
- KOLÁŘ L., KUŽEL S., HORÁČEK J., ČECHOVÁ V., BOROVIČKOVÁ J., PETERKA J. (2009): Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant Soil Environment*, 55 (6): 245-251.
- KUBÁT J., CERHANOVÁ D., MIKANOVA O., ŠIMON T. (2008): Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 34 s.
- LAL R., KIMBLE J.M. (1997): Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49: 243-253.

- LIEBHARD P. (1995): Einfluss der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag und Ertragsverhalten von Winterweizen im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 6). Die Bodenkultur, 47: 153-162.
- PAVEL L., BENEŠ S., BRUNCLÍK O., JURČA V., KOZÁK J., SVOBODA V., VALLA M., VLK K. (1984): Geologie a půdoznalectví. Praha, Vysoká škola zemědělská, s. 85-88.
- PECHOČ V. (1981): Vyhodnocování a početní metody v chemickém inženýrství. SNTL Praha, s. 226
- POSPÍŠIL F. (1980): Obsah a složení humusu v českých zemích. Studie ČSAV, Acad. Praha, s. 92.
- POSPÍŠILOVÁ L., FASUROVÁ N., JURICA L. (2006): Fractionation of humus and optical properties of HA origination from different soil types. Acta Univ. Agric. et Silvic. Mendel. Brunensis, LIV, 4, s. 45-52.
- SÁŇKA M., MATERNA J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Edice Planeta*-odborný časopis pro životní prostředí, 12 (11): 39.
- SOTÁKOVÁ, S. (1982): Organická hmota a úrodnost půdy. Bratislava, Příroda, s. 123-126.
- VALLA, M., KOZÁK, J., NĚMEČEK J. (2002): Pedologické praktikum. Praha, Česká zemědělská univerzita, 151 s.
- ZAUJEC A., CHLPIK J., NÁDAŠKÝ J., SZOMBATHOVÁ N., TOBIAŠOVÁ E. (2009): Pedológia a základy geológie. SPU Nitra, s 400, ISBN 978-80-552-0207-5.

Tab. 1

Kvantitativně-kvalitativní parametry POH vybraných černozemních lokalit

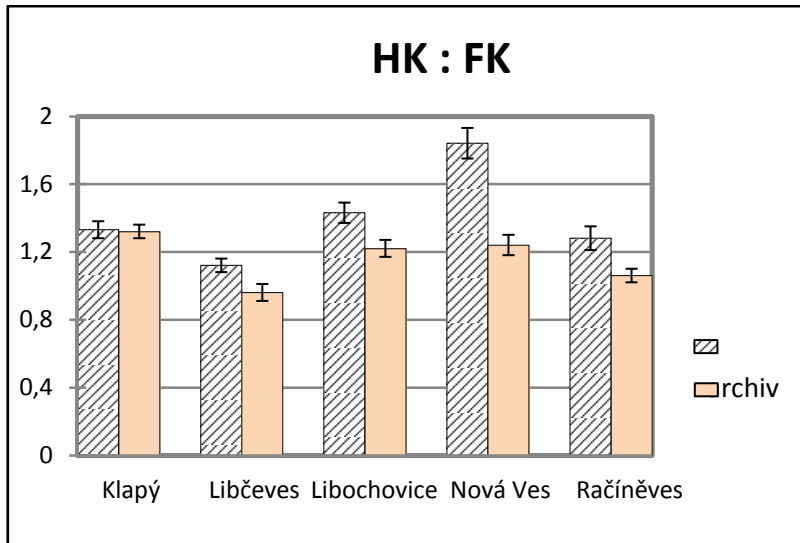
Lokalita	C_{ox} [g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	C_{oxHL} [g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	C_{oxHK} [g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	C_{oxFK} [g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	HK : FK	Q 4/6	Sh [%]
Modřice u Brna	1,40 – 1,50	0,76 – 0,80	0,48 – 0,52	0,26 – 0,30	1,77 – 1,79	2,56 – 2,64	56,9 – 57,7
Střední Morava	1,40 – 2,24	0,50 – 0,80	0,25 – 0,50	0,23 – 0,42	1,87 – 1,90		12,5 – 33,0
Borovce	0,97 – 1,07	0,32 – 0,50	0,16 – 0,28	0,16 – 0,22	0,96 – 1,43		30,8 – 47,6
Gross Enzersdorf	1,73 – 1,77	0,68 – 0,70	0,34 – 0,36	0,33 – 0,35	1,01 – 1,03	3,9 – 4,1	37,9– 42,1

Tab. 2

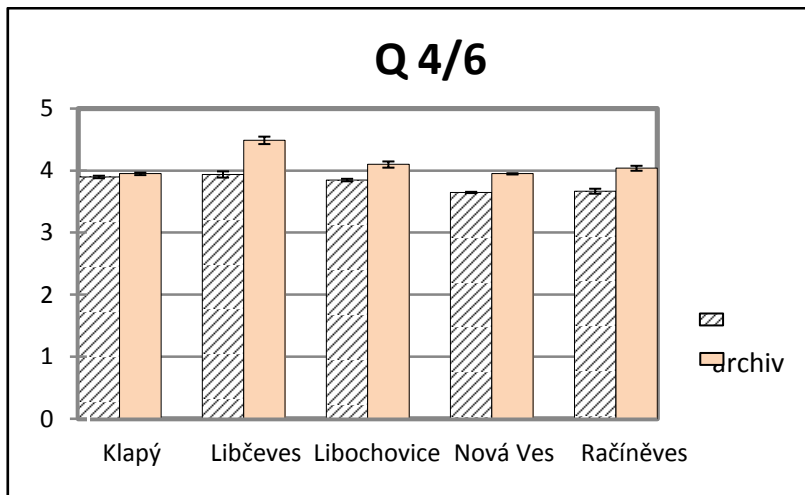
Kvantitativní parametry POH Ap horizontů vybraných středočeských černozemí

Sonda místní název	varianta	C_{ox}	C_{oxHL}	C_{oxHK}	C_{oxFK}	C_{hws}	zbytkový C_{ox} po extrakci
		[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]	[g · 100 ⁻¹ g ⁻¹ půdy]
Klapý	archiv	2,03 – 2,07	0,92 – 1,04	0,53 – 0,59	0,39 – 0,45	0,071 – 0,074	0,89 – 0,97
	2013	2,49 – 2,55	1,02 – 1,16	0,58 – 0,66	0,44 – 0,50	0,086 – 0,090	1,17 – 1,27
Libčeves	archiv	1,29 – 1,34	0,66 – 0,74	0,35 – 0,39	0,31 – 0,35	0,057 – 0,060	0,86 – 0,94
	2013	2,25 – 2,28	0,84 – 0,96	0,42 – 0,46	0,43 – 0,49	0,114 – 0,119	1,11 – 1,21
Libochovice	archiv	2,04 – 2,08	0,94 – 0,98	0,52 – 0,60	0,39 – 0,45	0,071 – 0,074	0,96 – 1,06
	2013	2,41 – 2,43	0,95 – 1,09	0,56 – 0,63	0,43 – 0,49	0,081 – 0,084	1,26 – 1,38
Nová Ves	archiv	1,50 – 1,52	0,69 – 0,77	0,39 – 0,43	0,30 – 0,34	0,054 – 0,058	0,69 – 0,77
	2013	2,16 – 2,20	0,85 – 0,97	0,48 – 0,54	0,39 – 0,43	0,062 – 0,065	0,96 – 1,04
Račiněves	archiv	0,85 – 0,90	0,48 – 0,54	0,24 – 0,28	0,24 – 0,26	0,030 – 0,033	0,45 – 0,51
	2013	1,51 – 1,55	0,64 – 0,74	0,33 – 0,37	0,31 – 0,35	0,050 – 0,053	0,90 – 0,96

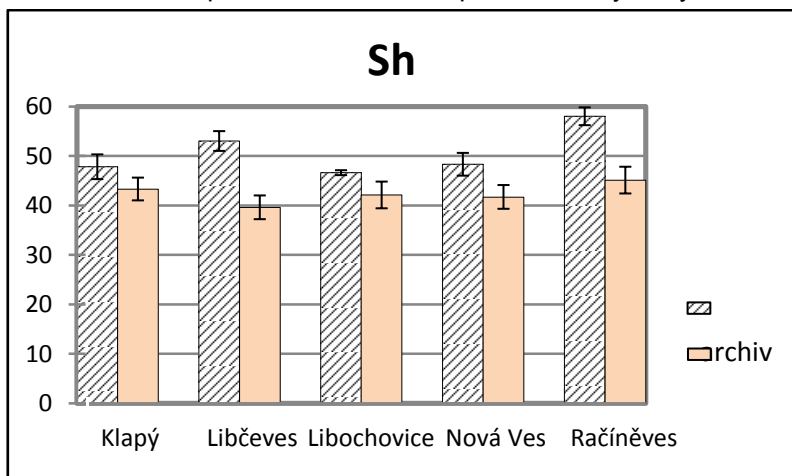
Graf č. 1 Poměr HK:FK Ap horizontů vybraných středočeských černozeří



Graf č. 2 Barevný kvocient $Q_{4/6}$ Ap horizontů vybraných středočeských černozeří



Graf č. 3 Stupeň humifikace Sh Ap horizontů vybraných středočeských černozeří



Vodná erózia pôdy

Autor: Beáta Hrabovská

Spoluautori: Anna Hammerová, Jiří Jandák, Martin Brtnický, Jan Hladký, Vítězslav Vlček

Pojem „erózia“ vychádza z latinského slova „erodere“, ktoré v preklade znamená „rozhlodávať“. Erózia je proces zahrňujúci rozrušovanie pôdneho povrchu, transport a sedimentáciu uvoľnených pôdnych častíc pôsobením vody, vetra, ľadu a iných erózných činiteľov.

Erózia pôdy ochudobňuje poľnohospodársku pôdu o tú najúrodnejšiu časť – orniciu, zhoršuje fyzikálne - chemické vlastnosti pôd, znižuje mocnosť pôdneho profilu, zvyšuje štrkovitosť, znižuje obsah živín a humusu. Transportované pôdne častice a na nich viazané látky znečisťujú vodné zdroje, zanášajú akumulčné priestory nádrží, znižujú prietokovú kapacitu tokov, vyvolávajú zakalenie povrchových vôd, poškodzujú budovy, komunikácie, korytá vodných tokov a pod.

Hlavným znakom vodnej erózie je, že tečúca voda splachuje, vymieľa a odnáša pôdu a premiestňuje ju na iné miesta, kde nastáva usadzovanie a hromadenie takto erodovaných hmôt. Tento erózný jav vzniká najčastejšie v oblastiach, v ktorých občasné dažde prívalového charakteru alebo náhle topenie snehu vyvolávajú prudké povrchové odtoky. Pri vzniku a priebehu vodnej erózie sa uplatňujú rôzne podmienky, ktoré potom rozhodujú a jej druhu, pôsobnosti a účinkoch. Jedná sa napr. o vzdušné zrážky, reliéf územia, druh a typ pôdy, vegetačný kryt atd. Pohyb pôdy zrážkami je zvyčajne najväčší a najviac viditeľný v priebehu krátkeho trvania pri vysoko intenzívnej búrke. Odtok z poľnohospodárskej pôdy môže byť najväčší v jarných mesiacoch, kedy sú pôdy zvyčajne nasýtené, sneh sa topí a vegetačný kryt je minimálny. Na území Českej republiky je viac ako 50 % poľnohospodárskej pôdy ohrozenej vodnou eróziou. Vytvorenie 1 cm pôdy môže trvať až desaťtisíce rokov.

Kľúčové slová: vodná erózia, erodere, rozrušovanie, pôda.

Tento príspevok vznikol s podporou projektov IGA AF MENDELU IP18/2013 a projektu IGA AF MENDELU TP6/2013.

Cieľ

Zistiť vplyv vodnej erózie na obsah humusu na svažitých pozemkoch černozezí na Južnej Morave v ornici a podornici.

Úvod

Medzi významné degradačné procesy patrí erózia pôdy. Jej výsledkom býva zníženie úrodnosti na poľnohospodárskej pôde.

Pojem „erózia“ vychádza z latinského slova „erodere“, ktoré v preklade znamená „rozhlodávať“. Erózia sa definuje ako komplexný proces, zahrňujúci rozrušovanie pôdneho povrchu, transport a sedimentáciu uvoľnených pôdnych častíc pôsobením vody, vetra, ľadu a iných tzv. erózných činiteľov. (Janeček a kol., 2002)

Pôsobením erózie sa zemský povrch na jednej strane znižuje – degraduje (lat. degradatio – zníženie, zosadenie), na druhej strane hromadením usadených hmôt vyvyšuje – agraduje (lat. aggradatio – povýšenie, zvýšenie). (Zachar, 1970)

Pokiaľ je vodná erózia javom prirodzeným, nie je účelné ani ekonomické ju odstraňovať. V súvislosti s navrhovaním protierózných opatrení sa hovorí o limitoch prípustnej straty pôdy. (Janeček a kol., 2002) Hodnotenie eróznej rýchlosti, rovnako tak ako stanovenie limitov prípustnej straty pôdy pritom vychádzajú z rovnakého základu, ktorým je prirodzený priemerný ročný prírast pôdneho profilu, teda empiricky stanovená priemerná hodnota rýchlosti vzniku pôd.

Z agronomického hľadiska znamená vodná erózia fyzikálnu a biologickú degradáciu pôdy, nenávratnú stratu zeminy, humusu či rastlinných živín, poprípade zničenie kultúr a celkovú degradáciu produktívnej pôdy. (Pasák a kol., 1984).

Dve skupiny vlastností vplyvajú na odolnosť pôdy. Vlastnosti podporujúce súdržnosť pôdných častíc pôsobia priamo a nepriamo pôsobia vlastnosti ovplyvňujúce infiltračnú schopnosť pôdy. Na uvoľnenie pôdných častíc je potreba tým viac energie, čím je väčšia ich súdržnosť. Čím je väčšia infiltračná schopnosť pôdy, tým je menší odtok a tým je aj menšia jeho vymieľacia a transportná schopnosť. (Fulajtár, Janský, 2001)

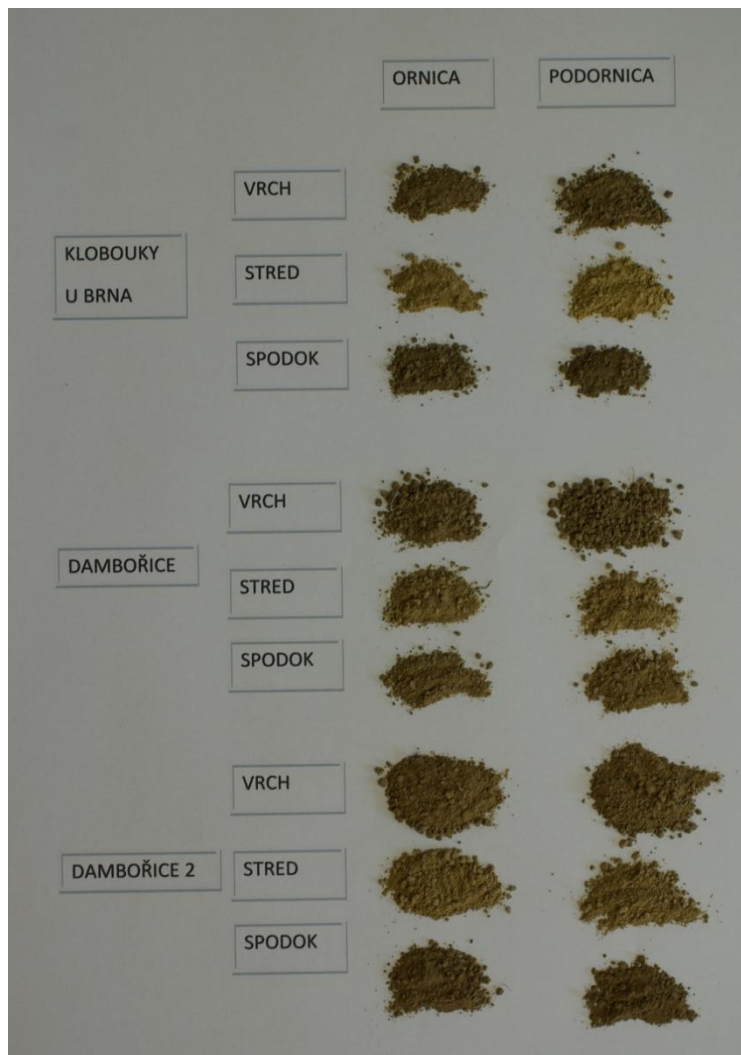
Janeček a kol. (2002) poukazuje na to, že erózia mimo iného znižuje mocnosť pôdneho profilu, zvyšuje štrkovitosť. Transportované pôdne častice a látky, ktoré sú na nich viazané znečisťujú vodné zdroje, zanášajú akumuláčnej priestory nádrží, znižujú prietokovú kapacitu tokov, zhoršujú prostredie pre organizmy atď.

V ideálnom prípade by teda mal byť dosiahnutý stav, pri ktorom erózna rýchlosť či intenzita erózie neprekročí rýchlosť tvorby pôd, to je situácia, pri ktorej úrodnosť pôdy nebude znižovaná stratou pôdnej hmoty. (Vašků, 2002)

Pre zónu erózne – akumuláčnej komplexu sú najpríznačnejšími procesmi kumulácie transportovaného materiálu z vyššie ležiacich krajinných polôh vyúsťujúcich až do vzniku tzv. kolúvia. Pritom v dolných častiach svahov a terénnych polohách, kde dochádza k poklesu unášacej sily povrchového odtoku takto ovplyvnenej pôdy spravidla obsahujú väčšie množstvo živín, organických látok a jemných pôdných častíc, než je príznačné pre zónu erózne denudačnej komplexu aj pre zónu eluviálneho komplexu. Najmarkantnejším znakom eróznej akumuláčnej zóny je tak zvyšovanie moci humózných horizontov. (Vašků, 2002) Podľa Skleničky (2003) dochádza ku znehodnoteniu miest erodovaných aj miest na ktorých dochádza k sedimentácii pôdných častíc a vo výsledku je znižovaný produkčný potenciál pôd. Pôdna organická hmota sa skladá z organickej frakcie pôdy. Je tvorená zvyškami rastlín a živočíchov. K znižovaniu obsahu humusu v pôde vedie porušenie rovnováhy medzi stavbou pôdnej organickej hmoty a rýchlosťou rozkladu. Pôdna organická hmota podporuje a udržiava množstvo pôdných funkcií a tak je dôležitá jej ochrana pre udržateľné hospodárenie na pôde. (Sobocká, 2007)

Humus je dôležitá zložka pôdy. Ovplyvňuje úrodnosť a produkčnú schopnosť pôdy. Tvorí sa zo zvyškov rastlín a živočíchov. (Pelíšek, 1966).

Ledvina, Horáček et al. (2000) píšú, že je možné v pôde aj podľa farby odhadnúť obsah humusu. Pôdy, ktoré majú nízky obsah humusu budú mať svetlo hnedú farbu a pôdy s vysokým obsahom humusu budú až čierne.



Obr. č. 1 Farby odobratých pôd

Plošný splach má za následok postupné zoslabovanie orničnej vrstvy a konečné obnaženie podložných vrstiev, často až na sterilnú spodinu. Tento jav je často sprevádzaný zmenou farby pôdy v svetlejší tón. Príčinou toho je vylúhovanie a odnos humusových látok, ktoré zafarbiajú pôdu tmavšie. (Júva, Cablík, 1954)

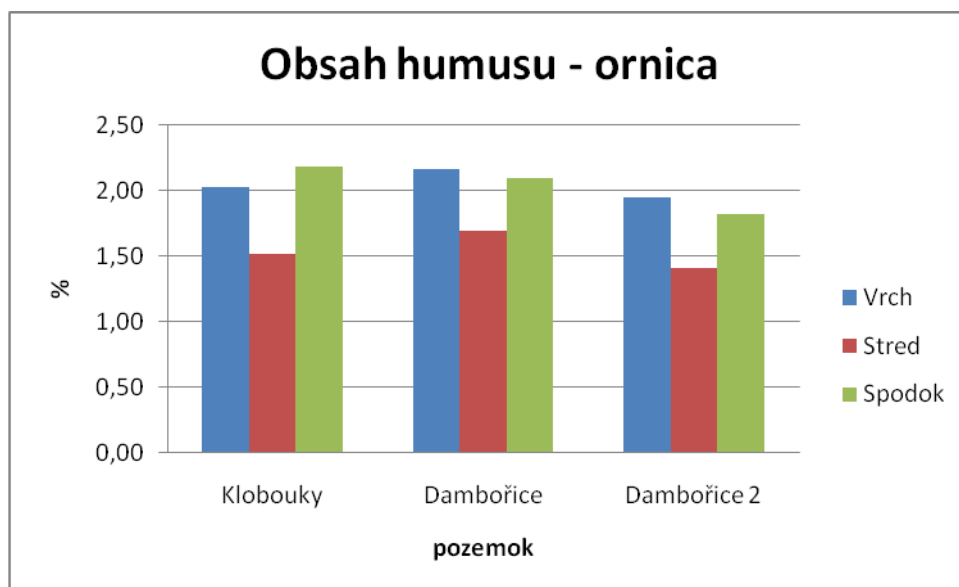
Kvalitou humusu sa obecné rozumie jeho schopnosť umožňovať intenzívny mikrobiálny život pôdy, ktorého je sám humus z veľkej časti produktom. (Tomášek, 2003).

Dle Ledviny, Horáčka et al. (2002) sa kvalita humusu môže zhoršovať smerom k materskej hornine. Výnimkou môžu byť napr. černoze, vďaka znehodnocovaniu humusu v orniciach. Materiál a metódy

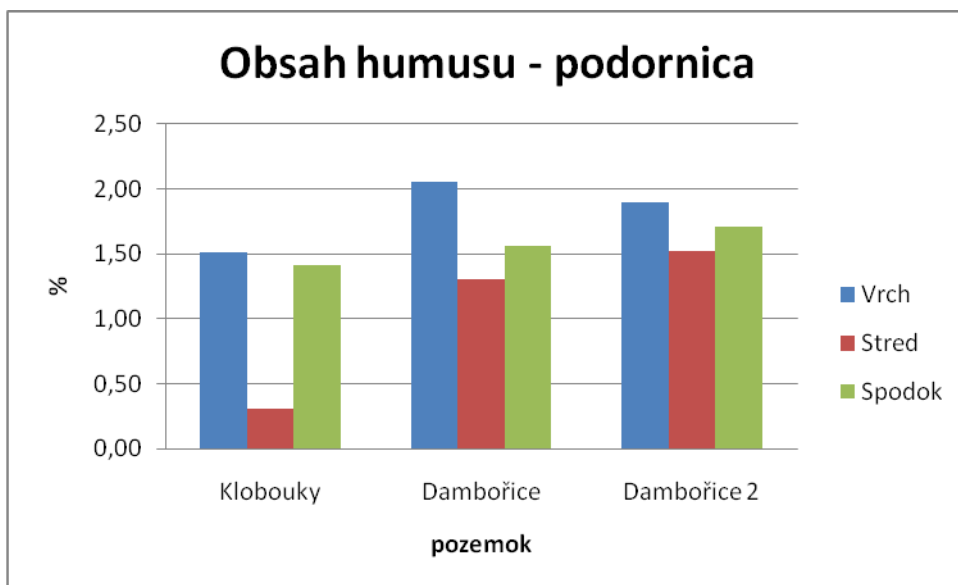
Vplyv erózne – akumulčných procesov na pôdu sme v tomto roku monitorovali na černozeiach na erózných transektoch pri obci Klobouky u Brna a na dvoch miestach neďaleko u Damboříc. Na každom svahu sú umiestnené tri pedologické sondy. Prvá sonda bola lokalizovaná na vrchole, ktorý predstavoval vrcholovo eluviálnu časť (neerodované alebo mierne erodované pôdy). Druhá sonda bola na svahu v eróznej časti transektu (erodované pôdy) a posledná sonda bola v spodnej (akumulačnej) časti transektu. Pôdne vzorky sa odobrali z ornice a podorničia. Obsah humusu bol stanovený metódou stanovenia organického uhlíku v pôde na mokrej ceste pomocou oxidačne redukčnej titrácie podľa Walkley – Blacka v modifikácii Novák – Pelíšek a následným prepočtom na humus. (Jandák a kol., 2003)

Výsledky a diskusia

Vplyv procesov vodnej erózie na pôdu sa prejavuje predovšetkým pri priestorovej diferenciácii humusu aj v rámci pôdneho profilu. Najvyšší obsah humusu sme namerali v spodnej časti svahu – v oblasti akumulácie, kde boli vyššie hodnoty humusu aj v podornici. Naopak v strede svahu (eróznej časti) sú hodnoty najnižšie a s rastúcou hĺbkou klesajú. Najväčší rozdiel medzi obsahom humusu v ornici a podorničí je možné pozorovať na pozemku v obci Klobouky v strednej časti svahu (erózna časť).



Obr. č. 2 Obsah humusu v ornici



Obr. č. 3 Obsah humusu v podornici

Záver

Jůva, Cáblik (1954) napísali, že erózia sa môže stať veľmi výraznou a nebezpečnou v kultúrnej krajine, kde je priebeh prirodzených erózných pochodov porušený a zmenený. Dochádza tak k vzniku zrýchlenej erózie, pri ktorej môže dôjsť k značnému až katastrofálnemu odnosu vrchnej, humusom obohacovanej pôdnej vrstvy a ku obnažovaniu spodnejších vrstiev, čo zhoršuje pôdnu úrodnosť

Negatívny vplyv procesov vodnej erózie na pôdu sa prejavil v kvantitatívnych zmenách obsahu humusu, ktorý sa určitou mierou podieľa na pôdnej úrodnosti. Došlo k priestorovej zmene humusu, výsledkom čoho je zníženie obsahu humusu v erózných častiach svahov. A naopak došlo k nárastu humusu v akumuláčnej časti.

Humus sa ukazuje ako dobrý indikátor vplyvu procesov vodnej erózie na pôdu, nakoľko je jeho obsah v pôde pomerne stály faktor. A tak sa spomedzi pôdných parametrov humus radí medzi pomerne spoľahlivé faktory vplyvu vodnej erózie na pôdu. (Styk, 2002, 2004)

Literatúra

FULAJTÁR, E., JANSKÝ, L. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. 1. vyd. Bratislava : Výzkumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2001. 310 s. ISBN 80-85361-85-X

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vyd. Praha : Profi Press, 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

JANDÁK, J. a kol. *Cvičení z půdoznalství*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 92 s. ISBN 80-7157-733-2.

JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha : ISV nakladatelství, 2002. 201 s. ISBN 85866-85-8

JŮVA, K., CABLÍK, J. *Protierosní ochrana půdy*. 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1954. 254 s.

LEDVINA, R., HORÁČEK, J., ŠINDELÁŘOVÁ, M. *Geologie a půdoznalství*. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2000. 203 s.

PASÁK, V. a kol. *Ochrana půdy před erozí*. 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 160 s. Publikace č. 357607-003-84

- PELÍŠEK, J. *Výšková půdní pásmovitost střední Evropy*. 1. vyd. Praha : Academia, 1966. 366 s.
- SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. Praha : Naděžda Skleničková, 2003. 321 s. ISBN 80-903206-1-9
- SOBOCKÁ, J. *Citlivosť a zraniteľnosť poľnohospodárskych pôd SR vo vzťahu ku klimatickej zmene*. Bratislava : Edičné stredisko Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2007. 28 s. ISBN 978-80-89128-32-7
- STYK, J. *Vplyv erózie na priestorovú heterogenitu humusu a prístupného fosforu v pôde*. In *Pedologické dni*. Mojmirovce pri Nitre, 2004, s. 287-294. ISBN 80- 89128- 11- 4
- STYK, J. *Monitoring vplyvu vodnej erózie na zmeny sledovaných pôdných vlastností*. In: KOBZA, J. et al.: *Monitoring pôd SR. Výsledky „Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda“ ako súčasť Monitoringu životného prostredia za rok 2002 (1. rok 3. cyklu monitoringu pôd SR)*. Správa čiastkových úloh. VÚPOP Bratislava, 2002, s. 99-111.
- TOMÁŠEK, M. *Půdy České republiky*. Praha : Česká geologická služba, 2003. 68 s. ISBN 80-7075-607-1
- VAŠKŮ, Z. *Hodnocení vodní eroze půdy v rámci podrobného pedologického průzkumu*. In *Pedologické dni*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2002. s. 115-121. ISBN 80-213-1052-9
- ZACHAR, D. *Erózia pôdy*. 2. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied,

Stav zemědělských půd na černozemích v oblasti Hustopeče

Chmelár Šimon

Mendelova univerzita v Brně; ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin;
Zemědělská 1, Brno 613 00
simon.ch24@gmail.com

Abstrakt

Při výzkumu byly sledovány základní vlastnosti půd, jež patří mezi naše nejúrodnější – černozemě jižní Moravy. Bylo vybráno 20 lokalit, s půdním typem černozemě na spraši, na nichž se odebrali sypké i neporušené půdní vzorky z orniční vrstvy. Výsledky byly následně srovnávány s potenciaálními vlastnostmi uváděných v literárních zdrojích, výsledky z komplexního průzkumu půd (dále jen KPP) dokončeného v roce 1963 a dostupnými výsledky agrochemických testů Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (dále jen ÚKZÚZ). V tomto článku jsou srovnány výsledky obsahu některých živin (metoda Mehlich III) – fosfor, draslík, vápník, hořčík, poměr Ca:Mg, obsah CaCO_3 , půdní organické hmoty a výměnné pH (v CaCl_2) s výsledky ÚKZÚZ za posledních cca 11 let a tam kde je to možné také s výsledky KPP (obsah půdní organické hmoty a CaCO_3).

Výsledky jsou srovnány pouze graficky a pomocí kritérií hodnotících tabulek a literárních pramenů. Statistické vyhodnocení nebylo dosud možné, neboť ÚKZÚZ prozatím poskytl pouze průměrné výsledky agrochemických testů. Taktéž výsledky KPP jsou dostupné pouze v celkovém zhodnocení z průvodních zpráv.

Výsledky našich rozborů a srovnání s historickými údaji nenaznačují významnější trendy ve změnách obsahu živin (jež jsou závislé především na hnojení), organické hmoty, její kvality nebo pH. Avšak došlo k dramatickému zvýšení obsahu CaCO_3 v orniční vrstvě, jež bývá v přirozených podmínkách často odvápněná. Takovýto nárůst karbonátů (cca o 5 %) lze dle literárních zdrojů i podle pozorování v terénu přičítat erozi – zužováním orniční vrstvy a postupným přibližováním a přioráváním spraše - půdotvorného substrátu bohatého na karbonáty.

Klíčová slova

pH, orná půda, zemědělství, živiny, karbonáty

ÚVOD

Zemědělská činnost je, a dlouho ještě bude, nepostradatelným zdrojem obživy pro lidstvo celé vyspělé společnosti. Jeho úspěšnost závisí na mnoha faktorech a mezi ty nejpodstatnější a doposud nenahraditelné patří bezesporu půda – konkrétně orná půda. Její kvantita i kvalita určují míru a schopnost produkce zemědělských plodin, náročnost obdělávání a v neposlední řadě také recipročně ekologii životního prostředí ve svém okolí i globálně.

Při výzkumu byly sledovány základní vlastnosti půd, jež patří mezi naše nejurodnější – černozemě jižní Moravy. Bylo vybráno 20 lokalit, s půdním typem černozemě na spraši, na nichž se odebrali sypké i neporušené půdní vzorky z orniční vrstvy. Výsledky byly následně srovnávány s potencionálními vlastnostmi uváděných v literárních zdrojích, výsledky z komplexního průzkumu půd (dále jen KPP) dokončeného v roce 1963 a dostupnými výsledky agrochemických testů Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (dále jen ÚKZÚZ). V tomto článku jsou srovnány výsledky obsahu některých živin (metoda Mehlich III) – fosfor, draslík, vápník, hořčík, poměr Ca:Mg, obsah CaCO_3 , půdní organické hmoty a výměnné pH (v CaCl_2) s výsledky ÚKZÚZ za posledních cca 11 let a tam kde je to možné také s výsledky KPP (obsah půdní organické hmoty a CaCO_3).

MATERIÁL A METODY

Výměnné pH bylo měřeno po rozmícháním vzorku jemnozeme v roztoku CaCl_2 . Výměnná půdní acidita je dána ionty vodíku, které jsou sorbovány půdními koloidy a které se mohou za určitých podmínek uvolnit do půdního roztoku a tím zvyšovat aktivní kyselost půdy. Vyjadřuje obsah vodíkových iontů, nacházejících se v půdním roztoku a dále vodíkových iontů vytěsněných do roztoku ze sorpčního komplexu působením roztoku neutrálních solí. Stanoví se ve výluhu 0,01 M CaCl_2 . Vápenaté ionty (Ca^{2+}), protože jsou v přebytku, vymění H^+ ionty sorbované na koloidní komplex, ty přejdou do roztoku a jejich celkovou aktivitu změříme potenciometricky jako pH v CaCl_2 (Škarpa, 2010).

Obsah oxidovatelného uhlíku (s následným přepočtem na obsah půdní organické hmoty) ve vzorcích půdy byl stanoven oxidimetricky, tedy mokrou cestou, metodou Walkley-Black, modif. Novák-Pelíšek. Organický uhlík humusových látek se zoxiduje chromsírovou směsí při zvýšené teplotě 120 °C a oxidačně redukční titrací Mohrovou solí se stanoví nezreagovaný zbytek chromsírové směsi (Jandák, 2003).

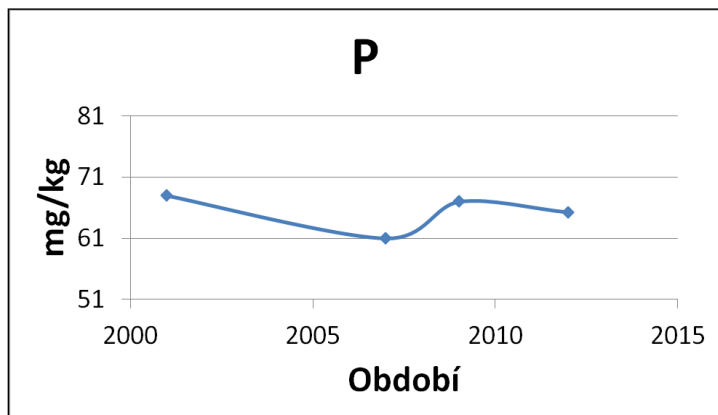
Obsah karbonátů CaCO_3 v půdě byl stanoven metodou dle Janka v Jankově vápnoměru. Princip metody: Uhličitany v půdě se rozkládají kyselinou chlorovodíkovou (10% HCl ředěná 1:3 s destilovanou vodou) a během této reakce vzniká plyn – oxid uhličitý. Ten nám v uzavřené soustavě vytlačuje hladinu vody, díky které volumetricky odečítáme přímo z rysky % obsahu karbonátů (Jandák et al., 2003).

Stanovení množství dostupných živin fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku bylo provedeno metodou Mehlich III.

VÝSLEDKY

Grafické vyjádření obsahu dostupných živin po analýze a ve srovnání s KPP a agrochemickými testy ÚKZÚZ a jejich tabulkové vyhodnocení.

Fosfor

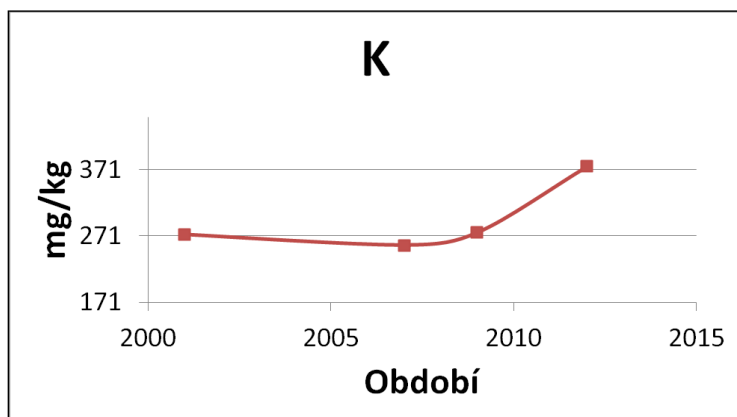


Graf. č. 1: Fosfor – srovnání s výsledky ÚKZÚZ.

Tab. č. 1: Kritéria hodnocení výsledků rozborů pro fosfor - výluh MEHLICH III - Orná p. (Richter a Hlušek, 2003).

P mg/kg	Stř. p.
Nízký	do 50
Vyhovující	51 - 80
Dobrý	81 - 115
Vysoký	115 - 185
Velmi vysoký	nad 185

Draslík

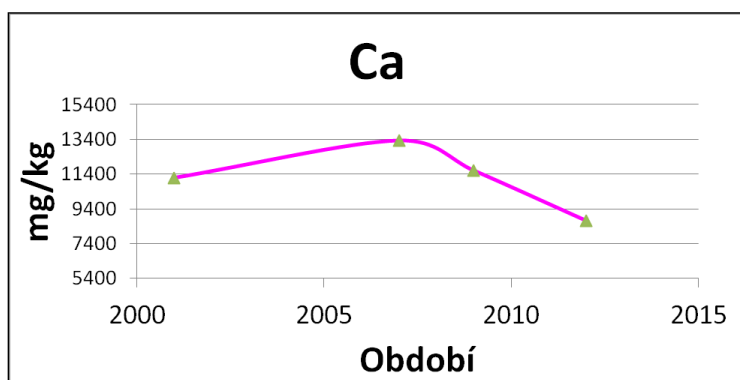


Graf. č. 2: Draslík – srovnání s výsledky ÚKZÚZ

Tab. č. 2: Kritéria hodnocení výsledků rozborů pro draslík - výluh MEHLICH III - Orná p. (Richter a Hlušek, 2003).

K mg/kg	Stř. p.
Nízký	do 105
Vyhovující	106 - 170
Dobrý	171 - 310
Vysoký	311 - 420
Velmi vysoký	nad 420

Vápník

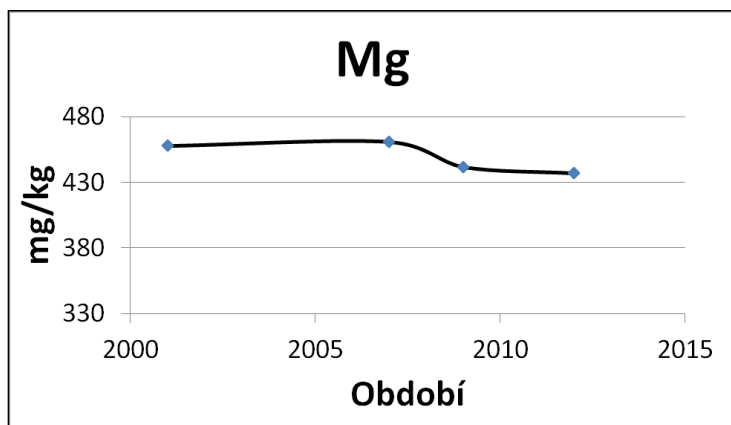


Graf. č. 3: Vápník – srovnání s výsledky ÚKZÚZ.

Tab. č. 3: Kritéria hodnocení výsledků rozborů pro vápník - výluh MEHLICH III - Orná p. (Škarpa, 2010).

Ca mg/kg	Stř. p.
Nízký	do 1100
Vyhovující	1001-2000
Dobrý	2001-3300
Vysoký	3301-5400
Velmi vysoký	nad 5400

Hořčík

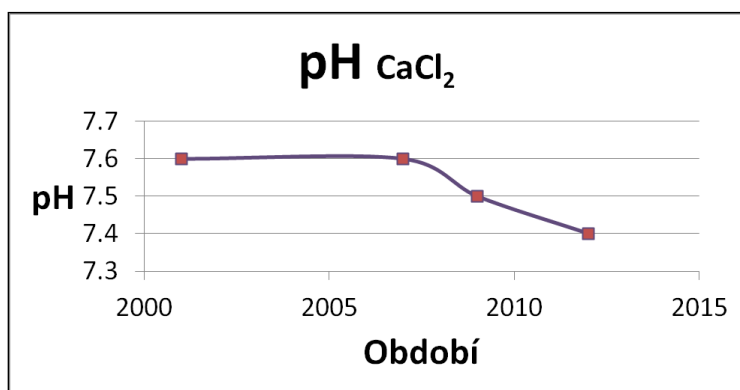


Graf. č. 4: Hořčik – srovnání s výsledky ÚKZÚZ.

Tab. č. 4: Kritéria hodnocení výsledků rozborů pro hořčik - výluh MEHLICH III - Orná p. (Richter a Hlušek, 2003).

Mg mg/kg	Stř. p.
Nízký	do 105
Vyhovující	106 - 160
Dobrý	161 - 265
Vysoký	266 - 330
Velmi vysoký	nad 330

Výměnné pH

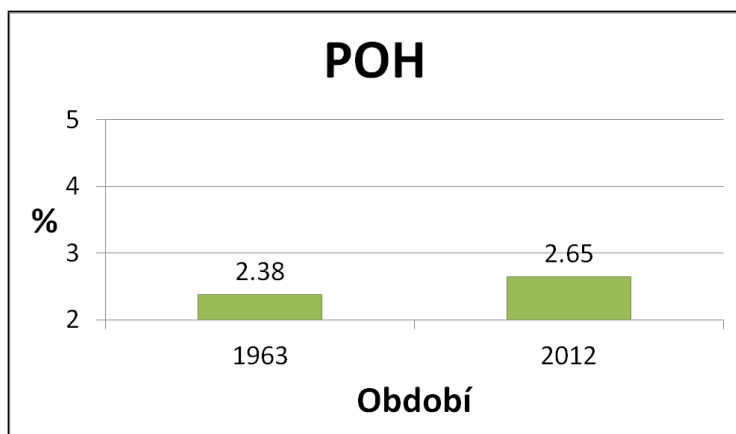


Graf. č. 5: pH CaCl₂ – srovnání s výsledky ÚKZÚZ.

Tab. č. 5: Kritéria pro hodnocení výměnné půdní reakce (Škarpa, 2010).

Hodnota pH	Hodnocení
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Půdní organická hmota

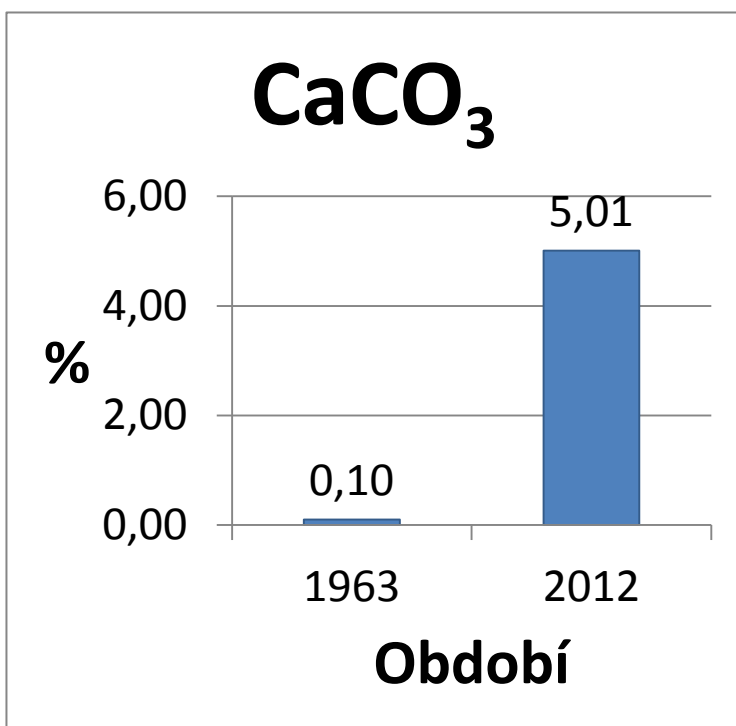


Graf. č. 6: POH – srovnání s výsledky KPP (Hk:Fk pro r. 2012 = 1,23).

Tab. č. 6: Kritéria pro hodnocení obsahu humusu (Jandák, 2004).

Půdy	Obsah humusu (%)	
	lehké	střední a těžké
Bezhumózní	0	0
Slabě humózní	pod 1	pod 2
Středně humózní	1 - 2	2 - 5
Silně humózní	nad 2	nad 5

Karbonáty



Graf. č. 7: Karbonáty – srovnání s výsledky KPP.

DISKUZE

Výsledky analýzy dostupných živin v půdě – K, P, Mg a Ca se pohybují v uspokojivých hodnotách – hořčík i vápník se pohybují ve škále zastoupení „velmi vysoký“, draslík kolísá v rozmezí „dobrý“ až „vysoký“, pouze fosfor se nachází v hodnotách „vyhovující“. Relativně malý obsah mobilního fosforu v takto jinak dobře hnojené půdě souvisí s naopak velmi vysokým obsahem vápníku, potažmo karbonátů CaCO_3 . V alkalickém prostředí, navíc s takto mohutným zastoupením tohoto prvku snadno imobilizuje do nerozpustných forem, je nedostupný (nebo jen velice obtížně) pro rostliny a proto se také z větší části neprojeví při analýze dostupných živin Mehlich III (Ann et al, 1999).

Hodnoty obsahu oxidovatelného uhlíku, respektive humusu – přesněji půdní organické hmoty, odpovídají hodnotám zemědělsky obhospodařovaných půd na černozemích – obsah nižší, nežli původní/potenciální (Němeček, 1990), avšak stále v uspokojivém rozmezí „středně humózních“ půd. Výsledky dokonce v porovnání s výsledky KPP naznačují za posledních 50 let nárůst o cca 0,3 %, ovšem nejedná se o statisticky průkazný nárůst. Navíc kvalita humusu měřená poměrem Hk:Fk je 1,28 - tedy pod minimální hranicí 1,5; u černozemí navíc původně uváděnou v rozmezí 2 – 3 (Němeček, 1990).

Výměnné pH se pohybovalo prakticky u všech sledovaných pozemku v alkalické části stupnice, a pokles o 0,2 stupně pH viditelný v grafu není tedy statisticky významný. Navíc by pokles pH nekoreloval s dlouhodobým nárůstem obsahu karbonátů v ornici.

Asi nejzajímavějším srovnáním v této práci je porovnání obsahu karbonátů v ornici dnes a během KPP před asi 50 lety. Zde vidíme nárůst z hodnoty 0,1 na 5 %. Karbonáty přitom bývají často v povrchových horizontech běžně vyluhované, tedy karbonátů prosté, zejména díky acidifikaci z hnojiv, případně srážek (zejména v minulosti). Opačný trend – tedy vzrůstající množství karbonátů v ornici je možná na jednu stranu z mnoha důvodů příznivý, ovšem poukazuje na mnohem závažnější problém většiny zorněných půd v ČR – erozi půdy. Jakmile ztráta půdy začne převyšovat její genezi, nastane snižování půdního profilu a povrchové horizonty (ornice) se začnou jak fyzicky a následně i svými vlastnostmi přibližovat matečnému substrátu. V našem případě mluvíme o spraši – vápnitým materiálu, bohatém na karbonáty. Po erozi dostatečného množství úrodné ornice se začnou obnažovat podpovrchové horizonty, z nichž doposud nebyly vymyty karbonáty a do kterých je navíc následně přiorávána spraš (Sobocká 2003, Fulajtár 1999). O erozi a spraši „prosakující“ na povrch se lze také přesvědčit na satelitních snímcích a často i při pohledu na zemědělskou krajinu po sklizni přímo na místě.

Lze tedy konstatovat, že zorněné černozemě v okolí Hustopečí jsou dobře zásobené živinami, mají zásadité pH a obsahují předpokládané množství humusu. Lze však předpokládat, že s postupující erozí bude půda z humózního horizontu ubývat až do té míry, že na většině polí zůstane pouze spraš, na které bude orbou a hnojením vytvořený orniční horizont. Jeden takovýto případ byl během odběru vzorků již pozorován. V takovémto případě se již samozřejmě nejedná o půdní typ černozem, nýbrž regozem (přetvořenou z černozemě díky erozi). A takovéto půdy se již nebudou moci srovnávat ani se současnými černozeměmi v žádném ohledu a nebudou poskytovat takové podmínky k růstu rostlinám a tím pádem ani současné produkce plodin na nich hospodařícím zemědělcům.

ZÁVĚR

Obsah dostupných živin v půdě nenaznačuje výraznější nedostatky vzhledem k výživě rostlin. Koncentrace základních sledovaných živin se většinou pohybuje v tabulkově nadstandardních hodnotách, pouze fosfor se v posledních cca 13 sledovaných letech pohybuje v rozmezí „vyhovující“. Obsah půdní organické hmoty odpovídá zemědělsky obhospodařované půdě na černozemi, dokonce je zde náznak progresivního trendu, avšak poměr Hk:Fk je pod hranicí 1,5.

Za pozornost ovšem stojí abnormálně vysoký obsah karbonátů CaCO_3 (jež jsou běžně v orniční vrstvě vyluhované) a s nimi spojený, tabulkově „velmi vysoký“ obsah vápníku. Tento na první pohled velice pozitivní fakt je však způsoben závažným problémem zemědělských půd (postihující většinu zemědělsky využívané půdy v ČR) – eroze půdy. Intenzivním odnosem a smyvem povrchových vrstev půdy se orniční horizont (Ap) dlouhodobě přibližuje půdotvornému substrátu – spraši (C_K). V některých lokalitách se dokonce nacházela pouze spraš a nad ní ornice s ostrým přechodem. Takto se substrát přiorává do ornice, jež je následně výrazně obohacena o karbonáty, potažmo samotný vápník. Eroze půdy je taktéž dobře patrná na satelitních snímcích.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen grantem IGA AF MENDELU Brno číslo TP6/2013.

LITERÁRNÍ PŘEHLED

- ANN Y., REDDY K.R., DELFINO J.J., 1999: Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. In *Ecological Engineering*, roč. 14, č. 1-2, str. 157-167, ISSN: 0925-8574, dostupné na WWW: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857499000269>].
- FULAJTÁR, E., 1999: Vplyv človeka na pôdny kryt sprašových pahorkatén juhozápadného Slovenska. In: Zborník sem. Antropizácia pôd, VÚPOP Bratislava, s. 72-78.
- JANDÁK J. et al., 2003: *Cvičení z půdoznalství*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN: 80-7157-733-2
- ŠKARPA P., 2010: *Laboratorní výuka z výživy rostlin - multimediální učební texty*. Dostupné na WWW: [http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/] Datum poslení aktualizace stránky: 26. 01. 2010
- NĚMEČEK J. et. al, 1964: Komplexní průzkum půd ČSSR – průvodní zpráva okresu Břeclav. Expediční skupina pro průzkum půd – Praha, pobočka Brno, Ústav geodézie a kartografie Brno
- NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M., 1990: *Pedologie a pale-pedologie*. Československá akademie věd, Academia Praha, ISBN: 80-200-0153-0.
- RICHTER R., HLUŠEK J., 2003: *Půdní úrodnost*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha
- SOBOCKÁ, J. 2003: Water Erosion Processes Identification in Soil Profile. In: *Aspects of the Erosion by Water in Austria, Hungary and Slovakia*. VÚPOP Bratislava, SPS, pp.119-135.

SÚČASNÝ STAV A VÝVOJ VLASTNOSTÍ PÔD SLOVENSKA

Jozef Kobza

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava – Regionálne pracovisko Banská Bystrica, e-mail: j.kobza@vupop.sk

Abstrakt

V príspevku je hodnotený vývoj vlastností pôd Slovenska podľa konkrétnych ohrození pôd (acidifikácia, salinizácia a sodifikácia, kontaminácia pôdy, kvantitatívne a kvalitatívne zloženie pôdnej organickej hmoty, kompakcia a erózia pôdy). Boli sledované a hodnotené základné vlastnosti pôd (pH, výmenný Al, elektrická vodivosť- E_{Ce}, obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe (ESP), celkový obsah solí, C_{ox}, C_{HK}/C_{FK}, N_t, fyzikálne vlastnosti – objemová hmotnosť, porovitosť, ako aj rizikové prvky v zmysle zbierky zákonov MPRV SR č. 59/2013 (v nadväznosti na predchádzajúci zákon MPSR z roku 2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy). Boli použité jednotné analytické metódy podľa Kolektív (2011).

Počas sledovaného obdobia bol zistený mierny úbytok pôdneho humusu, pričom v poslednom období dochádza k jeho určitej stabilizácii až miernemu nárastu. Zreteľné sú procesy kompakcie a erózie pôd. Nedošlo však k preukaznej zmene v obsahu rizikových prvkov, a to ani v priemyselných oblastiach, kde sa emisná situácia predsa len za posledných 20 rokov zlepšila.

Kľúčové slová: monitoring pôd, kontaminácia pôd, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia pôd, pôdna organická hmota, kompakcia a erózia pôdy

Abstract

Development of soil properties in Slovakia according to main threats to soil (contamination, acidification, salinization and sodification, decline in soil organic matter, soil compaction and erosion) is evaluated in this contribution. The basic soil properties (pH, exchangeable Al, electrical conductivity - E_{Ce}, exchangeable sodium percentage (ESP), total content of salts, C_{ox}, C_{HA}/C_{FA}, N_t, physical properties - bulk density, porosity, as well as risk trace elements according to Act 220/2004 Z.z. and latest version of MPRV SR No 59/2013 have been measured and evaluated. The unified chemical and physical procedures were used according to work by Kolektív (2011).

It was determined slight decrease of soil organic matter with its stabilization, resp. slight increasing during last period. In addition, the processes of soil compaction and erosion are significant. On the other hand, the content of risk trace elements in soil is practically without significant change also in industrial areas where emission situation has been improved during last 20 years.

Key words: soil monitoring, soil contamination, acidification, salinization and sodification, soil organic matter, soil compaction and erosion.

Úvod

Pôdy – individuálne jednotky pôdneho pokryvu – sú variabilné polychrónne a polygenetické útvary s veľkou schopnosťou odrazu (v zmysle teórie odrazu). Sú výsledkom dlhodobého vývoja a genézy. Počas tohto vývoja nadobudli určité znaky a vlastnosti, ktoré sú pre konkrétne pôdy viac alebo menej charakteristické, pričom tento ich „prirodzený“ vývoj stále prebieha.

Viac charakteristické znaky a vlastnosti sa dotýkajú tých pôd, ktoré vo svojom vývoji dosiahli štádium klimaxu, ich ďalší vývoj je značne pomalý. V zmysle moderných teórií vývoja otvorených systémov treba klimaxové štádium vo vývoji pôd chápať ako fázu dosiahnutia dynamickej rovnováhy, pri ktorej každý pôdny predstaviteľ získava aj vlastnosť invariančnosti – t.j. stability niektorých vlastností i napriek zmenám, ktorými táto pôda prechádza.

Menej charakteristické znaky a vlastnosti súvisia s recentným až subrecentným vývojom pôd. Za takéto môžeme vo všeobecnosti pokladať iba tie pôdy alebo časti ich profilu, ktoré sú výsledkom pôsobenia takej interakcie pôdnych faktorov, ktorá je v určitej lokalite a časovo nadväzná na súčasnú. Pojem recentná pôda musíme vzťahovať na konkrétnu lokalitu i taxón klasifikácie pôd, pretože rôzne typy pôd reagujú svojím vývojom na meniace sa interakcie pôdotvorných faktorov rôzne (Kobza, 2012).

Okrem prirodzeného vývoja pôd, kedy pôdy nadobúdajú určité vlastnosti, k uvedeným vývojovým tendenciám pristupuje navyše aj vplyv človeka, teda predovšetkým vplyv rôzneho hospodárskeho využívania a technológií, ktorý viac alebo menej rušivo zasahuje do prirodzeného vývoja pôd a zároveň viac alebo menej ovplyvňuje ich vlastnosti. I keď vplyv človeka na pôdu je pomerne starého dáta (prvé poľnohospodárske ekumény vznikli ešte koncom atlantika a začiatkom subboreálu – t.j. asi pred 5000 rokmi), výraznejšie sa začal prejavovať až v poslednom storočí (najmä formou intenzívnej poľnohospodárskej a priemyselnej činnosti). Tento vplyv človeka sa môže prejavovať v kladnom, ale i v negatívnom zmysle a často ovplyvňuje prirodzený vývoj pôd a ich vlastností aspoň v časti ich profilu. Výsledkom takéhoto antropogénneho pôsobenia je často zmena prirodzených vlastností pôd, v ojedinelých prípadoch môže dôjsť i k pretvoreniu pôd. Antropogenezáciou pôd sú výraznejšie ovplyvňované vrchné orníčné a podorníčné vrstvy, spodné si dlho udržiavajú pôvodné vlastnosti podmienené prirodzeným vývojom. Samozrejme umelo vytvorené pôdy a sedimenty človekom predstavujú osobitnú kapitolu.

V tomto príspevku sa venujeme vývoju vlastností pôd od roku 1993 (20. výročie realizácie monitoringu pôd v SR) na základe dosiahnutých výsledkov celoslovenského monitoringu pôd. Ide o obdobie 2 dekád, za ktoré možno pozorovať už určité zmeny vo využívaní pôdneho fondu. Všeobecne sa znížili úrody poľnohospodárskych plodín (v porovnaní s obdobím pred rokom 1993) pri obmedzení nákladov vstupov do pôdy, narušili sa pôvodné oševné postupy, zvyšuje sa plocha pestovaných plodín v monokultúre, pribúda spustnutých pôd (do 500 tis.ha), ktoré sa v minulosti prevažne poľnohospodársky využívali, pestujú sa energetické dreviny na ornej pôde, budujú sa slnečné kolektory, veterné elektrárne, poľnohospodárska pôda, často úrodná sa neustále zaberá (v súčasnosti priemerne na Slovensku do 10 ha denne, ak tento trend bude takto naďalej postupovať, cca za 500-600 rokov môžeme prísť o všetku poľnohospodársku pôdu a potom už nebudeme mať čo chrániť ani využívať, čo je vážne memento pre nás všetkých). Uvedené skutočnosti navyše ovplyvňuje globálna klimatická zmena, čo sa prejavuje v nevyváženom režime sucha a vlhka. Výsledkom takýchto rýchlych zmien hospodárskeho využívania pôdy sa prejavuje vo forme tzv. fenoménov, ktoré môžu byť na prvý pohľad vizuálne pozorovateľné, ale vo väčšej miere

sú voľným okom nepozorovateľné a dajú sa identifikovať len laboratórne prostredníctvom vykonaných analýz.

Materiál a metódy

V príspevku sme vychádzali z podkladov permanentného systému monitorovania pôd na Slovensku. Boli sledované a hodnotené základné parametre vlastností pôd, ktoré sa vzťahujú ku konkrétnym ohrozeniam pôdy (acidifikácia, salinizácia a sodifikácia, kontaminácia, pôdna organická hmota, kompakcia a erózia pôd). Analýzy boli vykonané na pracovisku laboratórnych činností pri VÚPOP v Bratislave podľa jednotných pracovných postupov rozborov pôd (Kolektív, 2011). Dosiagnuté výsledky boli spracované a vyhodnotené podľa zaužívaných štatistických postupov.

Výsledky a diskusia

Acidifikácia pôd

Tieto fenomény sa výraznejšie neprejavujú v morfológii pôd, prejavujú sa v zmene niektorých chemických vlastností, ako je zníženie hodnoty pôdnej reakcie, zvýšenie hodnoty aktívneho hliníka i v zmenách kationovej výmennej kapacity. Náchylnejšie na tieto fenomény sú kyslé pôdy na kyslých substrátoch (najmä kyslé kambizeme, podzoly a rankre podzolové), najmenej náchylné sú humózne a karbonátové pôdy (niektoré modálne rendziny, černozeme a čiernice karbonátové). Na základe našich doterajších zistení tvorba týchto fenoménov prebieha len veľmi pozvoľne, avšak pri prerušení antropogénnej záťaže sa stávajú prakticky neidentifikovateľné.

Salinizácia a sodifikácia pôd

Pri salinizácii ide o proces akumulácie neutrálnych sodných solí v pôde, sodifikácia je proces viazania výmenného sodíka na sorpčný komplex pôd. Nami doteraz získané poznatky z vývoja vlastností soľných pôd potvrdzujú súčasne prebiehajúce procesy salinizácie a sodifikácie, pričom sa ukazuje, že proces sodifikácie je v našich podmienkach dominantný. Indikátorom procesu sodifikácie je obsah výmenného sodíka v sorpčnom komplexe (ESP) a jednak pôdna reakcia (Valla a kol., 1983, Sotáková, 1998). Vo všeobecnosti ide o procesy zasolovania, ktoré v našich podmienkach nie sú veľmi rozšírené (vzťahujú sa len na teplé oblasti s prevládajúcim výparným režimom pôd, na rovinných prvkoch reliéfu s vysokou hladinou silne mineralizovanej podzemnej vody). V minulosti sa mnohé z týchto pôd využívali ako orné pôdy, ktoré sa zúrodňovali aplikáciou sádry (síran vápenatý, CaSO_4). V súčasnosti sú to pôdy prevažne opustené pod porastom trávnych spoločenstiev, často značne zaburinených s prevahou chalkofilnej vegetácie, kde sa tieto zúrodňovacie opatrenia prakticky už nerealizujú. V súčasnosti evidujeme u nás do 5 tis. ha zasolených pôd (0,2% poľnohospodárskeho pôdneho fondu).

Obr. 2 Zasolená pôda na Východoslovenskej nížine (v súčasnosti opustená pôda)



Foto: J. Kobza

Kontaminácia pôdy

Vývoj kontaminácie pôd po roku 1993 je len veľmi pozvoľný bez výraznejších zmien, treba však jedným dychom dodať, že tie pôdy, ktoré boli už v minulosti kontaminované, sú kontaminované aj v súčasnosti. To je zásadný rozdiel od ostatných zložiek prírodného prostredia (napr. ovzdušie, voda), kde je často ich hygienický stav v súčasnosti už vyhovujúci, v pôdach nepriaznivý stav pretrváva oveľa dlhšie. Je preto veľmi dôležité znečisťovaniu pôd predchádzať, pretože ozdravenie pôd je dlhodobý a finančne nákladný proces, nehovoriac o kvalite rastlinnej produkcie. Treba však zdôrazniť, že výrazne prevládajúca časť našich poľnohospodárskych pôd je hygienicky nezávadná (takmer 99% poľnohospodárskeho pôdneho fondu). Zostávajúca časť kontaminovaných pôd je viazaná prevažne na oblasti priemyselnej činnosti a jej najmä staré záťaže a oblasti vplyvu tzv. geochemických anomálií (najmä niektoré horské a podhorské oblasti prevažne pod extenzívnymi trávnyimi porastami a lesmi).

Pôdna organická hmota (POH)

Treba si uvedomiť, že množstvo humusu v pôdach je do značnej miery podmienené genézou pôd.

Obr. 1 Priestorová heterogenita pôd s rozdielnym obsahom humusu ako odraz ich genézy



Foto: J. Kobza

Na uvedenom obrázku je vidieť značnú priestorovú heterogenitu pôdneho humusu v rámci jednej parcely, čo nie je spôsobené rozdielnou úrovňou kultivácie, ale práve genézou pôdy. Preto je aj obsah humusu a jeho vývoj na rôznych pôdach rozdielny i keď samozrejme je možné na orných pôdach kultiváciou (najmä prísunom kvalitných organických hnojív – aspoň 1-ročne vyzretého maštalného hnoja a osevných postupov so zastúpením najmä hlbokokoreniacich plodín) priaznivo ovplyvniť.

Na základe našich doterajších zistení priemerné hodnoty pôdneho organického uhlíka v orných pôdach Slovenska sa pohybujú v rozpätí 1 – 2,5%, čo v prepočte na humus predstavuje mierne až dobre humózne pôdy. Najnižšie hodnoty sú charakteristické pre regozeme, najvyššie pre čiernice. Obsah humusu sa po miernom znížení na orných pôdach po roku 1993 v poslednom období do určitej miery stabilizoval, ba na niektorých pôdach došlo i k jeho miernemu zvýšeniu (najmä na čierniciach, ako aj na fluvizemiach).

V kvalitatívnych parametroch obsahu humusu sme po roku 1993 nezistili výraznejšie zmeny. Nedošlo teda ku zhoršeniu kvality pôdneho humusu. Totiž sledované a hodnotené kvalitatívne parametre pôdneho humusu sa udržiavajú v rozmedziach charakteristických pre danú pôdu (pôdny typ), čo platí aj pre chemickú štruktúru humínových kyselín (HK) limitovaných genézou konkrétnych pôd.

Kompakcia pôdy

Z hľadiska pôvodu môže byť kompakcia v zásade primárna (podmienená prirodzenými vlastnosťami pôdy – napr. hlinito-ílovité až ílovité pôdy) a sekundárna (vplyv človeka), najmä prejazdy ťažkých mechanizmov, ktorá je dynamickejšia a často vratná, a teda aj obtiažne mapovateľná, pretože prakticky každým rokom mení parametre kompaktie. V praxi sa často vyskytuje ich kombinácia. Čo sa týka sekundárnej kompaktie, tento jav je typický všade tam, kde sa používa ťažká mechanizácia, najmä pri nevhodnej vlhkosti pôdy (optimálna vlhkosť pôdy pre obhospodarovanie sa pohybuje v rozpätí 25-30%), prípadne tam, kde sa dlhodobo nemení hĺbka orby, čím vzniká tzv. podorničná podlaha. Na Slovensku

vidujeme aktuálne 200 tis. ha zhutnených pôd a 500 tis. ha potenciálne zhutnených pôd. Kompakcia ako primárna, tak aj sekundárna znižuje infiltráciu zrážkovej vody, čo má za následok nielen zvýšenie povrchového odtoku a eróziu pôdy, ale najmä progresívnu tendenciu negatívnej bilancie vody v pôde.

Erózia pôdy

Erózia pôdy je ireverzibilný (nevratný) proces, pri ktorom dochádza k odnosu a usadzovaniu pôdných častíc. V stredoeurópskych pôdno-klimatických podmienkach prevláda erózia pôdy, ktorá je spôsobená kinetickou energiou dažďa a povrchovým odtokom zrážkových vôd (vodná erózia). Ide o veľmi závažný proces s trvalou degradáciou pôdy, negatívny vplyv erózie pôdy sa môže prejavovať zmenami reliéfu krajiny, eutrofizáciou vodných plôch, kontamináciou pôd, zanášaním vodných zdrojov splaveninami a pod. Na Slovensku je potenciálne ohrozených asi 43 % aktuálnej výmery poľnohospodárskych pôd eróziou, čo činí v plošnom vyjadrení 1 034 567 ha. Ide u nás o plošne najrozšírenejšie ohrozenie pôd. Spôsob ochrany spočíva v protieróznej agrotechnike, osevných postupoch, ako aj v protieróznom usporiadaní pôdneho fondu.

Záver

Vývoj vlastností pôd odzrkadľuje jednak ich genézu, ako aj ich spôsob obhospodarovania a využívania. Najmä po 2. svetovej vojne nastal v našich podmienkach silný industrializačný efekt, ako aj postupná intenzifikácia poľnohospodárskej výroby spojená so sceľovaním pozemkov, nastal silný boom vo výrobe a aplikácii priemyselných hnojív a vápenatých hmôt. Obdobie po roku 1993 je charakterizované postupnou konverziou priemyselnej výroby, znižovania emisií, taktiež sa však výrazne znížili dávky priemyselných hnojív i vápenatých hmôt, narušila sa aj koncepcia štruktúry osevu, zvýšili sa plochy monokultúr a pod. Tieto skutočnosti sa prejavili aj pri sledovaní a hodnotení vývoja vlastností pôd. Plošne najvýraznejším ohrozením poľnohospodárskych pôd na Slovensku sa stáva erózia a kompakcia, znížil sa obsah prístupných živín v pôde (v priemere o 10-30%, pri fosfore i viac), po počiatočnom znížení pôdneho humusu dochádza v poslednom období k jeho stagnácii, na niektorých pôdach dokonca i k jeho miernemu zvýšeniu (najmä na čierniciach, ako aj na fluvizemiach). V kvalitatívnych parametroch pôdneho humusu neboli doteraz zistené preukazné zmeny. Na kyslých pôdach v dôsledku chýbajúceho vápnenia dochádza k postupnému zakysľovaniu pôd. Proces zasoľovania pôd je málo výrazný, viaže sa len na najteplejšie oblasti Slovenska s prevahou výparného režimu nad zrážkami, na rovinatých prvkoch reliéfu s vyššou hladinou podzemnej vody, ktorá je navyše silne mineralizovaná. Obsah rizikových prvkov v pôdach sa výrazne od roku 1993 neznížil, a to ani v priemyselných oblastiach, kde sa emisná situácia preda len za posledných 20 rokov zlepšila, a preto ich bude potrebné i v budúcnosti neustále monitorovať.

Literatúra

KOBZA, J. 2012. Vývoj vlastností pôd na Slovensku v zmenených spoločensko-ekonomických podmienkach po roku 1990. Ved. práce VUPOP Bratislava, č. 34, s. 43-50. ISBN 978-80-89128-98-3.

- KOLEKTÍV, 2011. Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. VUPOP Bratislava, 2011, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.
- MPSR, 2004. Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Príloha č. 2 pod čiastkou 96 zo dňa 28.4.2004.
- MPRV SR, 2013. Zbierka zákonov č. 59/2013. Vyhláška MPRV SR z 11. marca 2013, čiastka 16, s. 567-573. (limity).
- SOTÁKOVÁ, S. 1988. Návod na cvičenia z geológie a pôdoznanectva. Príroda Bratislava
- VALLA, M., KOZÁK, J., DRBAL, J. 1983 Cvičení z půdoznalství II. SPN Praha

VÝVOJ VLASTNOSTÍ ŤAŽKÝCH PŮD PRI ROZDIELNEJ AGROTECHNIKE

THE DEVELOPMENT OF HEAVY SOILS PROPERTIES AT DIFFERENT AGRO-TECHNOLOGY

Dana KOTOROVÁ – Božena ŠOLTYSOVÁ
CVRV – Výskumný ústav agroekológie Michalovce

ABSTRAKT

Na Východoslovenskej nížine sa v rokoch 2006 – 2009 sledovali zmeny vybraných fyzikálnych a chemických parametrov ťažkej ílovito-hlinitej fluvizeme glejovej. Pôdne vzorky boli odoberané v jarnom období z hĺbky 0,00 – 0,45 m z každého 0,15 m v prirodzených podmienkach bez závlahy. Z obrábania sa realizovala konvenčná agrotechnika, minimálna agrotechnika a priama sejba bez orby. Objemová hmotnosť, celková pórovitosť, maximálna kapilárna kapacita, obsah celkového dusíka a obsah pôdneho organického uhlíka sa stanovili známymi metodickými postupmi. Použité technológie obrábania pôdy spolu s poveternostnými podmienkami experimentálneho roka štatisticky významne vplývali na sledované fyzikálne vlastnosti fluvizeme glejovej. V priemere najnižšia objemová hmotnosť a najvyššia celková pórovitosť bola na variante s minimálnou agrotechnikou. Hodnoty maximálnej kapilárnej kapacity boli na všetkých variantoch obrábania pôdy a v celom odbernom profile na úrovni charakteristickej pre ílovito-hlinité fluvizeme glejové. Rozdielne obrábanie pôdy ovplyvňuje rýchlosť rozkladu pôdnej organickej hmoty a následne obsah organického uhlíka a celkového dusíka v pôde. V hodnotenom časovom období boli preukazne vyššie obsahy pôdneho organického uhlíka a totálneho dusíka zistené pri pôdoochranných technológiách v porovnaní s konvenčným obrábaním pôdy. Množstvo pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka výrazne ovplyvňuje štruktúra osevného postupu. Pri hodnotených spôsoboch obrábania bol časový priebeh zmien uvedených parametrov pôdy podobný. Medzi východiskovým stavom a konečným stavom bol pri všetkých troch spôsoboch obrábania zaznamenaný štatisticky preukazný pokles pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka.

Kľúčové slová: fluvizem glejová, obrábanie pôdy, fyzikálno-chemické parametre pôdy

ABSTRACT

On the East Slovak Lowland between 2006 and 2009 years the changes of selected physical and chemical parameters of heavy clay-loamy soil of Gleyic Fluvisol were observed. Soil samples were taken in spring from depth 0.00 – 0.45 m, from each 0.15 m, in natural conditions without irrigation. The conventional tillage, minimum tillage and direct sowing without ploughing (no-till) were realized. Bulk density, total porosity, maximum capillary capacity, content of total nitrogen and soil organic carbon were analysed by well-known methodical methods. Used soil tillage technologies together with meteorological conditions of experimental year had statistically significant effect on observed physical properties of Gleyic Fluvisol. In average the lowest bulk density and the highest total porosity were determined for variant with minimum tillage. For all tillage variants and whole sampling profile the values of maximum capillary capacity were on characteristic level for clay-loamy Gleyic Fluvisol. Different tillage has the influence on the rate of soil organic matter decomposition and subsequently the content of organic carbon and total nitrogen in soil. In evaluated space of

time the significantly higher content of soil organic carbon and total nitrogen were ascertained for soil protective technologies in comparison with conventional soil tillage. The structure of crop rotation has the significantly effect on amount of soil organic carbon and total nitrogen. For all valued tillage technologies the time course of changes of these soil parameters was similar. Between starting state and ending state for all three tillage technologies statistically significant decrease of soil organic carbon and total nitrogen was determined.

Key words: Gleyic Fluvisol, soil tillage, physico-chemical parameter of soil

ÚVOD

Jednou z významných a dôležitých poľnohospodársky produkčných oblastí Slovenska je Východoslovenská nížina (VSN), pre ktorú je charakteristická výrazná vertikálna i horizontálna heterogenita pôdneho profilu, striedanie pôdnych druhov na krátkych vzdialenostiach a vysoké percento stredne ťažkých a ťažkých pôd s prevládajúcimi glejovými procesmi. Podľa Vilčeka (2005) je takýchto pôd až 65 %, čo spolu so špecifickým priebehom poveternostných podmienok sťažuje hospodárenie na pôde.

Pôda je vo všeobecnosti chápaná ako veľmi zložitý komplex. Rozdielne technologické postupy a systémy obrábania pôdy prispievajú k zmene vlastností pôdneho prostredia, a teda sú aj príčinou zmien jej základných vlastností. Na zmeny vlastností sú vo všeobecnosti náchylnejšie menej kvalitné pôdy, ku ktorým patria aj pôdy ťažké s vyšším obsahom ílovitých častíc. Pôdne vlastnosti sú ovplyvňované mnohými faktormi, ku ktorým patrí priebeh pôdotvorného procesu, poveternostné faktory, či spôsob hospodárenia na pôde. Pre podmienky Slovenska je príznačná konvenčná príprava pôdy s orbou, ktorá významne vplyva na pôdne vlastnosti. Nezanedbateľným vo vzťahu k pôdnym vlastnostiam je aj výber osevného postupu a realizované hnojenie plodín (Vjatráková et al., 2002). Priaznivé fyzikálne vlastnosti pôdy sa v súčasnej dobe stávajú cieľom, ku ktorému majú smerovať agrotechnické opatrenia, pretože ich zhoršenie sa nepriaznivo odráža ako na produkcii pestovaných plodín, tak aj na ekonomike.

Podľa Kováča et al. (2010) cieľom obrábania pôdy je vytvoriť podmienky pre vysoko efektívnu úrodnosť pôdy, efektívnosť hnojenia a výživy, striedania plodín a i. Úlohou obrábania je vytvoriť v pôde priaznivý štruktúrny stav, ktorý by sa vyznačoval vodostálymi agregátmi, priepustnosťou ornice a podornice pre korene a schopnosťou viesť vodu a vzduch v aktívnom profile pôdy. V udržateľných systémoch Lacko-Bartošová et al. (2005) za základné ciele obrábania pôdy považuje obmedzenie zhutnenia pôdy. Každá pestovaná plodina však reaguje na jednotlivé spôsoby obrábania pôdy rôzne. Z tohto dôvodu sa tieto spôsoby využívajú v rozličných kombináciách v závislosti na pôdnych podmienkach, klimatických pomeroch, systéme hospodárenia na pôde, na úrovni agrotechniky i mechanizačnom vybavení.

Podľa viacerých autorov, ako sú Gomez et al. (2001), Husnjak et al. (2002), Kováč a Švančárková (2003), Žák et al. (2006a, 2006b), Macák et al. (2008), Horák et al. (2009) a ďalší, budú ďalšie uplatňovanie minimalizačných ochranných systémov obrábania ovplyvňovať najmä výhody oproti doteraz používanému konvenčnému systému obrábania pôdy. V prípade pôdoochranných technológií si podľa autorov zvláštnu pozornosť vyžaduje voľba predplodiny, hnojenie, stav pôdy a povrchu poľa a ošetrovanie pôdy po sejbe.

Pôdna organická hmota je považovaná za hlavný indikátor pri hodnotení pôdnej kvality. Z hľadiska zachovania pôdnej úrodnosti je dôležité udržať vyrovnanú bilanciu pôdnej

organickej hmoty, teda dosiahnuť, aby straty pôdnej organickej hmoty, ku ktorým dochádza v procesoch rozkladu, mineralizácie a humifikácie organických látok v pôde boli plne nahradzované vstupmi čerstvej organickej hmoty do pôdy (Kucharovic, Kováč, 2003; Torma, Halas, 2004; Šoltysová, Danilovič, 2008).

Súčasný vstup organických látok do našich pôd sú však nízke a preto existuje značná rezerva v technológiách prípravy pôdy, ich minimalizácii a tým aj v znížení rýchlosti rozkladu pôdnej organickej hmoty (Zaujec, 2003). Zvýšenie pôdnej organickej hmoty pri priamej sejbe v porovnaní s konvenčným obrábaním zaznamenali Šimanský et al. (2007) a López-Fando, Pardo (2009) a celkového dusíka Dou et al. (2008).

Pri obsahu pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka sa prejavuje vertikálna variabilita. V dôsledku vyšších vstupov organického uhlíka v povrchovej vrstve sa množstvo organického uhlíka a celkového dusíka znižuje s pôdnou hĺbkou. Pokles pôdneho organického uhlíka s nárastom pôdnej hĺbky zistili Malo et al. (2005) a celkového dusíka Jokela et al. (2009).

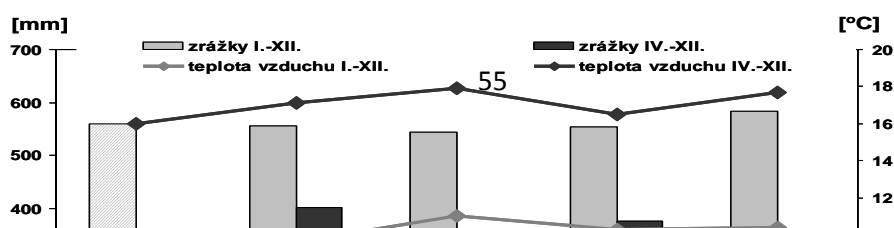
Obsah celkového dusíka úzko súvisí s obsahom pôdnej organickej hmoty. Kováč, Lehotská a Žák (2004) a Barančíková (2005) zaznamenali štatisticky významné závislosti medzi obsahom pôdnej organickej hmoty a celkového dusíka.

Okrem množstva pôdnej organickej hmoty je dôležitá aj jej kvalita, ktorá sa najčastejšie posudzuje na základe obsahu humusových látok a pomeru medzi organickým uhlíkom a totálnym dusíkom v pôde. Pomer organického uhlíka k totálnemu dusíku nie je závislý od spôsobu obrábania pôdy (Marriott, Wander, 2006; Mati, Kotorová, Šoltysová, 2010; Šoltysová, Danilovič, 2010).

Cieľom práce bolo zhodnotiť zmeny vybraných fyzikálnych a chemických vlastností ťažkej ílovito-hlinitkej fluvizeme glejovej na Východoslovenskej nížine vplyvom rozdielnych technológií obrábania.

MATERIÁL A METÓDY

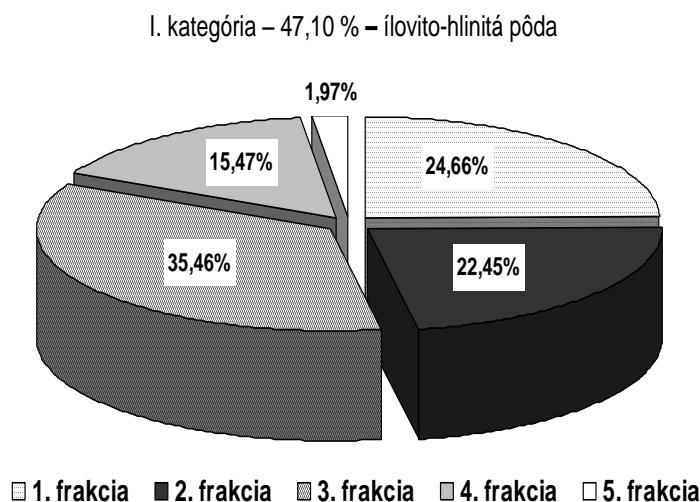
Výskum zmien pôdnych vlastností ílovito-hlinitkej fluvizeme glejovej vplyvom rozdielneho obrábania sa realizoval v rokoch 2006 – 2009 v poľnom stacionárnom pokuse. Experimentálne pracovisko CVRV – Výskumného ústavu agroekológie Michalovce sa nachádza v Milhostove v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny (VSN) v nadmorskej výške 101 m, s. š. 48°40', v. d. 22°09'. Pokusná lokalita patrí do teplého a veľmi suchého nížinného kontinentálneho klimatického regiónu T 03 (Linkeš et al., 1996). Dlhodobý priemer rokov 1961 – 1990 (Mikulová et al., 2008) pre priemernú ročnú teplotu vzduchu je 8,9 ° C a pre vegetačné obdobie 16,0 ° C. Priemerná ročná teplota vzduchu v období rokov 2006 – 2009 bola 10,3° C a priemerná teplota za vegetačné obdobie dosiahla 17,3° C, čo znamená vyššiu teplotu v sledovanom období. Dlhodobý ročný úhrn zrážok (1961 – 1990) je pre Milhostov 550 mm a pre vegetačné obdobie 348 mm (Mikulová et al., 2008). Za obdobie rokov 2006 – 2009 bol priemerný ročný úhrn zrážok 587 mm, t.j. 106,7 % dlhodobého normálu. Priemerný úhrn zrážok za vegetačné obdobie rokov 2006 – 2009 bol 390 mm, t.j. 112,1 % dlhodobého normálu. Z tohto pohľadu vegetačné obdobia i sledované roky možno v priemere charakterizovať ako zrážkovo normálne (Kožnarová, Klabzuba, 2002). Priebeh počasia v jednotlivých experimentálnych rokoch je znázornený na obr. 1.



Obr. 1 Priebeh počasia na Experimentálnom pracovisku Milhostov

Fluvizeme glejové v Milhostove sú ťažké až veľmi ťažké, ílovito-hlinité až ílovité pôdy s priemerným obsahom ílovitých častíc vyšším ako 53 %. Vznikli v dôsledku dlhodobého pôsobenia podzemnej a povrchovej vody na veľmi ťažkých aluviálnych sedimentoch s nepriaznivými fyzikálnymi, hydrofyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Ornica je hrudkovitej štruktúry s vysokou pútačou schopnosťou a je ťažko priepustná v celom profile. V pôdnom profile v hĺbke 0,7 – 0,8 m sa nachádza tmavosivý až žltosivý íl. Vysoký obsah ílovitých častíc významne ovplyvňuje ich agronomické vlastnosti. Na obr. 2 je graficky znázornené priemerné zrnitostné zloženie štyroch pokusných parcel stacionárneho pokusu, na ktorých sa realizoval výskum spôsobov obrábania pôdy a jeho vplyvu na vybrané pôdne vlastnosti.

V tabuľke 1 sú uvedené oševné postupy realizované na pokusných parcelách v poľnom stacionárnom pokuse na fluvizemi glejovej. Poľné pokusy s uvedenými plodinami boli založené v prirodzených podmienkach bez závlahy a usporiadané boli blokovou metódou s náhodným usporiadaním variantov.



Obr. 2 Priemerné zrnitostné zloženie [%] sledovaných honov FM_G v hĺbke do 0,45 m

Tabuľka 1 Osevné postupy v poľnom pokuse na fluvizemi glejovej

Rok	Označenie parcely			
	1.	2.	3.	4.
predplodina	KU	SO	PO	JJ
2006	JJ	PO	KU	SO
2007	SO	KU	JJ	PO
2008	PO	JJ	SO	KU
2009	KU	SO	PO	JJ

kde: JJ – jačmeň siaty jarný, KU – kukurica siata (na zrno), PO – pšenica letná f. ozimná, SO – sója fazuľová

V poľnom pokuse sa realizovali nasledovné varianty obrábania pôdy:

- konvenčná agrotechnika (KA) – tradičný spôsob obrábania pôdy pred sejbou, podľa požiadaviek pestovaných poľných plodín zaradených do osevného postupu, spojený s orbou,
- minimálna agrotechnika (MA) – pri príprave pôdy pred sejbou poľných plodín bol použitý namiesto pluhu radličkový podmietač,
- agrotechnika bez orby (PS) – priama sejba do neobrobenej pôdy.

Pre zistenie fyzikálnych vlastností boli pôdne vzorky odoberané v jari z hĺbky 0,00 – 0,45 m vo forme Kopeckého fyzikálnych valčekov. Z fyzikálnych charakteristík pôdy boli známymi metódami podľa Hrivňákovej, Makovníkovej et al. (2011) stanovené: objemová hmotnosť (ρ_d , kg.m⁻³), celková pórovitosť (Pc, %), maximálna kapilárna kapacita (θ_{MKK} , %).

Pre stanovenie vybraných chemických parametrov pôdy boli odobraté porušené vzorky pôdy, v ktorých bol Kjehldahlovou metódou (Hraško et al., 1962) stanovený obsah celkového dusíka (N_t, mg.kg⁻¹), Ťurinovou metódou (Hraško et al., 1962) obsah pôdneho organického uhlíka (C_{ox}, g.kg⁻¹) a humusu (Hm, g.kg⁻¹) a výpočtom pomer medzi organickým uhlíkom a celkovým dusíkom.

Štatistické testovanie experimentálnych údajov bolo robené analýzou variancie z balíka STATGRAPHICS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obrábaním pôdy sa mechanickým spôsobom menia vlastnosti ornice a v dôsledku toho sú ovplyvňované pôdne vlastnosti v podornici. Pri obrábaní pôdy dochádza k zmene vnútornej stavby pôdy, jej pórovitosti, objemovej hmotnosti, čo ďalej bezprostredne vplýva na termodynamické vlastnosti, fyzikálne, chemické a biologické procesy v pôde a pôdne režimy (Demo et al., 1995).

Špecifickým znakom pôdy sú jej fyzikálne vlastnosti, ktoré sa menia pri úprave ekologických podmienok pre pestované plodiny. K základným fyzikálnym vlastnostiam pôdy

sa zaraďuje objemová hmotnosť a celková pórovitosť, ktoré podliehajú zmenám počas roka predovšetkým v závislosti od obsahu pôdnej vlhky, agrotechnických zásahov, vplyvom poveternostných a iných činiteľov.

Najľahšie ovplyvniteľnou pôdnou vlastnosťou je objemová hmotnosť redukovaná, ktorej hodnoty sú významne ovplyvňované aj zvoleným spôsobom obrábania pôdy. V poľnom stacionárnom pokuse na fluvizemi glejovej sa v rokoch 2006 – 2009 skúmal vplyv rozdielneho obrábania pôdy na zmeny objemovej hmotnosti v ornici a podornici fluvizeme glejovej. Z údajov v tabuľke 2 vyplýva, že pri konvenčnej agrotechnike objemová hmotnosť dosahovala hodnoty 1410 – 1583 kg.m⁻³, s jej najnižšou hodnotou v roku 2006 (v hĺbke 0,30 – 0,45 m) a najvyššou v roku 2009 (v hĺbke 0,00 – 0,15 m).

Tabuľka 2 Objemová hmotnosť fluvizeme glejovej [kg.m⁻³]

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	Rok				
		2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00 – 0,15	1464	1 573	1 507	1 583	1532
	0,15 – 0,30	1431	1 508	1 487	1 495	1480
	0,30 – 0,45	1410	1 443	1 513	1 431	1449
	\bar{x}	1435	1 508	1 502	1 503	1487
MA	0,00 – 0,15	1 457	1 536	1 469	1 450	1478
	0,15 – 0,30	1 368	1 416	1 528	1 450	1441
	0,30 – 0,45	1 462	1 534	1 565	1 584	1536
	\bar{x}	1 429	1 495	1 521	1 495	1485
PS	0,00 – 0,15	1 446	1 522	1 480	1 525	1493
	0,15 – 0,30	1 446	1 543	1 478	1 558	1506
	0,30 – 0,45	1 478	1 543	1 510	1 552	1521
	\bar{x}	1 457	1 536	1 489	1 545	1507

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Na variante s minimálnou agrotechnikou hodnoty objemovej hmotnosti spadali do intervalu 1368 – 1584 kg.m⁻³, pričom najnižšia hodnota sa zistila v roku 2006 v hĺbke 0,15 – 0,30 m a najvyššia v roku 2009 v hĺbke 0,30 – 0,45 m. Podobné hodnoty objemovej hmotnosti pre ťažké pôdy VSN publikovali Kotorová so Šoltysovou (1992), Šútor et al. (1995), Kotorová (2001, 2007), Mati a Kotorová (2007), Kotorová a Mati (2008a, b) a ďalší.

Objemová hmotnosť na variante s priamou sejbou bez orby dosahovala vyššie hodnoty nachádzajúce sa v rozpätí od 1446 kg.m⁻³ (rok 2006) po 1558 kg.m⁻³ (rok 2009). Pre systémy bez orby niektorí autori, ako napr. Ledvina et al. (2004), Dam et al. (2006), Glab a Kulig (2008) či Elder a Lal (2008), zistili ešte nepriaznivejšie hodnoty.

Z výsledkov v tabuľke 2 vyplýva, že za štvorročné obdobie najpriaznivejšie hodnoty objemová hmotnosť sa zistili pre minimálne obrábanie (v priemere 1485 kg.m⁻³), pričom priemerné hodnoty objemovej hmotnosti stúpali v poradí: MA < KA < PS. Aj napriek tomu, že hodnotený časový rad bol krátky, pre pôdy s vysokým obsahom ílovitých častíc v ornici, ku ktorým patrí aj fluvizem glejová v Milhostove, sa z pohľadu zmien objemovej hmotnosti javí redukovaná agrotechnika ako najvhodnejšia.

Medznou hodnotou kritickej objemovej hmotnosti zhutnenej pôdy je podľa Líšku a kol. (2008) pre ílovito-hlinité pôdy hodnota 1400 kg.m⁻³. Objemová hmotnosť fluvizeme

glejovej prezentovaná v tabuľke 2 je pre všetky varianty obrábania pôdy a celý pôdny profil vyššia ako kritická. Na základe tejto skutočnosti je potrebné zdôrazniť, že pri nevhodných pestovateľských postupoch sa pri zhoršovaní pôdnych vlastností môže fluvizem glejová nenávratne zhutniť.

Funkciou objemovej hmotnosti je celková pórovitosť, ktorá v negatívnej korelácii korešponduje s objemovou hmotnosťou, čo znamená pri nižšej objemovej hmotnosti vyššiu pórovitosť a opačne. Pre ťažké pôdy sú charakteristické procesy napučovania a zmršťovania, ktoré významným spôsobom vplyvajú na pórovitosť a jej zmeny. Ako uvádzajú Kováč a Švančárková (2003), vyššia objemová hmotnosť mení pomer medzi vodnou a vzdušnou kapacitou v prospech vodnej kapacity, znižuje celkovú pórovitosť a zvyšuje podiel kapilárnych pórov. Kapilárne póry podmieňujú priaznivý vodný režim a zásobovanie rastlín vodou v priebehu vegetácie. Zmeny pórového priestoru v profile ťažkých pôd sú niekedy dôležitejšie ako proces naplňovania a vyprázdňovania pôdnych pórov vodou. V prípade vysušovania sa priemer pôdnych pórov ťažkých pôd znižuje, a tým sa znižuje prístup koreňov poľných plodín k pôdnej vode.

Pri konvenčnej agrotechnike sa pórovitosť nachádzala v intervale 40,06 – 46,63 %, keď jej maximálna hodnota bola zistená v roku 2006 v hĺbke 0,30 – 0,45 m a minimálna hodnota v roku 2009 v hĺbke 0,00 – 0,15 m pri najvyššej objemovej hmotnosti (tabuľka 3).

Tabuľka 3 Celková pórovitosť fluvizeme glejovej [%]

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	Rok				
		2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00 – 0,15	44,59	40,44	42,95	40,06	42,01
	0,15 – 0,30	45,82	42,92	43,71	43,39	43,96
	0,30 – 0,45	46,63	45,36	42,73	45,82	45,14
	\bar{x}	45,68	42,91	43,13	43,09	43,70
MA	0,00 – 0,15	44,85	41,85	44,38	45,08	44,04
	0,15 – 0,30	48,22	46,39	42,16	45,08	45,46
	0,30 – 0,45	44,67	41,94	40,76	40,02	41,85
	\bar{x}	45,91	43,39	42,43	43,39	43,78
PS	0,00 – 0,15	45,25	42,37	43,98	42,23	43,46
	0,15 – 0,30	45,26	41,61	44,06	41,01	42,99
	0,30 – 0,45	44,05	41,59	42,84	41,24	42,43
	\bar{x}	44,85	41,86	43,63	41,49	42,96

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Pre minimálnu agrotechniku vypočítaná pórovitosť dosahovala hodnoty 40,02 % (v roku 2009 v hĺbke 0,30 – 0,45 m) až 48,22 % (v roku 2006 v hĺbke 0,15 – 0,30 m). Pri priamej sejbe bola zistená vyššia objemová hmotnosť fluvizeme glejovej, a tak celková pórovitosť bola nižšia než pri konvenčnej a redukovanej agrotechnike. V hodnotenom časovom rade sa pórovitosť nachádzala v intervale 41,01 – 45,26 %, keď najnižšia pórovitosť bola zistená v roku 2009 v hĺbke 0,15 – 0,30 m a najvyššia v roku 2006 v tej istej hĺbke.

V priemere celého odberného pôdneho profilu pórovitosť klesala v poradí agrotechník: MA > KA > PS. Podobne aj Sasal et al. (2006) pri orbe zistili o 3,5 % vyššiu celkovú

pórovitosť než na variante bez obrábania. Ledvina et al. (2004) zase uvádzajú, pri orbe sa dá predpokladať lepšia štruktúrny stav oranej vrstvy do hĺbky cca 0,25 m, o čom svedčí aj mierne vyššia celková pórovitosť na oranom variante. V podmienkach ťažkej ílovito-hlinitej fluvizeme glejovej podobné výsledky publikovala napr. Kotorová (2001, 2007) a za dlhšie časové obdobie Kotorová et al. (2010).

Šútor et al. (2006) zistili, že množstvo pôdnej vody, ktoré je na danom stanovišti v určitej časti vegetácie k dispozícii pre poľnohospodárske plodiny závisí okrem meteorologických podmienok aj od fyzikálnych vlastností pôdy. Z tohto pohľadu je maximálna kapilárna kapacita dôležitým hydrofyzikálnym indikátorom, ktorý významnou mierou ovplyvňuje produkčný proces poľných plodín. Veľmi úzko súvisí nielen s obsahom ílovitých častíc v pôdnom profile, ale aj so zásobou vody v pôde. Ťažké pôdy s vysokým obsahom ílovitých častíc sa vyznačujú širokým rozpätím tohto parametra (Fulajtár, 1986; Kotorová, 2001).

Tabuľka 4 Maximálna kapilárna kapacita fluvizeme glejovej [%]

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	Rok				
		2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00 – 0,15	39,43	36,53	38,45	37,80	38,05
	0,15 – 0,30	40,06	37,51	40,15	39,68	39,35
	0,30 – 0,45	41,04	38,35	38,88	39,48	39,44
	\bar{x}	40,18	37,46	39,16	38,99	38,95
MA	0,00 – 0,15	39,63	36,57	39,01	39,20	38,60
	0,15 – 0,30	41,00	38,58	39,19	39,20	39,49
	0,30 – 0,45	39,75	37,43	38,56	38,24	38,50
	\bar{x}	40,13	37,53	38,92	38,88	38,87
PS	0,00 – 0,15	39,23	36,38	37,81	37,21	37,66
	0,15 – 0,30	39,79	36,30	37,66	37,42	37,79
	0,30 – 0,45	39,89	37,03	38,54	38,01	38,37
	\bar{x}	39,64	36,57	38,00	37,55	37,94

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Maximálna kapilárna kapacita stanovená podľa Nováka (Kutílek, 1978) približne charakterizuje terénne podmienky a možno ju považovať za hodnotu poľnej kapacity. V časovom rade rokov 2006 – 2009 sa hodnoty maximálnej kapilárnej kapacity na variante s konvenčnou agrotechnikou nachádzali v intervale 36,53 – 41,04 %, pri redukovanej agrotechnike bol interval 36,57 – 41,00 % a na variante s priamou sejbou 36,30 – 39,89 % (tabuľka 4). V priemere celého odberného profilu bola maximálna kapilárna kapacita iba nevýrazne vyššia na variante s konvenčnou agrotechnikou (Δ KA - MA = 0,08 %) v porovnaní s redukovanou agrotechnikou a variantom s priamou sejbou (Δ KA - PS = 1,01 %). Rozdiel medzi variantom s minimálnou agrotechnikou a variantom bez orby bol významný (Δ MA - PS = 0,93 %). Maximálne hodnoty tohto parametra boli zistené na všetkých troch variantoch prípravy pôdy v roku 2006 a minimálne v roku 2007. K podobným výsledkom pre ťažkú fluvizem glejovú na VSN dospeli aj Šútor et al. (2002), Kotorová a Jakubová (2007) a Kotorová s Matim (2008b).

Rozdiely v hodnotách maximálnej kapilárnej kapacity v jednotlivých sledovaných hĺbkach boli výrazné. V hĺbke 0,00 – 0,15 m bola najvyššia priemerná hodnota θ_{MKK} pri minimálnej agrotechnike (38,60 %), nižšia pri konvenčnej agrotechnike (38,05 %) a najnižšia pri priamej sejbe (37,66 %). Hodnoty maximálnej kapilárnej kapacity v hĺbke 0,15 – 0,30 m klesali v poradí: MA > KA > PS a v hĺbke 0,30 – 0,45 m bolo poradie KA > MA > PS. Rozpätie hodnôt maximálnej kapilárnej kapacity súvisí s momentálnou vlhkosťou pôdy a objemovými zmenami na ťažkých pôdach v závislosti od zmien vlhkosti. V nami sledovanom časovom rade sa nepotvrdilo lepšie zachytenie vlhkosti v pôdnom profile a jej využitie plodinami. Aj pri maximálnej kapilárnej kapacite sú pre ťažké pôdy v podmienkach Východoslovenskej nížiny vhodnejšie minimalizačné technológie obrábania pôdy ako priama sejba do neobrobenej pôdy.

Profilové rozvrstvenie celkového dusíka pri troch rozdielnych agrotechnikách bolo sledované v rokoch 2005 – 2009 a dosiahnuté výsledky sú uvedené v tabuľke 5. S nárastom pôdnej hĺbky klesalo množstvo celkového dusíka. Priemerný obsah celkového dusíka vo vrchnom profile pôdy bol 1720 mg.kg⁻¹, v druhom profile 1609 mg.kg⁻¹ a v spodnom profile 1489 mg.kg⁻¹. Podobne aj Jokela et al. (2009) a López-Fando a Pardo (2009) v hlbších častiach pôdy zaznamenali nižšie množstvá celkového dusíka.

Tabuľka 5 Obsah celkového dusíka pri rozdielnom obrábaní fluvizeme glejovej [mg.kg⁻¹]

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	2005	2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00-0,15	1708	1614	1834	1674	1586	1683
	0,15-0,30	1649	1491	1743	1550	1564	1600
	0,30-0,45	1601	1436	1576	1336	1436	1477
	\bar{x}	1653	1514	1718	1520	1529	1587
MA	0,00-0,15	1776	1719	1835	1711	1645	1737
	0,15-0,30	1711	1576	1718	1541	1539	1617
	0,30-0,45	1631	1489	1613	1328	1443	1501
	\bar{x}	1706	1595	1722	1527	1542	1618
PS	0,00-0,15	1776	1698	1872	1754	1593	1738
	0,15-0,30	1669	1521	1769	1550	1536	1609
	0,30-0,45	1587	1459	1626	1371	1407	1490
	\bar{x}	1677	1559	1756	1558	1512	1612

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Vývoj zmien totálneho dusíka v celom profile pôdy pri troch agrotechnikách je porovnateľný a koncom pokusného obdobia došlo k jeho poklesu (tabuľka 5).

Analogicky aj pri obsahu humusu sa prejavuje vertikálna variabilita. V dôsledku vyšších vstupov organického uhlíka v povrchovej vrstve pôdy sa množstvo humusu znižuje s pôdnou hĺbkou (tabuľka 6). Pokles pôdneho organického uhlíka s pôdnou hĺbkou

zaznamenali aj Šabatková et al. (2006), Malalo et (2005), Dou et al. (2008), López-Fando a Pardo (2009) a iní.

Agrotechnika ovplyvňuje rýchlosť rozkladu pôdnej organickej hmoty. V časovom období piatich rokov boli vyššie priemerné obsahy humusu v hĺbke 0,00 – 0,45 m zistené pri pôdoochranných technológiách (MA – 27,35 g.kg⁻¹, PS – 27,12 g.kg⁻¹) v porovnaní s konvenčným obrábaním (26,72 g.kg⁻¹). Vyššie množstvo pôdnej organickej hmoty pri priamej sejbe oproti konvenčnej agrotechnike zistili aj Roldán et al. (2007), Dou et al. (2008), Yaduvanshi, Sharma (2008) a Domínguez et al. (2009).

V tabuľke 6 je uvedený aj časový priebeh zmien humusu v hĺbke 0,00 – 0,45 m pri troch rozdielnych agrotechnikách. V jednotlivých rokoch sa pri konvenčnom obrábaní pôdy obsah humusu vyskytoval v rozpätí 25,63 – 27,78 g.kg⁻¹, pri minimálnom obrábaní 25,96 – 28,41 g.kg⁻¹ a pri priamej sejbe 25,83 – 28,54 g.kg⁻¹.

Tabuľka 6 Obsah humusu pri rozdielnom obrábaní fluvizeme glejovej [g.kg⁻¹]

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	2005	2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00-0,15	28,97	27,98	29,31	27,68	26,76	28,14
	0,15-0,30	27,97	27,18	28,03	26,52	25,85	27,11
	0,30-0,45	26,39	26,07	24,43	23,35	24,27	24,90
	\bar{x}	27,78	27,08	27,26	25,85	25,63	26,72
MA	0,00-0,15	30,20	29,03	29,96	28,79	27,79	29,16
	0,15-0,30	28,46	27,88	28,74	26,09	26,38	27,51
	0,30-0,45	26,56	26,72	25,74	24,16	23,72	25,38
	\bar{x}	28,41	27,88	28,15	26,35	25,96	27,35
PS	0,00-0,15	29,47	28,11	30,42	28,49	27,28	28,76
	0,15-0,30	28,51	27,34	28,83	25,93	26,45	27,41
	0,30-0,45	25,92	25,75	26,37	24,21	23,77	25,20
	\bar{x}	27,97	27,07	28,54	26,21	25,83	27,12

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Množstvo celkového dusíka súvisí s obsahom pôdnej organickej hmoty. Medzi humusom a celkovým dusíkom boli potvrdené lineárne korelácie, s najvyššou hodnotou korelačného koeficienta vo vrchnom pôdnom profile ($r = 0,92$) a poklesom v nižších hĺbkach pôdy ($r = 0,82$, resp. $r = 0,72$).

Korelačné závislosti medzi humusom a celkovým dusíkom sme posudzovali aj pri troch rozdielnych agrotechnikách. Hodnoty korelačných koeficientov stúpali v poradí konvenčné obrábanie ($r = 0,68$), minimálne obrábanie ($r = 0,89$) a priama sejba ($r = 0,96$). Naše poznatky potvrdzujú zistenia Kováča et al. (2004), ktorí zaznamenali štatisticky významnú závislosť celkového dusíka a pôdneho organického uhlíka.

Tabuľka 7 Vývoj hodnôt pomeru medzi uhlíkom a dusíkom pri rozdielnom obrábaní fluvizeme glejovej

Príprava pôdy	Hĺbka [m]	2005	2006	2007	2008	2009	\bar{x}
KA	0,00-0,15	9,89	10,07	9,29	9,60	9,38	9,64
	0,15-0,30	9,87	10,58	9,33	9,93	9,59	9,86
	0,30-0,45	9,59	10,56	9,02	10,11	9,86	9,83
	\bar{x}	9,78	10,40	9,21	9,88	9,61	9,78
MA	0,00-0,15	9,90	9,83	9,48	9,79	9,40	9,68
	0,15-0,30	9,67	10,29	9,70	9,83	9,96	9,89
	0,30-0,45	9,45	10,45	9,23	10,55	9,59	9,85
	\bar{x}	9,67	10,19	9,47	10,06	9,65	9,81
PS	0,00-0,15	9,63	9,64	9,42	9,46	9,50	9,53
	0,15-0,30	9,91	10,44	9,42	9,75	10,02	9,91
	0,30-0,45	9,46	10,26	9,40	10,25	9,83	9,84
	\bar{x}	9,67	10,11	9,41	9,82	9,78	9,76

kde: KA – konvenčná agrotechnika, MA – minimálna agrotechnika, PS – priama sejba

Vypočítaný pomer medzi pôdnym organickým uhlíkom a celkovým dusíkom je ukazovateľom kvality humusu, napr. obohatenia organickej hmoty bielkovinami (Sotáková 1982). Čím je pomer uhlíka k dusíku užší, tým je proces rozkladu organických látok intenzívnejší (Tobiašová, 2006). Na sledovaných variantoch obrábania pôdy (hĺbka 0,00 – 0,45 m) v rokoch 2005 – 2009 bol pomer uhlíka k dusíku v rozpätí 9,21 – 10,40 (tabuľka 7). Na základe uvedených hodnôt môžeme konštatovať, že rozklad organických látok v pôde bol intenzívny.

Vo vrchnej vrstve pôdy sme zaznamenali preukazne nižšie hodnoty pomeru medzi uhlíkom a dusíkom (9,62) oproti druhej (9,89) a tretej hodnotenej hĺbke (9,84). Z pohľadu obrábania bol medzi prvou a druhou pôdnou hĺbkou najväčší rozdiel hodnoty pomeru uhlíka k dusíku pri priamej sejbe (-0,38) v porovnaní s minimálnou (-0,21) a konvenčnou agrotechnikou (-0,22).

ZÁVER

Jednou z možností efektívneho hospodárenia na pôde, zvýšenia ochrany pôdy a zachovania jej kvality je využívanie pôdoochranných technológií v produkčnom procese. Aj na ťažkých pôdach sa i pri dlhodobom používaní minimálnej agrotechniky, resp. priamej sejby bez orby môžu pri správnom využívaní celého systému zachovať fyzikálne i chemické vlastnosti pôdy na prijateľnej úrovni. Predpokladom nezhoršenia dosiahnutého stupňa pôdnej úrodnosti a zachovania dosiahnutej úrovne pôdných vlastností je uplatňovanie týchto technológií v celom komplexe, s ohľadom na špecifiká takýchto pôd.

Sledované fyzikálne vlastnosti ťažkej fluvizeme glejovej boli štatisticky významne ovplyvňované použitými technológiami obrábania pôdy a experimentálnym rokom s jeho

poveternostnými podmienkami. V priemere najnižšia objemová hmotnosť a najvyššia celková pórovitosť bola na variante s minimálnou agrotechnikou. Hodnoty maximálnej kapilárnej kapacity boli na všetkých variantoch obrábania pôdy a v celom odbornom profile na úrovni charakteristickej pre ílovito-hlinité fluvizeme glejové.

Použitie rozdielnych systémov obrábania pôdy ovplyvňuje rýchlosť rozkladu pôdnej organickej hmoty a následne obsah organického uhlíka a celkového dusíka v pôde. V časovom období piatich rokov boli preukazne vyššie obsahy pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka zistené pri pôdoochranných technológiách v porovnaní s konvenčným obrábaním pôdy.

Množstvo pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka výrazne ovplyvňuje štruktúra osevného postupu. Pri hodnotených spôsoboch agrotechniky bol časový priebeh zmien uvedených parametrov pôdy podobný. Medzi východiskovým rokom 2005 a konečným rokom 2009 bol pri všetkých troch spôsoboch agrotechniky zaznamenaný štatisticky preukazný pokles pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-SK-CZ-0193-11.

LITERATÚRA

1. BARANČÍKOVÁ, G. 2005. Vývoj pôdnej organickej hmoty na vybraných pôdnych typoch trvalých trávnych porastov a orných pôd v priebehu monitoringu. In: Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku. Bratislava : VÚPOP, 2005, s. 7-13. ISBN 80-89128-18-1
2. DAM, R. F. – MEHDI, B. B. – BURGESS, M. E. E. – MADRAMOOTOO, C. A. – MEHUYS, G. R. – CALLUM, I. R. 2006. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. In: Soil Tillage Res., vol. 84, 2006, N. 1, p. 4-53.
3. DEMO, M. – KOLLÁR, B. – HRAŠKO, J. 1995. Obrábanie pôdy. 1. vyd. Nitra : VŠP, 1995. 315 s. ISBN 80-7137-255-2
4. DOMÍNGUEZ, G. F. – DIOVISALVI, N. V. – STUDDERT, G. A. – MONTERUBBIANESI, M.G. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. In: Soil and Tillage Research, vol. 102, 2009, p. 93-100.
5. DOU, F. – WRIGHT, A.L. – HONS, F.M. 2008. Dissolved and soil organic carbon after long-term conventional and no-tillage sorghum cropping. In: Communications in soil science and plant analysis, vol. 39, 2008, n. 5-6, p. 667-679.
6. ELDER, J. W. – LAL, R. 2008. Tillage effect on physical properties of agricultural organic soils of north central Ohio. In: Soil Tillage Res., vol. 98, 2008, N. 2, pp. 208-210. DOI: 10.1016/j.still.2007.12.002
7. FULAJTÁR, E. 1986. Fyzikálne vlastnosti pôd Slovenska, ich úprava a využitie. 1. vyd. Bratislava : Veda, 1986. 156 s.
8. GŁĄB, T. – KULIG, B. 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). In: Soil Tillage Res., vol. 99, 2008, p. 169-178.
9. GOMEZ, E. – FERRERAS, L. – TORESANI, S. – AUSILIO, A. – BISARO, V. 2001. Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage. In: Soil Tillage Res., vol. 61, 2001, N. 3 – 4, p. 179-186.

10. HORÁK, J. – LEHOCKÁ, J. – ŽÁK, Š. – KOVÁČ, K. – IGALZ, D. – ČIMO, J. 2009. Modeling of conventional tillage and no tillage management practises and their effects on various fluxes of carbon (C) and nitrogen (N) in agrosystem of selected site in Slovak Republic. In: Ecological modeling for enhanced sustainability in management, Quebec: International Society for Ecological Modeling, 2009, p. 213.
11. HRAŠKO, J. et al. 1962. Rozbory pôd. Bratislava : SVPL, 1962, 342 s.
12. HRIVŇÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. et al. 2011. Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. 1. vyd. Bratislava : VÚPOP. 2011, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1
13. HUSNJAK, S. – FILIPOVIČ, D. – KOŠUTIČ, S. 2002. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. In: Rostlinná výroba, vol. 48, 2002, n. 6, p. 249-254.
14. JOKELA, W. E. – GRABBER, J. H. – KARLEN, D. L. – BALSER, T. C. – PALMQUIST, D. E. 2009. Cover Crop and Liquid Manure Effects on Soil Quality Indicators in a Corn Silage System. In: American Society of Agronomy, vol. 101, 2009, p. 727-737.
15. KOTOROVÁ, D. 2001. Produkčný proces pšenice letnej formy ozimnej (*Triticum aestivum* L.) na Východoslovenskej nížine. 1. vyd. Michalovce : OVÚA, 2001. 96 s. ISBN 80-968438-7-7
16. KOTOROVÁ, D. 2007. Zmeny vlastností ílovito-hlinitkej pôdy pri jej rozdielnom obrábaní. In: Agriculture (Poľnohospodárstvo), roč. 53, 2007, č. 4, s. 183-190.
17. KOTOROVÁ, D. – JAKUBOVÁ, J. 2007. Analýza vplyvu faktorov počasia na pôdne vlastnosti. In: Acta hydrologica slovacica, roč. 8, 2007, č. 2, s. 217-223.
18. KOTOROVÁ, D. – ŠOLTYSOVÁ, B. 1992. Vplyv osevného sledu s vyšším zastúpením obilnín na zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôd Východoslovenskej nížiny. In: Rostlinná výroba, roč. 38, 1992, s. 671-676.
19. KOTOROVÁ, D. – MATI, R. 2008a. Properties and moisture regime of heavy soils in relation to their cultivation. In: VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Cereal Research Communications, vol. 36, 2008, Suppl., p. 1751-1754.
20. KOTOROVÁ, D. – MATI, R. 2008b. The trend analyse of water storage and physical properties in profile of heavy soils. In: Agriculture (Poľnohospodárstvo), vol. 54, 2008, n. 4, p. 155-164.
21. KOTOROVÁ, D. – ŠOLTYSOVÁ, B. – MATI, R. 2010. Vlastnosti fluvizemí na Východoslovenskej nížine pri ich rozdielnom obrábaní. 1. vyd. Piešťany : CVRV – Výskumný ústav agroekológie Michalovce, 2010. 160 s. ISBN 978-80-89417-25-4
22. KOVÁČ, K. – ŠVANČÁRKOVÁ, M. 2003. The influence of various agrotechnical factors on soil physical properties. In: Agriculture (Poľnohospodárstvo), vol. 49, 2003, n. 12, p. 608-618.
23. KOVÁČ, K. – LEHOCKÁ, Z. – ŽÁK, Š. 2004. Dynamika zmien agrochemických vlastností pôdy v ekologickom a integrovanom systéme. In: Nové poznatky v pestovaní, šlechtění a ochrane rastlín. Brno : Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o. Troubsko, 2004, s. 315-320. ISBN 80-902436-9-X
24. KOVÁČ, K. – NOZDROVICKÝ, L. – MACÁK, M. – ANTAL, J. – LEHOCKÁ, Z. – HORÁK, J. – ŠPÁNIK, F. – VILČEK, J. – ŽÁK, Š. 2010. Minimalizačné a pôdoochranné technológie. Nitra: Agroinštitút, š. p., 2010, 142 s. ISBN 978-80-7139-139-5
25. KOŽNAROVÁ, V. – KLABZUBA, J. 2002. Doporučení WMO pro popis meteorologických, resp. klimatologických podmínek definovaného období. In: Rostlinná výroba, roč. 48, 2002, č. 4, s. 190-192.
26. KUCHAROVIC, A. – KOVÁČ, K. 2003. Experimentálna kvantifikácia vstupov organického uhlíka do pôdy v rôznych systémoch hospodárenia. In: Udržateľné

- poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka : Zborník prác z vedeckej konferencie. Nitra : SPU, 2003, s. 144-146. ISBN 80-8069-246-7
27. KUTÍLEK, M. 1978. Vodohospodárska pedologie. Praha : SNTL, 1978. 296 s.
 28. LACKO-BARTOŠOVÁ, M. et al. 2005. Udržateľné a ekologické poľnohospodárstvo. Nitra : SPU, 2005, 576 s.
 29. LEDVINA, R. et al. 2004. Pôdoochranné technológie pro pěstování polních plodin. In: Collection of Scientific Papers. Series for Crop Sciences. České Budějovice : Faculty of Agriculture, vol. 21, 2004, N. 2, p. 61-66. ISBN 1212-0731
 30. LINKEŠ, V. – PESTÚN, V. – DŽATKO, M. 1996. Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických. 3. vyd. Bratislava : VÚPÚ, 1996. 103 s. ISBN 80-85361-19-1
 31. LÍŠKA, E a kol. 2008. Všeobecná rastlinná výroba. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. 452 s. ISBN 978-80-552-0016-3
 32. LÓPEZ-FANDO, C. – PARDO, M.T. 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practice in semi-arid environment. In: Soil and Tillage Research, vol. 104, 2009, n. 2, p. 278-284.
 33. MACÁK, M. – LEHOCKÁ, Z. – ŽÁK, Š. – KOVÁČ, K. 2008. Vplyv základného obrábania pôdy a zrážkových pomerov na objemovú hmotnosť pôdy. In. Lucrări stiintifice Facultatea de agriculture, roč. 40, 2008, č. 2, s. 93-98.
 34. MALO, D.D. – SCHUMACHER, T.E. – DOOLITTLE, J.J. 2005. Long-term cultivation impacts on selected soil properties in the northern Great Plains. In: Soil and Tillage Research, vol. 81, 2005, n. 2, p. 277-291.
 35. MARRIOTT, E. E. – WANDER, M. M. 2006. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. In: Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 70, 2006, p. 950-959.
 36. MATI, R. – KOTOROVÁ, D. 2007. The effect of soil tillage system on soil bulk density and other physical and hydrophysical characteristics of gleyic fluvisol. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics, vol. 55, 2007, no. 4, p. 246-252.
 37. MATI, R. – KOTOROVÁ, D. – ŠOLTYSOVÁ, B. 2010. Zmeny fyzikálnych a chemických vlastností a vodného režimu pôd pri pôdoochranných systémoch pestovania obilnín a olejnín a vo vzťahu ku globálnej klimatickej zmene v podmienkach ťažkých glejových pôd Východoslovenskej nížiny : Záverečná správa za subetapu. Piešťany : CVRV, 2010, 33 s.
 38. MIKULOVÁ, K. et al. 2008. Klimatologické normály 1961 – 1990 meteorologických prvkov teplota vzduchu a atmosférické zrážky : Záverečná správa výskumnej úlohy. Bratislava : SHMÚ, 2008. CD
 39. ROLDÁN, A. – SALINAS-GARCÍA, J. R. – ALGUACIL, M. M. – CARAVACA, F. 2007. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. In: Soil and Tillage Research, vol. 93, 2007, n. 2, p. 273-282.
 40. SOTÁKOVÁ, S. 1982. Organická hmota a úrodnosť pôdy. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1982. 234 s.
 41. ŠABATKOVÁ, O. – HORÁČEK, J. – LIEBHARD, P. – KOPEČNÁ, J. – ČECHOVÁ, V. 2006. Vliv minimalizačních technologií na kvantitativní parametry půdní organické hmoty kambizemě a černozemě. In: Šarapatka, B. – Bednář, M.: Pedogeneze a kvalitativní změny půd v podmínkách přírodních a antropicky ovlivněných území : Sborník příspěvků z 11. pedologických dnů. Kouty nad Desnou : Univerzita Palackého v Olomouci, Česká pedologická společnost, 2006, s. 349-354. ISBN 80-244-1448-1

42. ŠIMANSKÝ, V. – TOBIAŠOVÁ, E. – ZAUJEC, A. 2007. Vplyv obrábania na stabilitu pôdnej štruktúry vo vzťahu ku kvalite a kvantite pôdnej organickej hmoty. In: *Agrochémia*, roč. 47, 2007, č. 1, s. 27-30.
43. ŠOLTYSOVÁ, B. – DANILOVIČ, M. 2008. The balance of organic carbon in the different crop sequences and tillage. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, roč. 54, 2008, č. 4, s. 165-173.
44. ŠOLTYSOVÁ, B. – DANILOVIČ, M. 2010. Variabilita vybraných agrochemických parametrov pôdy pri jej rozdielnom obrábaní. In: *Agrochémia*, roč. 50, 2010, č. 2, s. 20-24.
45. ŠÚTOR, J. – GOMBOŠ, M. – MATI, R. 2006. Vplyv pôdneho druhu na zásobu vody v zóne aerácie pôdy. In: *Acta hydrologica Slovaca*, vol. 7, 2006, č. 1, s. 128-134.
46. ŠÚTOR, J. – GOMBOŠ, M. – MATI, R. – IVANČO, J. 2002. Charakteristiky zóny aerácie ťažkých pôd Východoslovenskej nížiny. Bratislava : ÚH SAV, Michalovce : OVÚA, 2002, 216 s. ISBN 80-968480-8-9
47. ŠÚTOR, J. – MATI, R. – IVANČO, J. – GOMBOŠ, M. – KUPČO, M. – ŠŤASTNÝ, P. 1995. *Hydrológia Východoslovenskej nížiny*. Michalovce : Media Group, 1995, 467 s. ISBN 80-88835-00-3
48. TOBIAŠOVÁ, E. 2006. Kvantita a kvalita pôdnej organickej hmoty v rôznych systémoch pestovania plodín. Vliv minimalizačních technologií na kvantitativní parametry půdní organické hmoty kambizemě a černozemě. In: Šarapatka, B. – Bednář, M.: *Pedogeneze a kvalitativní změny půd v podmínkách přírodních a antropicky ovlivněných území : Sborník příspěvků z 11. pedologických dnů*. Kouty nad Desnou : Univerzita Palackého v Olomouci, Česká pedologická společnost, 2006, s. 359-363. ISBN 80-244-1448-1
49. TORMA, S. – HALAS, J. 2004. Úbytok organickej hmoty v pôde ako prejav chemickej degradácie pôdy. In: *Tretie pôdoznalecké dni v SR : Zborník referátov z vedeckej konferencie*. Mojmirovce pri Nitre : VÚPOP, SPS, 2004, s. 355-360. ISBN 80-89128-11-4.
50. VILČEK, J. 2005. Pedogeografické špecifiká pôd Východoslovenskej nížiny. In: *Realizáciou poznatkov vedy a výskumu k trvalo udržateľnému poľnohospodárstvu*. VÚRV – ÚAe, Michalovce, 2005, s. 93-97. ISBN 80-88790-40-9
51. VJATRÁKOVÁ, J. – ŠTEVLÍKOVÁ, T. – JAVOREKOVÁ, S. 2002. Zmeny pôdnej organickej hmoty a biomasy mikroorganizmov v pôde pri alternatívnom spôsobe obhospodarovania. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, roč. 48, 2002, č. 9, s. 482-491.
52. YADUVANSHI, N. P. S. – SHARMA, D. R. 2008. Tillage and residual organic manures/chemical amendment effects on soil organic matter and yield of wheat under sodic water irrigation. In: *Soil and Tillage Research*, vol. 98, 2008, n. 1, p. 11-16.
53. ZAUJEC, A. 2003. Rastlinné zvyšky a ich rozklad v pôde. In: *Druhé pôdoznalecké dni v SR : Zborník referátov z vedeckej konferencie*. Stará Lesná: VÚPOP, 2003, s. 81-90. ISBN 80-89128-06-8
54. ŽÁK, Š. – LEHOCKÁ, Z. – KLIMEKOVÁ, M. – BUŠO, R. 2006a. Bilancia pôdnej organickej hmoty v konvenčnom a bezorbovom obrábaní pôd. In: *Zborník vedeckých prác SCPV – ÚAe Michalovce*. Michalovce : SCPV – ÚAe, 22, 2006, s. 183-192. ISBN 80-88872-60-X
55. ŽÁK, Š. – KLIMEKOVÁ, M. – LEHOCKÁ, Z. – BUŠO, R. 2006b. Vplyv rôznych technológií obrábania pôdy na zmeny koeficientu štruktúrnosti. In: *Zborník vedeckých prác SCPV – ÚAe Michalovce*. Michalovce : SCPV – ÚAe, 22, 2006, s. 171-182. ISBN 80-88872-60-X

KONTAKTNÁ ADRESA:

RNDr. Dana Kotorová, PhD.

Ing. Božena Šoltysová, PhD.

CVRV – Výskumný ústav agroekológie Michalovce

Špitálska 1273, 071 01 Michalovce

tel.: (056) 6443 888

e-mail: kotorova@minet.sk, soltysova@minet.sk

ERODOVATELNOST TĚŽKÝCH PŮD VĚTREM A NOVÝ ZPŮSOB JEJÍHO STANOVENÍ

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

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 (%)	CaCO ₃ (%)
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.

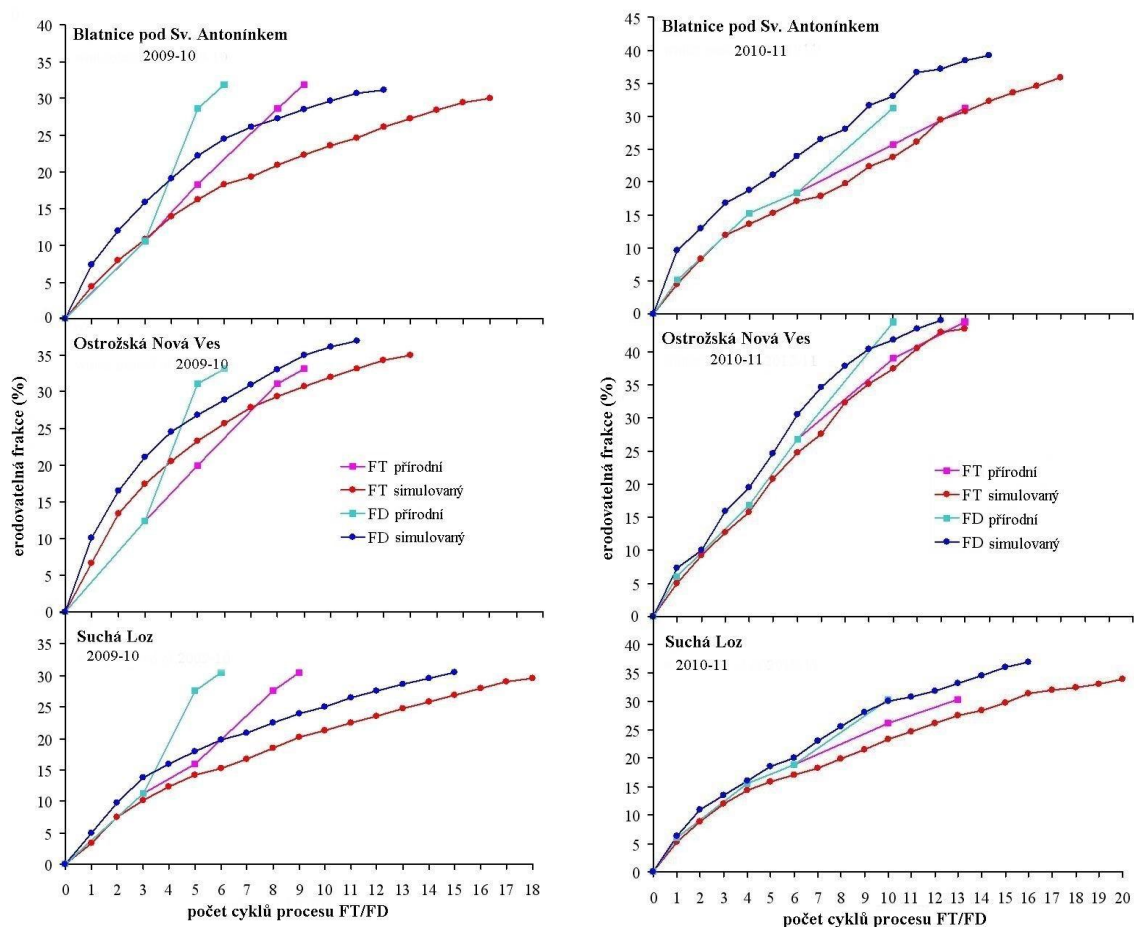
Současně s laboratorními simulacemi rozpadu půdních agregátů probíhala v terénu měření teploty vzduchu a vlhkosti půdy. Teplota vzduchu byla měřena 2 m nad zemským povrchem pomocí čidla Hobo (Onset Computer Corporation), přízemní minimum měřilo čidlo Dallas DS18B20 (Maxim/Dallas Semiconductor Products,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

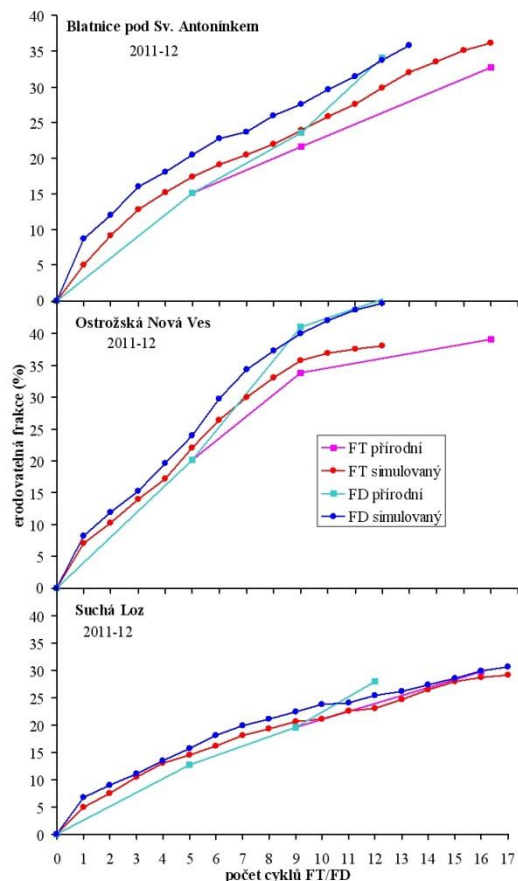
Úkolem teplotních čidel bylo zaznamenat počet cyklů procesu FT a FD v terénních podmínkách během chladného období roku.

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 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, nejpoužívanějšího 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 $P = 0,000$:

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

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,

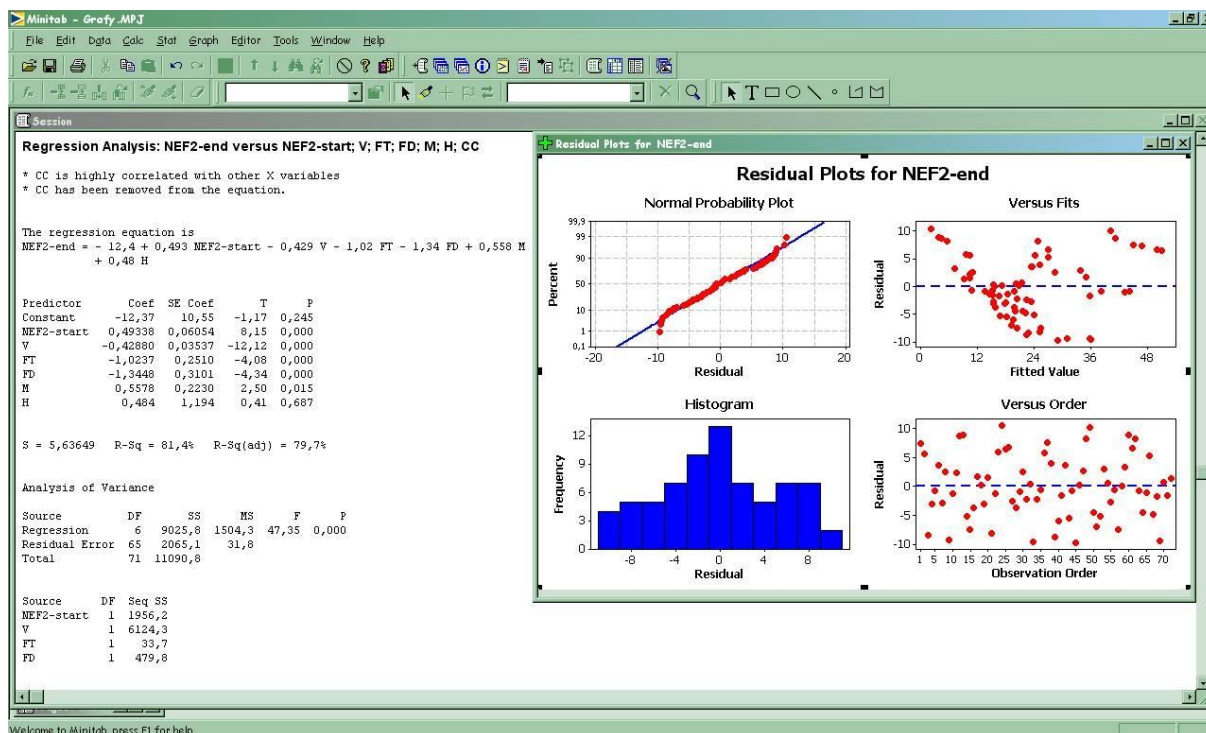
V = vlhkost půdního vzorku v době zmrznutí (% obj.),

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 Chépila (1954) nemá 3% obsah CaCO_3 v půdě žádný vliv na agregátovou stabilitu, ale zvýšení obsahu CaCO_3 na 10 % a více se projeví ve zvýšení stability. Autor ovšem podotýká, že zmiňovaný efekt je patrný pouze u lehkých půd. Lehrsch *et al.* (1993) uvádějí, že při obsahu 0–4 % CaCO_3 v půdách s vyšším obsahem jílnatých částic roste stabilita půdních agregátů, ale při zvýšení obsahu CaCO_3 na 4–32 % se zvyšuje obsah EF v půdě.

Vzhledem k tomu, že u půd na všech třech experimentálních lokalitách byl obsah CaCO_3 stanoven, mohla do VRA vstoupit i tato hodnota. Při sestavení korelační matice byla ovšem zjištěna multikolinearita mezi obsahem CaCO_3 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

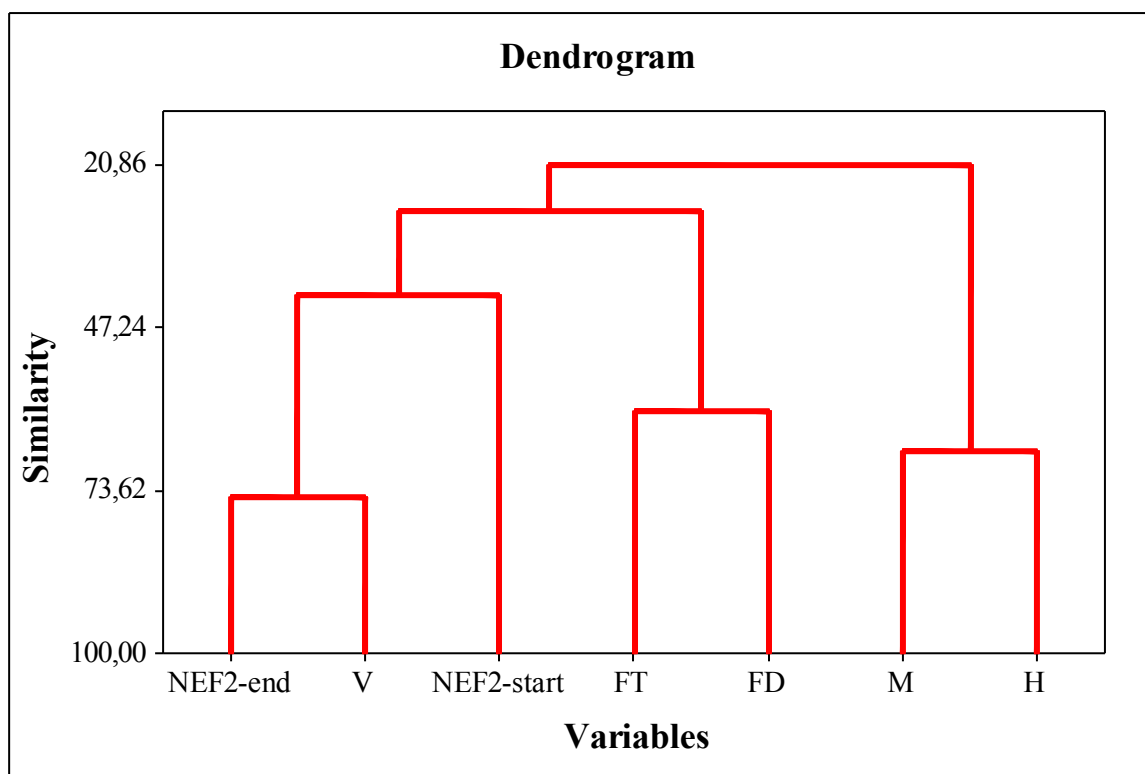
O vzájemných vztazích závisle i nezávisle proměnných v rovnici (1) referují korelační koeficienty v korelační matici v Tab. 2. Výsledky korelační analýzy, resp. míry podobnosti korelačních koeficientů, mohou být interpretovány i pomocí tzv. dendrogramů v rámci shlukové (clusterové) analýzy, které jsou 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 al.* (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, Středánský 1980, Schwab *et al.* 1993, Attou *et al.* 1998, Stout *et al.* 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 al.* (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., Izaurrealde, 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.
- Středanský J., 1980. Závislost' odnosu půdy od rychlosti 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“.

VPLYV MELIORAČNÝCH EFEKTOV LESA NA VARIABILITU ZÁSOB PÔDNEHO ORGANICKÉHO UHLÍKA V KRAJINE S CHLADNOU HORSKOU KLÍMOU

Erika Kriaková, Marián Homolák, Viliam Pichler, Erika Gömöröyová

Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, erika.kriakova@tuzvo.sk, homolak@tuzvo.sk, pichler@tuzvo.sk, gomoryova@tuzvo.sk

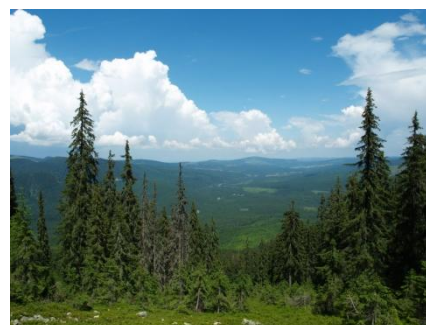
Abstrakt

Karstic plateaus in a view of famous ancient and nature varies of land cover (forest, grassland, arable land) provide an opportunities to study the impact of historical and current land use as well as its natural resources to biogeochemical cycles and other processes resulting to organic carbon sequestration in soils in these areas. Schlesinger (2000) reported that the soil is in the form of organic C bound greater than the amount of carbon in aboveground vegetation and the atmosphere together. Optimizing land cover today is an important contribution to efforts to decelerate biogeochemical cycles. The research direct primarily to soil sampling and laboratory analysis to detect and evaluate the content of soil organic carbon (SOC), which is considered the main soil component and a key parameter in determining the soil quality. The largest amounts of soil organic carbon are sequestered in the depth of 70 cm. The study will assess the impact of land use in the past and the present to change the concentration of this element as a result of conversion of landscape structures. Work will be performed in natural forest ecosystems in Slovakia (National Park Muran Plateau) and abroad (National Park Apuseni-Planina Padis, Romania).

Key words: karstic plateaus, soil organic carbon (SOC), forest amelioration effects, electrical resistivity tomography (ERT)

Úvod

V uhlíkovom cykle zohrávajú zásoby pôdneho organického uhlíka sekvestrované v podpovrchových horizontoch lesných pôd dôležitú úlohu. Pôdy v horských polohách sa svojou retenčnou, akumuláčnou a retardačnou funkciou podieľajú na znižovaní odtoku a s tým súvisiacim rizikom vzniku povodní. Uvedené schopnosti pôdy vo vzťahu k vode a kapacita viazať atmosférický uhlík sú dané fyzikálnymi, chemickými a biologickými vlastnosťami pôdy, taktiež mnohými inými faktormi ako sú napr. rozdielna krajinná pokrývka, klimatická oblasť, mikrobiálna aktivita. Karlen a Andrews, (2000); Singer a Ewing, (2000), poukazujú na

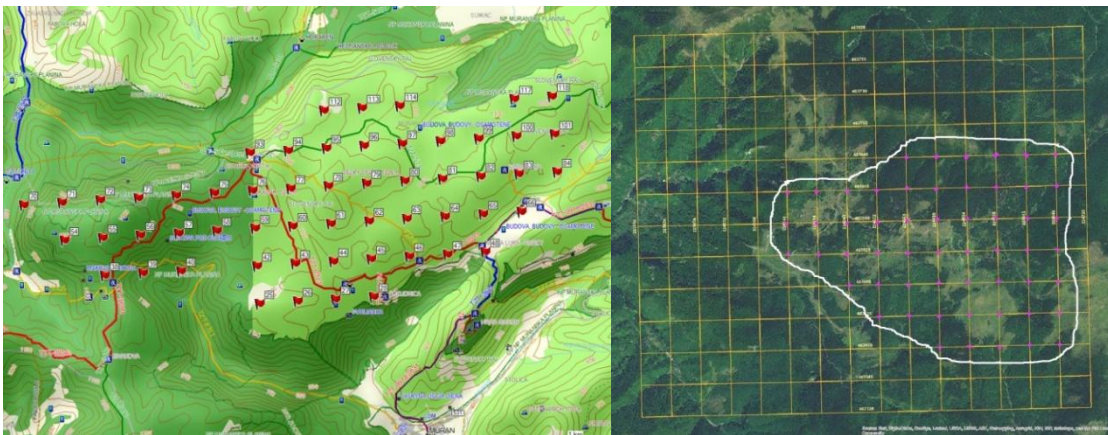


Obr. 1 Diverzita krajinných štruktúr planiny Padis, pohorie Magura 1 641 m n. m. (Apuseni)

koreláciu medzi obsahom SOC a viacerými pôdnymi vlastnosťami a funkciami ako pórovitosť, retenčná funkcia pôdy (schopnosť zadržiavať vodu), dostupnosť živín pre vegetáciu, biodiverzitu a štrukturálnu stabilitu pôdy. Vzhľadom na skutočnosť, že vo väčších hĺbkach je uhlík stabilizovaný chemicky a fyzikálne, manažment a obhospodarovanie lesných ekosystémov by mali smerovať k cieľu zachovať v pôde sekvestrovaný uhlík čo najdlhšie časové obdobie (Lorenz *et al.*, 2011). Celkové množstvo SOC vo svetovom meradle je odhadované na 1 500 Gt, čo predstavuje zhruba dvojnásobok množstva uhlíka v atmosfére (Schlesinger 2000).

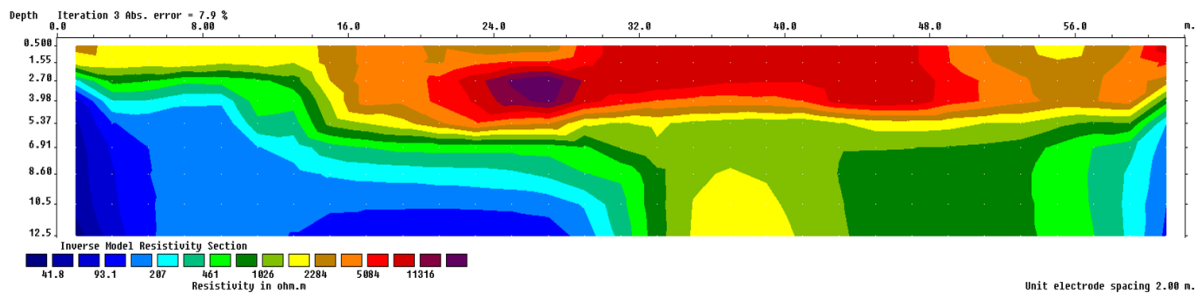
Materiál a metodika

Územie NP Muránska planina predstavuje jednu z najzachovalejších krasových oblastí Slovenska s chladnou, veľmi vlhkou klímou, tvorenú svetlými strednotriasovými vápencami. Prevládajúcimi typmi pôd sú rendziny, kambizeme a podzoly. Lesnatosť územia dosahuje cca 87% v zastúpení 4.-6. lvs. Podobné prírodné podmienky prevládajú aj na území NP Apuseni disponujúceho pozoruhodnými varietami krajinných štruktúr. V oboch lokalitách sme pre odber vzoriek volili systematický výber a územie prekryli mriežkou 750x750 m s počtom bodov 56. Odberové body sú rozostúpené v pravidelných intervaloch, vďaka čomu systematický výber zaručuje vyrovnané pokrytie územia a vyššiu efektívnosť (Webster, Oliver 1990). Terénne práce spočívajú vo vykopení pôdných sond a odberoch pôdných vzoriek v troch líniách a hĺbkach každých 10 cm. Pôdne sondy sa vyznačujú priemernou hĺbkou 30–40 cm.



Obr. 2 Schéma systematického výberu odberových bodov NP Muránska planina a NP Apuseni

Pri každom odberovom mieste zrealizujeme meranie rezistivity pôdy metódou 2D multielektrodového kábla za účelom presného stanovenia hĺbky a obsahu jemnozeme. Elektrická rezistivná tomografia (ERT) umožňuje zobrazenie podpovrchových vrstiev pôdy. Na základe stanovenia objemu jemnozeme sa vypočíta zásoba pôdneho organického uhlíka v jednotlivých hĺbkach.



Obr. 3 ERT 2-D zobrazenie pôdneho profilu locality Kľak (1 409 m n. m.)

V rámci odberov pôdnych vzoriek sme sa zamerali aj na 2 šošovky andezitu v NP Muránska planina- lokalita Kľak (1409 m n. m.) s lokálnym výskytom kambizemí andozemných. Prítomnosť alofánov v odobratej vzorke bola indikovaná Fieldes- Perottovým testom.



Obr. 4 Fieldes-Perottov test

Z pôdnych vzoriek v laboratórnych podmienkach stanovíme vybrané fyzikálne a chemické vlastnosti podľa metodických pokynov (merná a objemová hmotnosť, zrnitosť, stanovenie karbonátov, pH).

Výskum primárne smeruje k laboratórnym analýzám na zistenie a zhodnotenie obsahu pôdneho organického uhlíka z jemnozeme s využitím VARIO MACRO CNS analyzátora. Štúdia posúdi dopad využívania krajiny v minulosti a súčasnosti na zmenu koncentrácie tohto prvku v dôsledku konverzií jednotlivých krajinných štruktúr. Principiálnym zdrojom historických informácií sú georeferencované historické vojenské mapy, tzv. Vojenské merania XVIII.-XIX. storočia (Nagy 2008).

Vyhodnotenie dát

Analýzami získané údaje budú spracované v programe STATISTICA. Geoštatistické analýzy využijeme pri rozbere priestorovej autokorelácie koncentrácie a obsahu SOC. K spracovaniu a zobrazeniu 2-D profilov rezistivity bude využitý program RES2DINV.

Záver

Pre splnenie cieľa štúdia je potrebné poznanie súčasného ako aj historického stavu záujmového územia. Závislosť obsahu a koncentrácie organického uhlíka v pôde od rôznej krajinej pokrývky (lesný porast, kroviny, pastevné plochy a poľnohospodársky obhospodarovaná pôda) bude evaluovaná intenzitno-kapacitným prístupom. Súčasne

zhodnotíme úroveň a efekt manažmentu týchto krajinných zložiek na zásoby SOC v minulosti a súčasnosti. Vo všeobecnosti sa predpokladá, že zmeny (variabilita) v zásobách SOC v dôsledku manažmentu a konverzií krajinných štruktúr sú väčšie ako tie, ku ktorým vedie disturbancia klimatických podmienok či zmeny koncentrácie atmosférického CO₂ (Paustian *et al.*, 1996).

Literatúra

- Karlen, D.L., Andrews, S.S., 2000. The soil quality concept: a tool for evaluating sustainability. In: Elmholt, S., Stenberg, B., Gronlund, A., Nuutinen, V. (Eds.), *Soil Stresses, Quality and Care*, DIAS Report, vol. 38. Danish Institute of Agricultural Sciences, Tjele, Denmark.
- Lorenz, K., Lal, R., Shipitalo, M.J. 2011. Stabilized Soil Organic Carbon Pools in Subsoils under Forest Are Potential Sinks for Atmospheric CO₂. *Forest Science* 57: 19-25
- Mos, A. Apuseni Nature Park- A Park for Nature and People. *Analele Universităţii din Oradea, Seria Geografie*, Tom XVIII, 2008, pag. 21-26
- Nagy, D., 2008. A Gömör-Tornai-Karszt Történeti Felszínborítása. Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, Jósvalö. 107 s.
- Paustian, K., Elliott, E.T., Petersen, G.A. & Killian, K. 1996. Modeling climate, CO₂ and management impacts on soil carbon in semi-arid agroecosystems. *Plant and Soil*, 187, 351-365.
- Schlesinger, W.H., 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48, 7-20.
- Singer, M.J., Ewing, S., 2000. Soil Quality. In: Sumner, M.E. (Editor in Chief), *Handbook of Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA pp. G-271/G-298.
- Vološčuk, I., Pelikán, V. 1991. Muránska planina. Chránená krajinná oblasť. Obzor, Bratislava. 340 s.
- Webster, R., Oliver, M.A. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford University Press, Oxford. P. 315.

Podakovanie: Táto práca vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV 0580-10 a Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR VEGA 1/1314/12.

AKTUÁLNY STAV A VÝVOJOVÉ TRENDY AKTÍVNEHO HLINÍKA V KAMBIZEMACH SLOVENSKA

Jarmila Makovníková

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica,
Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: j.makovnikova@vupop.sk*

Abstract

The aim of this work is to evaluate the distribution (in the last sampling soil monitoring cycle) and the development of active aluminum (Al) content in Cambisols in Slovakia. The soil samples are taken since 1993 year in 5 years regular intervals from following depths: 0-0.10 m and 0.35-0.45 m. In the dry homogenized samples soil reaction (pH in KCl), exchange cation Ca^{2+} , organic carbon and active Al content by Sokolov (soil is extracted with 1N KCl, Al is precipitated with NaF) in the samples with pH value lower than 6.0 were measured (66 samples). Statistical analysis and evaluation of the results was carried out in the program Statgraphic XV. Centurion. The active Al content in cambisols (in the depth 0-0.10 m) ranged from 0.10 to 308.00 mg.kg^{-1} with an average value 37.17 mg.kg^{-1} . Significantly lower average values were measured in Cambisols used as arable land (22.87 mg.kg^{-1}) compared with Cambisols, which are used as permanent grassland (45.30 mg.kg^{-1}). The active Al content in the subsoil, which may result in depression root penetration depth as well as in reducing the depth of the root system and thereby increasing water deficit in subsequent crops, ranged from 0.10 to 470 mg.kg^{-1} . During the monitoring the most significant changes were occurred in the group Cambisols on crystalline rocks (permanent grassland) and in the group Cambisols on volcanics (permanent grassland), where the active Al content decreased significantly compared with first sampling cycle. The unfavorable trend we determined in the group Cambisols on crystalline rocks used as arable land, where active Al content increased by 135% compared to 1993 year. Keywords: Partial Monitoring System - soil, active aluminum, Cambisol, soil degradation

Úvod

Hliník (Al) je prvok amfotérnej povahy, ktorý sa v pôde vyskytuje v polynukleárnej alebo v monomerickej forme. Jeho rozpustnosť je primárne podmienená hodnotami pôdnej reakcie (Hiradate, 2004, Meriño-Gergichevich, 2010, Kanianska, 2000, Makovníková, Kanianska, 1996, Makovníková, 2002, Makovníková, 2005), dominantnou toxickou formou hliníka sú voľné katióny Al^{3+} a hydrolytické ióny hliníka $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Pri pH pod 4,2 môže vzrásť rozpustnosť Al hydroxy zlúčenín natoľko, že Al^{3+} sa môže stať dominantným katiómom v pôdnom roztoku (Hiradate, 2004). Voľné katióny hliníka v pôde patria k významným faktorom obmedzujúcim rast kultúrnych plodín na pôdach so slabou až kyslou hodnotou pôdnej reakcie. K typickým príznakom hliníkovej toxicity patrí redukcia dĺžky koreňov spojená so znížením absorpcie živín a vody, odumieranie koreňového meristému, redukcia príjmu vápnika a horčíka vplyvom kompetitívnej inhibície, redukcia príjmu dusíka ako aj zníženie metabolizmu železa inhibíciou redukcie trojmocného železa na dvojmocné. Cieľom práce je zhodnotiť aktuálnu distribúciu aktívneho hliníka (v poslednom odberovom cykle monitoringu pôd v poľnohospodársky využívaných kambizemiach) ako aj hodnotenie vývoja obsahu aktívneho hliníka v kambizemiach, ktoré s výmerou 26,8 % patria k hlavným predstaviteľom pôdneho krytu poľnohospodársky využívaných pôdy Slovenska.

Materiál a metóda

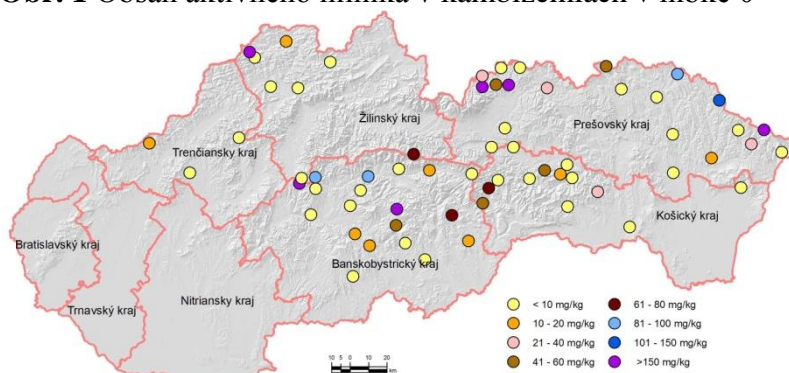
Ako materiál sme použili pôdne vzorky základnej siete Čiastkového monitorovacieho systému – pôda odobraté v 1. (rok 1993), 2. (rok 1997), 3. (rok 2004) 4. (rok 2007)

odberovom cykle zo skupín kambizemí (66 vzoriek) z hĺbok 0 - 10 cm a 35 - 45 cm. V pôdnych vzorkách bola stanovená aktívna pôdna reakcia, výmenná pôdna reakcia (v KCl) potenciometricky, obsah výmenných bázičkových katiónov a obsah a kvalita organickej hmoty v pôde (Kobza et al., 2009, Kolektív, 2011). Vo vzorkách s hodnotou pH v KCl nižšou ako 6,0 bol stanovený aktívny Al podľa Sokolova (Kolektív, 2011). Štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v programe STATGRAPHIC Centurion.

Výsledky a diskusia

Obsah aktívneho Al v kambizemiach v poslednom odberovom cykle (v hĺbke 0-10 cm) sa pohyboval od 0,10 do 308,00 mg.kg⁻¹ s priemernou hodnotou 37,17 mg.kg⁻¹ (obr. 1). Obsah aktívneho hliníka vo všetkých sledovaných skupinách pôd v rámci ČMS-P sa v roku 2007 pohyboval v rozsahu od 0,10 do 684,00 mg.kg⁻¹, najvyššia priemerná hodnota v hĺbke 0 – 10 cm 455,57 mg.kg⁻¹ bola stanovená v skupine pôd podzoly, rankre a litozeme (Kobza et al., 2009, Kobza et al 2012). Obsah aktívneho Al v podorničí, kde je významným faktorom depresie prerastania koreňov do hĺbky a spôsobuje zníženie fyziologickej hĺbky pôdy sa v kambizemiach pohyboval od 0,10 do 470 mg.kg⁻¹. Pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov Al³⁺/Ca²⁺, ktorý indikuje stupeň degradácie pôdy, sa v kambizemiach pohyboval od 0,01 do 171,10 s priemernou hodnotou 10,78. Kritická hladina tohto pomeru je pre citlivé plodiny 0,50 a pre menej citlivé plodiny 1,00 (Grišina, Baranova, 1990). Vysoký stupeň degradácie pôdy sme však stanovili aj v skupinách kambizemí využívaných ako orné pôdy, kde až 66 % zo sledovaných lokalít má hodnotu pomeru Al³⁺/Ca²⁺ vyššiu ako 1,00.

Obr. 1 Obsah aktívneho hliníka v kambizemiach v hĺbke 0 – 10 cm



Štatistická distribúcia vybraných parametrov a obsahu aktívneho hliníka v celom súbore kambizemí je uvedená v tabuľke 1, v kambizemiach podľa druhu pozemku (orné pôdy a trávne porasty) v tabuľke 2 a 3 a v skupine kambizemí vyvinutých na flyši využívaných ako trávny porast v tabuľke 4.

Tab. 1 Štatistická distribúcia vybraných parametrov v kambizemiach (hĺbka 0 – 10 cm)

	parameter							
	Al mg.kg ⁻¹	pH v KCl	Cox %	Q ₆ ^d	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
					cmol.kg ⁻¹			
priemer	37,179	4,914	2,826	5,620	0,223	1,071	8,969	1,519
medián	8,325	4,880	2,681	5,630	0,120	0,720	8,325	1,115
minimum	0,100	3,530	0,992	3,700	0,001	0,100	1,310	0,170
maximum	308,000	6,000	6,947	8,070	0,950	9,010	21,060	4,770
st. odchýlka	64,275	0,775	1,148	0,820	0,257	1,502	4,679	1,098

Tab. 2 Štatistická distribúcia vybraných parametrov (hĺbka 0–10 cm) – kambizeme orné pôdy

	parameter							
	Al mg.kg-1	pH v KCl	Cox %	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
					cmol.kg ⁻¹			
priemer	22,874	5,220	2,369	5,833	0,295	1,686	8,813	1,627
medián	4,955	5,335	2,136	5,870	0,135	0,970	8,505	1,395
minimum	0,100	3,530	1,012	4,098	0,001	0,280	1,310	0,170
maximum	182,000	6,00	4,422	8,074	0,840	9,010	17,810	4,490
st. odchýlka	41,933	0,750	0,807	0,858	0,279	2,092	4,665	1,163

Tab. 3 Štatistická distribúcia vybraných parametrov (hĺbka 0–0 cm) –kambizeme trávne porasty

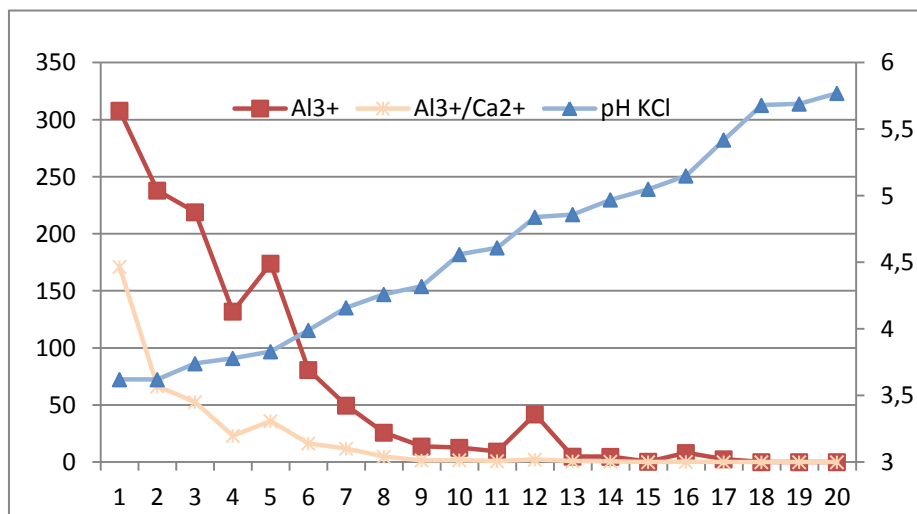
	parameter							
	Al mg.kg-1	pH v KCl	Cox %	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
					cmol.kg ⁻¹			
priemer	45,353	4,768	3,087	5,500	0,182	0,720	9,058	1,457
medián	12,355	4,585	2,926	5,485	0,095	0,510	8,325	1,050
minimum	0,100	3,620	0,992	3,698	0,001	0,100	1,800	0,200
maximum	308,00	6,00	6,947	8,055	0,950	5,280	21,060	4,770
st. odchýlka	73,314	0,742	1,238	0,784	0,238	0,879	4,741	1,068

Tab. 4 Štatistická distribúcia vybraných parametrov (hĺbka 0–0 cm) –kambizeme vyvinuté na flyši trávne porasty

	parameter							
	Al mg.kg-1	pH v KCl	Cox %	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
					cmol.kg ⁻¹			
priemer	87,708	4,802	2,761	5,604	0,170	0,378	8,118	1,148
medián	9,370	4,804	2,448	5,616	0,121	0,320	7,330	0,880
minimum	0,100	3,620	1,103	4,098	0,001	0,100	1,800	0,300
maximum	308,000	6,000	4,745	8,074	0,950	1,030	19,440	3,050
st. odchýlka	91,091	0,863	1,001	0,806	0,206	0,329	4,424	0,732

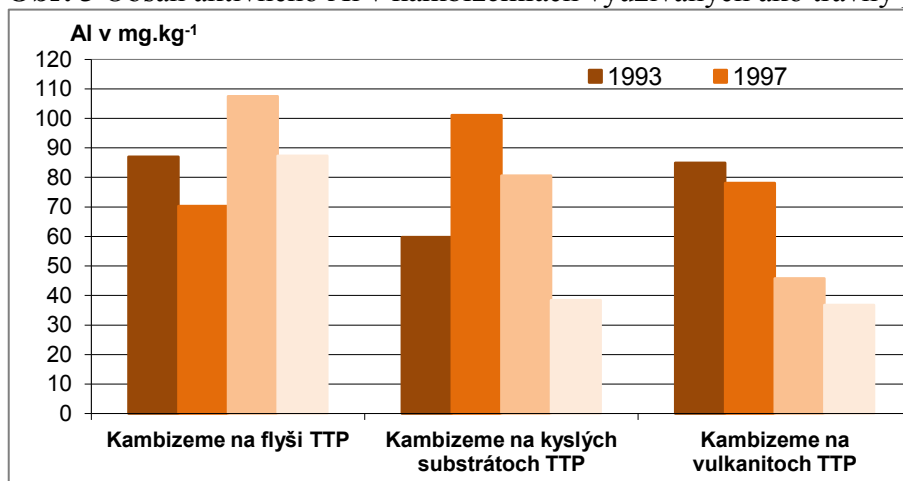
Výrazne nižšie priemerné hodnoty sme namerali v kambizemiach využívaných ako orné pôdy (22,874 mg.kg⁻¹) oproti kambizemiám, ktoré sú využívané ako trávny porast (45,355 mg.kg⁻¹) (tab.2, 3), najvyšší priemerný obsah aktívneho hliníka sme stanovili v skupine kambizemí vyvinutých na flyši (tab. 4). Obsah aktívneho hliníka v skupine kambizemí vyvinutých na flyši v kontexte s hodnotou pôdnej reakcie a indikátorom degradácie pôdy Al³⁺/Ca²⁺ je na obrázku 2.

Obr. 2 Obsah aktívneho hliníka v skupine kambizemí vyvinutých na flyši v kontexte s hodnotou pôdnej reakcie a indikátorom degradácie pôdy Al^{3+}/Ca^{2+}

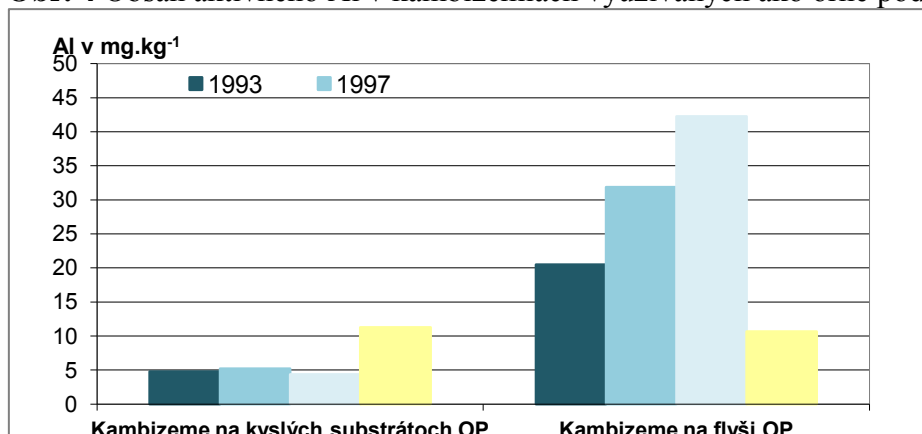


V priebehu monitorovania (od roku 1993 až 2007) k najvýraznejším zmenám došlo v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (TTP) a v skupine kambizemí na vulkanitoch, kde sa obsah aktívneho Al výrazne znížil (v kontexte so zmenou hodnoty pôdnej reakcie) v porovnaní s 1. odberovým cyklom (obr. 3). Nepriaznivý trend sme zaznamenali na OP, kde došlo k nárastu obsahu aktívneho Al v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach a to o 135 % v porovnaní s rokom 1993 (obr. 4), naopak, znížil sa priemerný obsah aktívneho hliníka v skupine kambizemí na flyši, orné pôdy.

Obr. 3 Obsah aktívneho Al v kambizemiach využívaných ako trávny porast



Obr. 4 Obsah aktívneho Al v kambizemiach využívaných ako orné pôdy



Spearmanove korelačné koeficienty vybraných parametrov a obsahu aktívneho hliníka v celom súbore kambizemí sú uvedené v tabuľke 4, v kambizemiach podľa druhu pozemku (orné pôdy a trávne porasty) v tabuľke 5 a 6 a v skupine kambizemí vyvinutých na flyši využívaných ako trávny porast v tabuľke 7. Rozdelením súboru kambizemí podľa druhu pozemku na orné pôdy a trávne porasty eliminujeme vplyv obhospodarovania na vzájomné vzťahy sledovaných parametrov, analýzou jednej skupiny kambizemí trávne porasty vyvinutých na flyši eliminujeme vplyv rôznych substrátov na vzájomné vzťahy sledovaných parametrov.

Tab. 4 Spearmanove korelačné koeficienty v súbore kambizemí (n = 66)

	Al	pH v KCl	Cox	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Al	1	-0,72	0,40	0,12	0,09	-0,21	-0,54	-0,40
pH v KCl		1	-0,51	0,10	-0,27	0,14	0,51	0,38
Cox			1	0,10	0,19	0,03	-0,10	-0,10
Q ₆ ⁴				1	0,15	0,27	-0,17	-0,10
Na ⁺					1	0,30	-0,21	-0,16
K ⁺						1	0,27	0,22
Ca ²⁺							1	0,69
Mg ²⁺								1

Tab. 5 Spearmanove korelačné koeficienty v súbore kambizemí –orné pôdy (n = 24)

	Al	pH v KCl	Cox	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Al	1	-0,77	0,38	0,14	0,36	-0,11	-0,58	-0,39
pH v KCl		1	-0,36	-0,26	-0,67	-0,10	0,57	0,32
Cox			1	0,21	0,42	0,41	0,10	-0,20
Q ₆ ⁴				1	0,18	0,11	-0,10	0,16
Na ⁺					1	0,38	-0,15	-0,13
K ⁺						1	0,46	0,28
Ca ²⁺							1	0,66
Mg ²⁺								1

Tab. 6 Spearmannove korelačné koeficienty v súbore kambizemí – trávny porast (n=42)

	Al	pH v KCl	Cox	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Al	1	-0,66	0,34	0,17	0,10	-0,21	-0,55	-0,42
pH v KCl		1	-0,41	0,10	-0,15	0,21	0,52	0,40
Cox			1	0,11	0,22	-0,10	-0,10	-0,10
Q ₆ ⁴				1	0,10	0,43	-0,23	-0,24
Na ⁺					1	0,10	-0,25	-0,22
K ⁺						1	0,13	0,14
Ca ²⁺							1	0,71
Mg ²⁺								1

Tab. 7 Spearmannove korelačné koeficienty v súbore kambizemí vyvinutých na flyši – trávny porast (n=20)

	Al	pH v KCl	Cox	Q ₆ ⁴	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Al	1	-0,75	0,52	0,17	0,10	-0,43	-0,61	-0,47
pH v KCl		1	-0,34	-0,20	0,10	0,52	0,79	0,60
Cox			1	0,13	-0,29	-0,37	-0,10	0,15
Q ₆ ⁴				1	-0,15	0,10	-0,24	-0,18
Na ⁺					1	-0,16	-0,16	0,10
K ⁺						1	0,32	0,10
Ca ²⁺							1	0,66
Mg ²⁺								1

Bolt – štatisticky preukazná korelácia na hladine $\alpha = 0,05$

Štatisticky preukazná je záporné korelácia aktívneho hliníka s hodnotou pôdnej reakcie a kladná korelácia s obsahom výmenného vápnika a to vo všetkých sledovaných súborech. Okrem kambizemí využívaných ako orné pôdy je preukazný aj vzťah aj medzi obsahom aktívneho hliníka a obsahom organickej hmoty v pôde a obsahom výmenného horčíka. Postupným znižovaním faktorov variability najvýraznejšia ostáva závislosť medzi obsahom aktívneho hliníka a hodnotou pôdnej reakcie, zvyrazňuje sa závislosť aktívneho hliníka výmenného vápnika a horčíka.

Regresná analýza obsahu aktívneho hliníka a pôdnej reakcie v celom súbore kambizemí, v kambizemiach podľa druhu pozemku (orné pôdy a trávne porasty) a v skupine kambizemí vyvinutých na flyši využívaných ako trávny porast je uvedená tabuľke 8.

Tab. 8 Regresná analýza

	Regresný model	Korelačný koeficient	R ² v %	F- pomer	MAE	P- hodnota
Kambizeme	$Y = \exp(14,6706 - 2,60562 * X)$	-0,86	74,42	186,15	0,907	0,0000
Kambizeme – OP	$Y = (35,7916 - 19,7483 * \ln(X)) ^ 2$	-0,87	76,25	70,62	0,829	0,0000
Kambizeme-TTP	$Y = \exp(-11,0757 + 61,622/X)$	-0,89	79,26	153,82	0,689	0,0000
Kambizeme na flyši-TTP	$Y = \exp(16,6696 - 3,08098 * X)$	-0,94	88,25	157,77	0,664	0,0000

Y = aktívny Al, X = pH v KCl, MAE –stredná absolútna chyba

Záver

V priebehu monitorovania k najvýraznejším zmenám došlo v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (TTP) a v skupine kambizemí na vulkanitoch, kde sa obsah aktívneho Al výrazne znížil v porovnaní s 1. odberovým cyklom. Nepriaznivý trend

sme zaznamenali na orných pôdach, kde došlo k nárastu obsahu aktívneho Al v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach a to o 135 % v porovnaní s rokom 1993. Pomer ekvivalentných množstiev výmenných kationov Al^{3+}/Ca^{2+} , ktorý indikuje stupeň degradácie pôdy, sa v poslednom monitorovacom cykle pohyboval od 0,01 do 171,10 s priemernou hodnotou 10,78. Kritická hladina tohto pomeru je pre citlivé plodiny 0,50 a pre menej citlivé plodiny 1,00. Vysoký stupeň degradácie pôdy sme stanovili v skupine kambizemí využívaných ako orné pôdy, kde až 66 % zo sledovaných lokalít má hodnotu pomeru Al^{3+}/Ca^{2+} vyššiu ako 1,00. Preukazná záporná korelácia obsahu aktívneho hliníka s hodnotou pôdnej reakcie v celom súbore kambizemí zvyrazňuje potenciálne nebezpečenstvo acidifikácie, ktoré je úzko spojené s nárastom obsahu aktívneho hliníka.

Literatúra

- GRIŠINA L. A., BARANOVA T.A. (1990): Vplyv kyslých zrážok na vlastnosti pôd lesného ekosystému južnej tajgy. Lesné pôdoznanectvo, 10: 121-136
- HIRADATE S. (2004): Speciation of Aluminium in Soil Environments. Soil.Sci.Plant Nutr. ,50 (3): 303-314
- KANIANSKA R. (2000): Acidifikácia pôd vplyvom kyslých atmosférických polutantov. PEDO-DISERTATIONES, Bratislava: VÚPOP Bratislava, 96 pp. ISBN 80-85361-73-6
- KOBZA J., BARANČIKOVÁ G., ČUMOVÁ L., DODOK R., HRIVŇÁKOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., NÁČINIÁKOVÁ-BEZÁKOVÁ Z., PÁLKA B., PAVLENDÁ P., STYK, J., ŠIRÁŇ, M., TÓTHOVÁ, G. (2009). Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Bratislava, 200pp., ISBN 978-80-89128-54-9
- KOBZA J., BARANČIKOVÁ G., DODOK R., HRIVŇÁKOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., STYK J., ŠIRÁŇ M. (2012): *Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja. Záverečná správa*, Bratislava. VUPOP Bratislava
- KOLEKTÍV (2011): Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. Bratislava: VUPOP Bratislava, 124pp. ISBN 978-80-89128-89-1
- KOZÁK J., BORŮVKA L. (1998): Species of Al ions as related to some characteristics of both agricultural and forest soils of the Šumava region. Rostlinná výroba, 44:419-426
- MAKOVNÍKOVÁ J., KANIANSKA R. (1996): Aktívny hliník a jeho súčasný stav v pôdach SR. Rostlinná výroba, 42/7: 289-292
- MAKOVNÍKOVÁ, J. (2002): Stav a vývojové trendy aktívneho hliníka v pôdach SR. Poľnohospodárstvo 12: 619 – 624
- MAKOVNÍKOVÁ, J.(2005): Vplyv pôdnych parametrov na distribúciu hliníka v pôdach SR. Agriculture 8, vol. 51: 436 – 441
- MERIÑO-GERGICHEVICH, J. (2010): $Al^{3+} - Ca^{2+}$ interaction in plants growing in acid soils: AL-phytotoxicityresponse to calcereous amendment. Soil. Sci. Plant Nutr. 10 (3): 217 -243

Časové zmeny vlhkosti rôznych druhov poľnohospodárskych pôd

Katarína Nováková, Vladimír Píš, Igor Sobocký
Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 82713 Bratislava

Abstrakt

Časové zmeny vlhkosti poľnohospodárskych pôd boli získané priamym meraním v rokoch 2009 až 2012. Na základe zrnitostného zloženia pôdy boli vybrané štyri monitorovacie lokality na Záhorskej nížine s rôznym druhom pôdy. Na týchto lokalitách boli stanovené základné hydrofyzikálne charakteristiky pôdy. Priebeh vlhkosti pôdy v charakteristických hĺbkach pôdneho profilu 0,20 m, 0,60 m a 1,00 m (orničná vrstva, koreňová zóna a oblasť zvyčajne už ovplyvňovaná hladinou podzemnej vody) sa vyhodnotil vzhľadom k charakteristickým hydrolimitom (poľná vodná kapacita, bod zníženej dostupnosti a bod vädnutia). Rok 2010 bol zrážkovo veľmi vlhký a letný polrok bol dokonca mimoriadne vlhký, pričom koncom mája 2010 došlo až k zaplaveniu stanovišť na lokalitách Veľké Leváre a Jakubov, vlhkosť pôdy prekročila poľnú vodnú kapacitu. Vo vegetačných obdobiach, najmä v suchom roku 2012, klesala vlhkosť v pôde do takej miery, že by bolo vhodné použiť doplnkovú závlahu. Veľký deficit vody v pôde a potreba zavlažovania sa prejavili najmä na lokalite s piesočnatou pôdou a s nízkou retenciou. Na tejto lokalite sa vlhkosť pôdy približovala k bodu vädnutia nielen v orničnej vrstve, ale aj v hĺbke 0,60 m.. Hĺbka 1,0m je už často ovplyvňovaná hladinou podzemnej vody, preto vlhkosť pôdy v tejto hĺbke na všetkých lokalitách stúpala nad poľnú kapacitu. Pravidelný monitoring vlhkosti v nenasýtenej oblasti pôdneho profilu umožní získať dlhodobé údaje, ktoré poslúžia na verifikáciu matematických modelov. Použitím matematických modelov možno simulovať vodný režim pôdy na danom území a uskutočniť prognózu jeho zmien v súvislosti s klimatickou zmenou a antropogénnou činnosťou.

Kľúčové slová: vlhkosť pôdy, pôdny druh, hydrolimity

Úvod

Vzájomné spolupôsobenie procesov pohybu vody v atmosfére a na povrchu pôdy, v zóne aerácie pôdy a pod hladinou podzemnej vody determinuje vodný režim pôdy. Dôležitou súčasťou vodného režimu pôdy je zmena vlhkosti v pôde. Preto sa často nazýva režim vlhkosti pôdy alebo vlhkosť režim pôdy. Poznanie dynamiky vody v nenasýtenej zóne pôdy je potrebné pre hodnotenie zásobovania rastlinného krytu vodou, hodnotenie retenčných vlastností jednotlivých horizontov, pre stanovenie smeru pohybu vody v nenasýtenej oblasti pôdy ako časti hydrologického cyklu, pre ochranu podzemných vôd proti znečisteniu prienikom znečisťujúcich látok z pôdneho profilu a pre zefektívnenie závlah poľnohospodársky využívaných plôch. Získať vlhkosti pôdy v jednotlivých pôdnych horizontoch možno dvomi spôsobmi: priamym meraním vlhkosti pôdy vhodnými metódami

alebo simuláciou matematickými modelmi vodného režimu pôd. V súčasnosti je u nás simulácia matematickými modelmi veľmi využívaná vzhľadom na to, že metódy priameho merania vlhkosti pôdy sú náročné na čas, pracovníkov a sú veľmi drahé (BENETIN a kol., 1985, MAJERČÁK, NOVÁK, 1992, ŠIMUNEK a kol., 1997, TAKÁČ, 1999).

Aj napriek časovej, prístrojovej a personálnej náročnosti priamych meraní je úspešné matematické modelovanie nemožné bez priameho monitoringu, ktorý je potrebný na verifikáciu matematických modelov.

Materiál a metóda

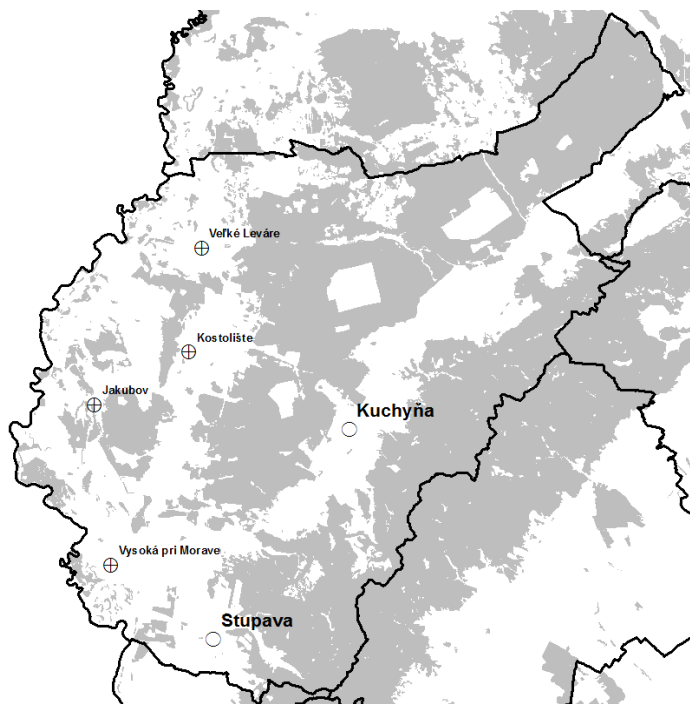
Časové zmeny vlhkosti boli získané priamym meraním v rokoch 2009 až 2012. Na základe zrnitostného zloženia pôdy boli vybrané štyri monitorovacie lokality na Záhorskej nížine s rôznym druhom pôdy:

1. Veľké Leváre, piesočnatá pôda, regozem kultizemná silikátová;
2. Kostolište, hlinitopiesočnatá pôda, čiernica kultizemná;
3. Jakubov, piesočnatohlinitá pôda, čiernica kultizemná glejová;
4. Vysoká pri Morave, hlinitá pôda, fluvizem kultizemná glejová.

Na týchto lokalitách boli stanovené základné hydrofyzikálne charakteristiky pôdy: zrnitostné zloženie, retenčné krivky a nasýtená hydraulická vodivosť pôdy. Z retenčných kriviek boli určené hydrolimity, t. j. charakteristické vlhkosti pôdy, ktoré sú dôležité z hľadiska zásobovania rastlín vodou. Určila sa poľná vodná kapacita, bod zníženej dostupnosti a bod vädnutia.

Meranie vlhkosti pôdy a hĺbky hladiny podzemnej vody sa uskutočňovalo v dvojtýždňových intervaloch vo vegetačnom období a v mesačných intervaloch v mimovegetačnom období. Meralo sa každých 0,10 m až po hladinu podzemnej vody. Na meranie vlhkosti bola použitá neutrónová metóda, ktorá bola kalibrovaná gravimetrickou metódou. Hĺbka hladiny podzemnej vody sa merala vo vybudovaných sondách na každom stanovišti.

Obr. 1 Poloha vybraných lokalít a meteorologických staníc



Tab. 1 Priemerná teplota vzduchu T [$^{\circ}\text{C}$] a zrážkové úhrny Z [mm] za rok a letný polrok (LP) v rokoch 2009 až 2012 na meteorologických staniciach Stupava a Kuchyňa

Stanica	Rok	T [$^{\circ}\text{C}$]		Z [mm]	
		LP	rok	LP	rok
Stupava	2009	17,3	10,3	384	785
	2010	16,2	9,5	645	823
	2011	16,6	9,8	491	617
	2012	18,0	10,7	245	482
Kuchyňa	2009	17,7	10,5	405	824
	2010	16,4	9,5	758	955
	2011	17,1	10,2	483	650
	2012	18,0	10,7	253	509

Výsledky

Priebeh vlhkosti pôdy v charakteristických hĺbkach pôdneho profilu 0,20 m, 0,60 m a 1,00 m (orničná vrstva, koreňová zóna a oblasť zvyčajne už ovplyvňovaná hladinou podzemnej vody) v rokoch 2009 až 2012 sa vyhodnotil vzhľadom k hydrolimitom, ktoré sú dôležité z hľadiska zásobovania rastlín vodou, t.j. k poľnej vodnej kapacite, bodu zníženej dostupnosti a bodu

vädnutia. Zrážky, evapotranspirácia a hladina podzemnej vody pod terénom výrazne ovplyvňuje vlhkosť režim pôdy na vybraných lokalitách. Obsah vody v pôde závisí aj od retenčnej schopnosti pôd, ktorá je rozdielna na vybraných lokalitách a závisí predovšetkým od druhu pôdy. Na vybraných lokalitách sa hladina podzemnej vody pohybovala maximálne do 2,4 m pod terénom v suchých obdobiach a v období dostatočných zrážok vystupovala extrémne až k povrchu pôdy. Rok 2010 bol zrážkovo veľmi vlhký a letný polrok bol dokonca mimoriadne vlhký, čo sa prejavilo na vzostupe hladín podzemnej vody, pričom koncom mája 2010 došlo až k zaplaveniu stanovišť na lokalitách Veľké Leváre a Jakubov. Vlhkosť pôdy na týchto lokalitách prekročila poľnú vodnú kapacitu. Vo vegetačných obdobiach, najmä v roku 2012, pri poklese hladiny podzemnej vody a pri zvýšenej evapotranspirácii klesala vlhkosť vody v pôde pod bod zníženej dostupnosti, takže by bolo vhodné použiť doplnkovú závlahu. Veľký deficit vody v pôde a potreba zavlažovania sa prejavili najmä na lokalite Veľké Leváre, na ktorej je piesočnatá pôda s nízkou retenciou. Na tejto lokalite sa vlhkosť pôdy približovala k bodu vädnutia nielen v orníčnej vrstve pôdy, ale aj vo vrstve 0,60 m. Hĺbka 1,0 m je už často ovplyvňovaná hladinou podzemnej vody, preto vlhkosť pôdy v tejto hĺbke na všetkých lokalitách stúpala nad poľnú vodnú kapacitu a pôda bola nasýtená vodou.

Záver

Pravidelný monitoring vlhkosti v nenasýtenej oblasti pôdneho profilu umožní získať dlhodobé údaje, ktoré poslúžia na verifikáciu matematických modelov. Použitím matematických modelov možno simulovať vodný režim pôdy na danom území a uskutočniť prognózu jeho zmien v súvislosti s klimatickou zmenou a antropogénnou činnosťou.

Literatúra

BENETIN, J., ŠOLTÉSZ, A., ŠTEKAUEROVÁ, V. (1985). Metodika stanovenia kvantitatívnych charakteristík dynamiky zásob vody v pôde pomocou bilančného matematického modelu. Záverečná správa. ÚHH SAV, Bratislava

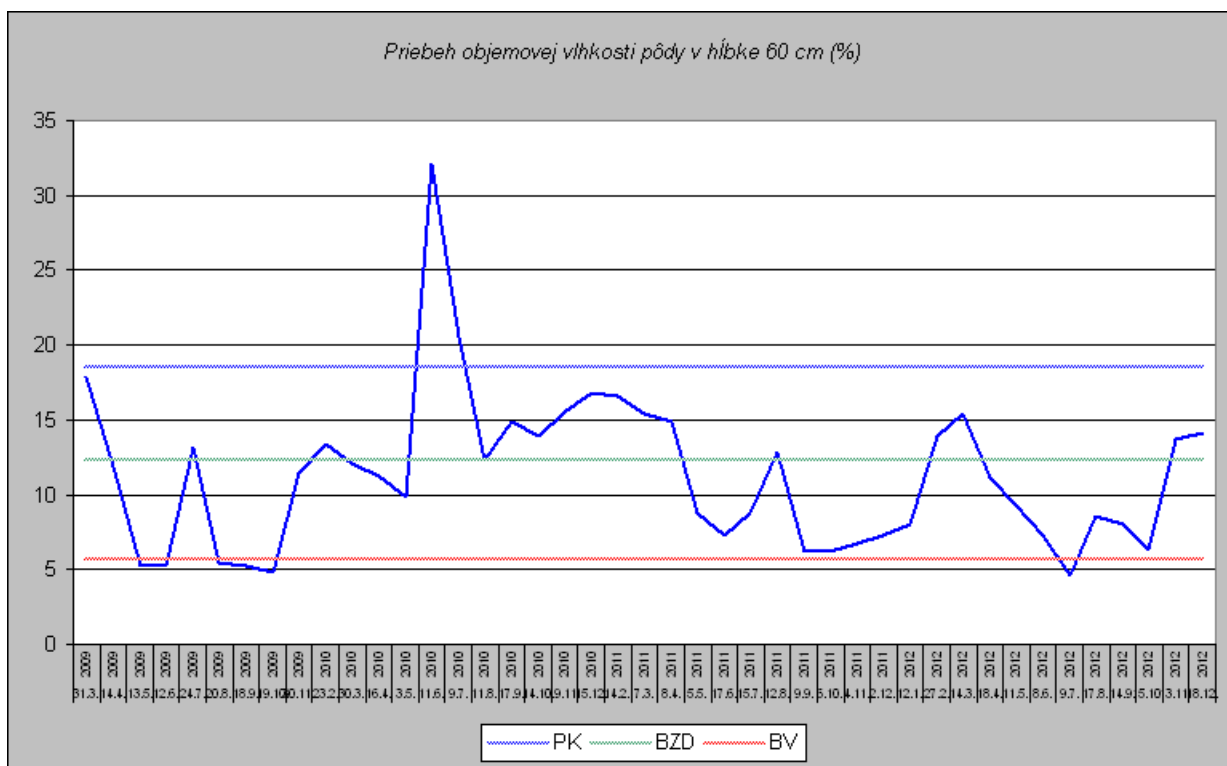
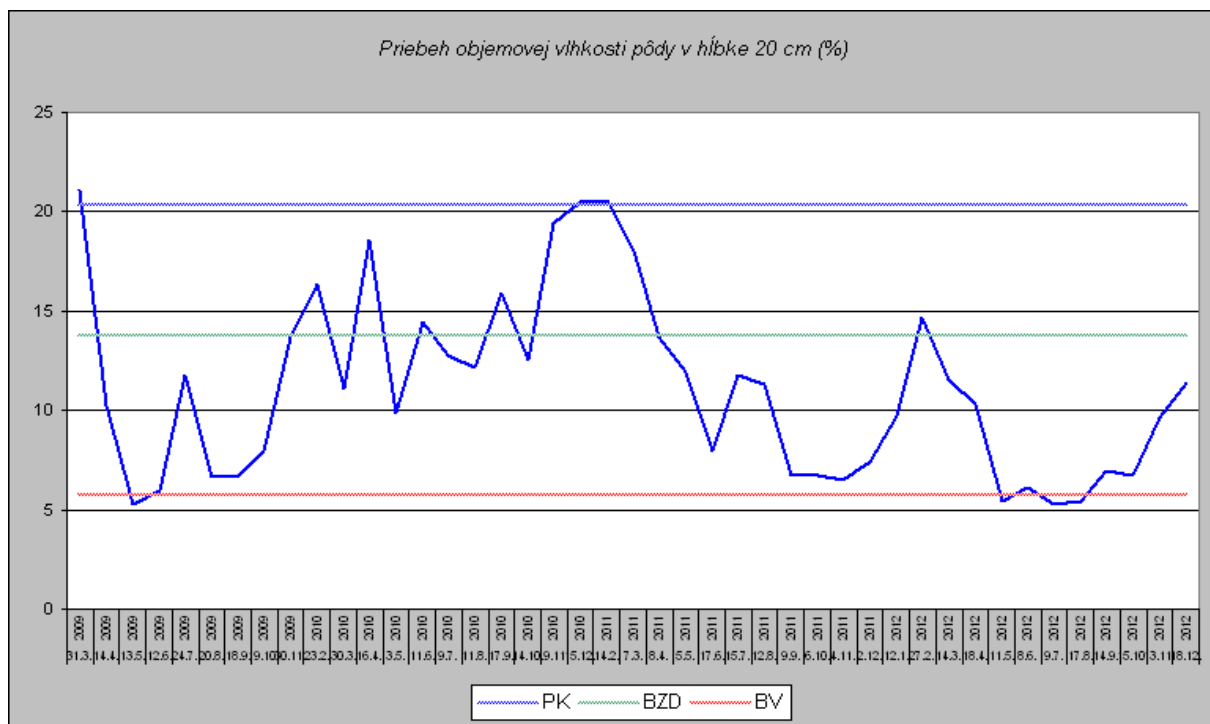
MAJERČÁK, J., NOVÁK, V. (1992). Simulation of the soil water dynamics in root zone during the vegetation period. I. Simulation model. J. Hydrol. Hydromech., 40, 299-315.

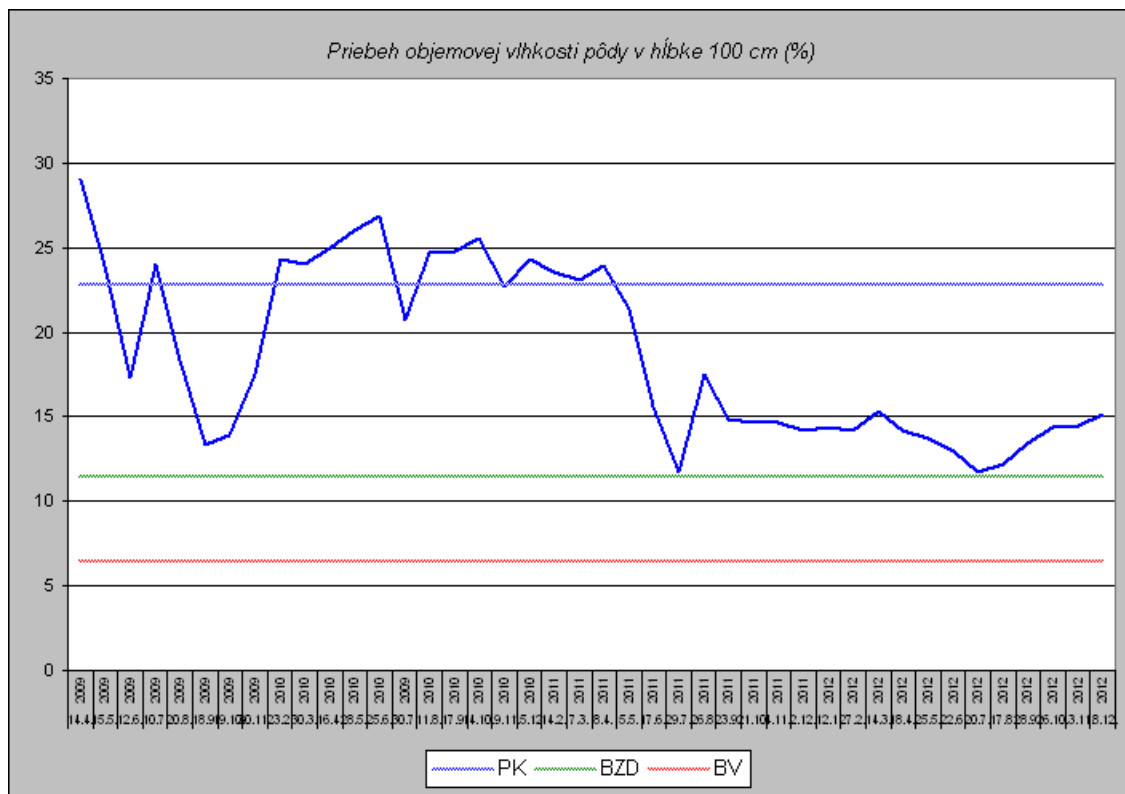
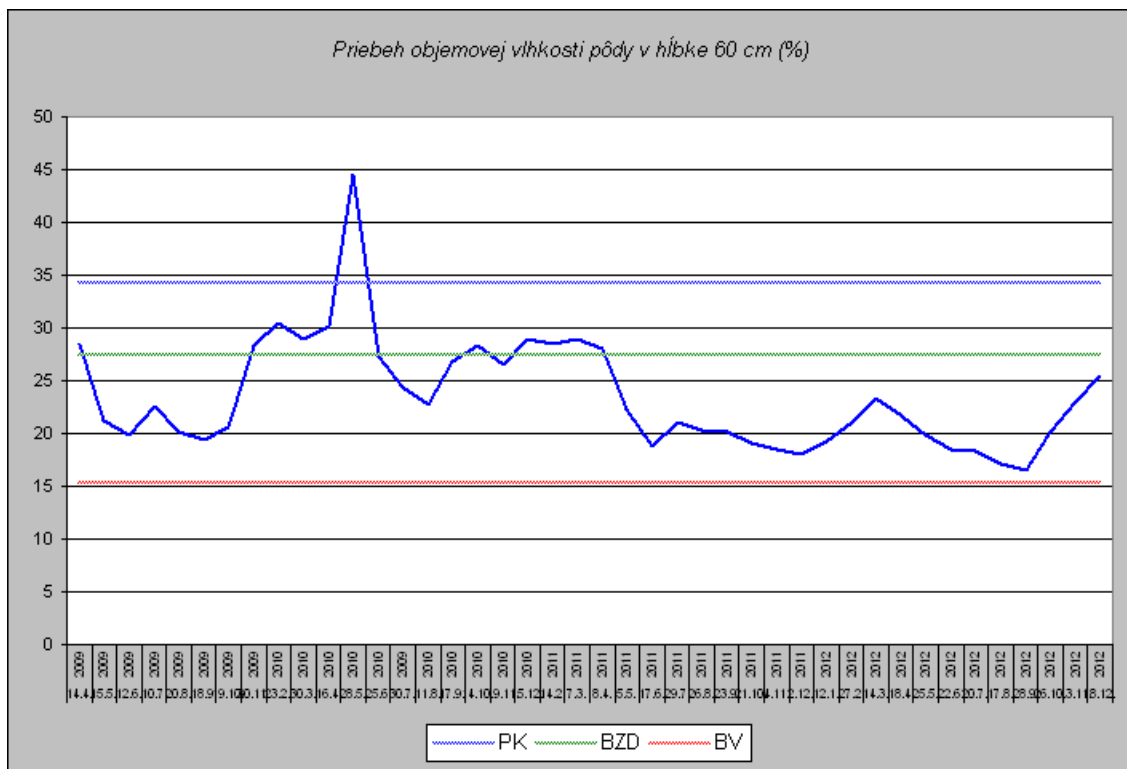
ŠIMŮNEK, J., HUANG, S., ŠEJNA, J., van GENUCHTEN, M. Th., MAJERČÁK, J., NOVÁK, V., ŠŮTOR, J. (1997). The HYDRUS – ET software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media. Version 1.1. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava

TAKÁČ, J. (1999). Trend vývoja vodného režimu pôd pre modelové podmienky Žitného ostrova. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 24, 195-2008

Príspevok vznikol s finančnou podporou z projektu APVV-0271-07 a APVV-0139-10.

Lokalita Veľké Leváre





THE INFLUENCE TRACTORS RIGS FOR SOIL COMPACTION

VLIV TRAKTOROVÝCH SOUPRAV NA ZHUTNĚNÍ PŮDY

Martin Svoboda, Jan Červinka

Abstrakt

Příspěvek prezentuje vliv traktorových souprav na zhutnění půdy. Cílem polní měření bylo zaměřit se na zjištění penetrometrického odporu znázorňující utužení a zhutnění půdy vznikající pod koly zemědělské techniky. Bylo provedeno polní měření, u kterého byla zjištěna závislost penetrometrického odporu půdy na změně tlaku v pneumatice. Dále příspěvek porovnává jednotlivé otisky pneumatik při různém tlaku v pneumatice, použití dvoumontáže a pásového podvozku.

Klíčová slova: pneumatika, penetrometrický odpor, hmotnost, tlak v pneumatice

Úvod

Vliv pojezdů traktorových souprav na půdní vlastnosti je zkoumán velmi dlouho. V současnosti se zkoušejí nové konstrukce pneumatik s pružnou kostrou v jiných šetrných pojezdových ústrojí, jako jsou dvoumontáže, trojmontáže (v USA) a gumové pásy. Rozdílné požadavky uživatelů na použití pneumatik na silnici a v terénu vytváří rozdílné požadavky na výrobce pneumatik. V současnosti je požadován vyšší tlak potřebný pro jízdu po silnici, z důvodu lepší ovladatelnosti a komfortu jízdy. Ten je nevhodný pro tahové práce na poli, kde vyhledáváme nižší tlak v pneumatice z důvodu větší styčné plochy. Jsou tedy konstruovány pneumatiky, které tyto požadavky dokážou zvládnout při nahuštění pneumatik na konstantní tlak. Nové pneumatiky (XeoBib, AxioBib) viz obr. 1, zaručuje výborné vlastnosti při konstantním hustícím tlaku kolem 90 kPa (0,9 bar). Jejich konstrukce a speciálně vyvinutá bočnice zaručují dobré jízdní vlastnosti na silnici a výborné vlastnosti při tahových pracích na poli. U pneumatik se potvrdilo, že půdoochranný účinek je podstatně závislý na vnitřním tlaku v pneumatikách. Jestliže dojde ke zdvojení těchto pneumatik (při stejném tlaku), kontaktní plocha sólo pneumatiky se zvětší jen o 18 %, ale pokud se tlak u obou pneumatik o třetinu sníží, vzroste kontaktní plocha o 66 % (to odpovídá velmi široké pneumatice - více než 800 mm) a sníží se prokluz až o 30 % oproti vysokému tlaku v pneumatice, čímž dojde i k lepšímu přenosu síly traktoru na podložku. Pokud se jezdí po poli s tlakem v pneumatice jako po silnici je půdoochranný účinek omezen.

Materiál a metodika

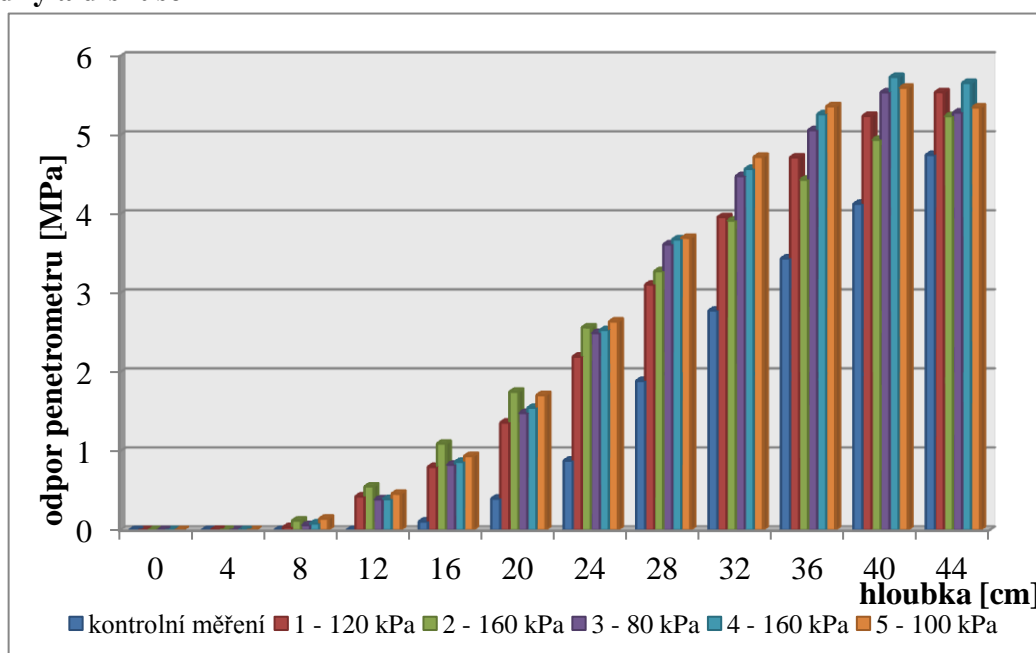
Penetrometrické měření se uskutečnilo na pozemku v obci Jezeřany – Maršovice, druh půdy je zde hlinitopísčité, středně lehká, bez skeletu. V době měření (2012) byl pozemek extrémně suchý, klimatický region je velmi teplý, suchý. Vlhkost pozemku v době měření byla ve 100 mm 16,5 %. Na pozemku byly provedeny dvě mělké podmínky talířovými bránami Dowlands DH 6000 do hloubky 70 - 100 mm a strojem Horsch Terrano 5 FX do hloubky 200 mm. Na vyznačených pěti drahách o šířce 5 m a délce 40 m. Od okraje 30 m probíhalo měření různých variant (viz tab. 1). Kontrolní měření bylo napříč vyznačeným prostorem v deseti

bodech. Měření probíhalo postupně se dvěma typy traktorů, jak je uvedeno v tab. 1. Pro stejné zatížení obou traktorů bylo použito rozmetadlo průmyslových hnojiv Rauch ALPHA 1142. U souprav bylo zaznamenáno jednotlivé zatížení náprav, údaje o rozměru pneumatik a provedena kontrola tlaku v pneumatikách. Při měření byla dodržena konstantní rychlostí 7 km.h⁻¹.

Tab. 1. Základní parametry měřených souprav

Číslo dráhy (varianta měření)	1	2	3	4	5
Energetický prostředek	Ford New Holland 8770				Z 16145
Agregace: nesené rozmetadlo	rozmetadlo Rauch Alpha 1142				
celková hmotnost [kg]	11300	11300	11550	11550	8200
hmotnost na přední nápravu [kg]	3100	3100	3100	3100	1650
hmotnost na zadní nápravu [kg]	8200	8200	8500	8500	6550
přední pneumatiky	Michelin Multibib 540/65 R30				Mitas 14,9-24 TD-04
zadní pneumatiky	Firestone 650/65 R42 Radial 9000 Evolution				Mitas 18,4-34 TD-02
zadní dvoumontáže	-	-	Kleber 20,8 R42 Super 9		-
tlak v předních pneu [kPa]	70	160	70	160	100
tlak v zadních pneu [kPa]	120	160	80	160	100
tlak v dvoumontážích [kPa]	-	-	80	160	-

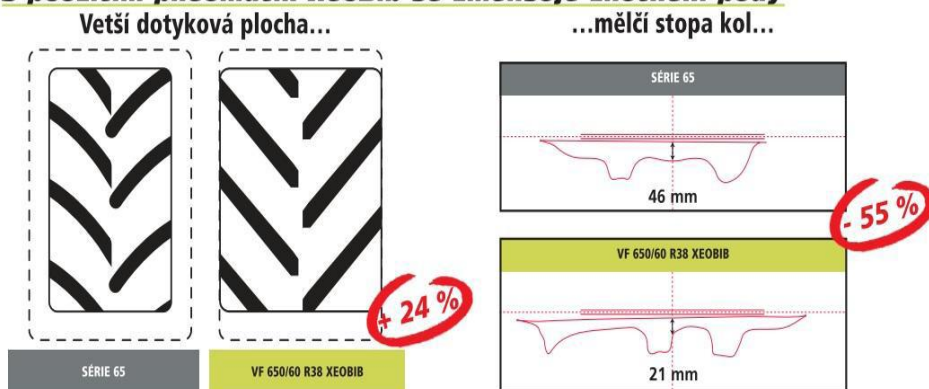
Výsledky a diskuse



Graf 1. Porovnání všech provedených měření

Jak je vidět (graf 1), tak nejmenší naměřený penetrometrický odpor byl u traktoru Ford 8770 bez dvoumontáží s tlakem 120 kPa. Naopak nejvyšší hodnoty odporu půdy vykazovalo měření diagonálních pneumatik u traktoru Zetor 16145. Zvětšení styčné plochy u dvoumontáží na traktoru Ford 8770 se v suchých podmínkách neprojevovalo. Naopak se ukázalo, že měly i záporný vliv, jelikož půda v kolejích po dvoumontážích byla stejně nebo více zhutněná. Z toho plyne, že při měření neměly dvoumontáže na velikost a hloubku zhutnění v danou chvíli pozitivní vliv. Díky dvoumontážím vznikala větší kolej a tím i větší ujetá plocha (viz obr. s plochami otisku). V porovnání s měřením Fordu bez dvoumontáží byla tato plocha o 1,27 m² větší (plocha otisku obou dvoumontáží). Dvoumontáže by byly dobré, pokud by byl traktor mnohem více zatížen, např. nesenou secí kombinací, nebo by pracoval na mokřem a velmi kyprém pozemku.

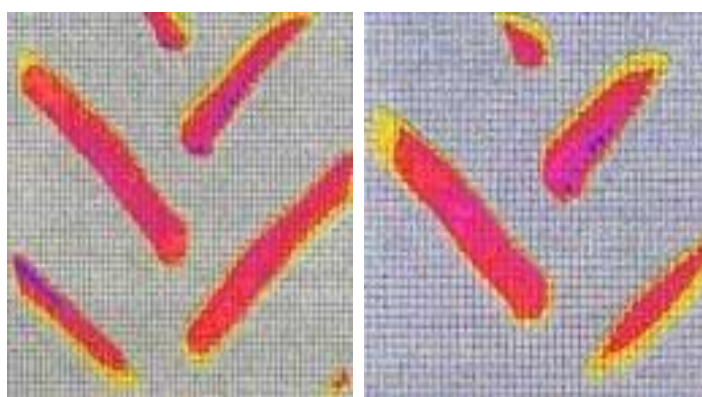
> S použitím pneumatik XeoBib se zmenšuje zhutnění půdy



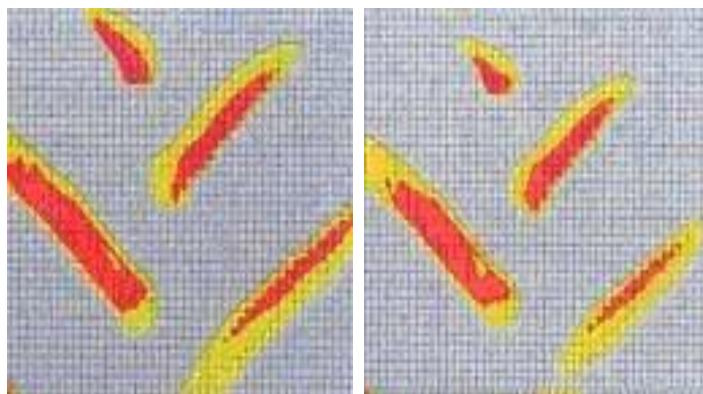
....díky tlaku 1 bar nebo menšímu = menší zhutnění půdy

Při nosnosti 3650 kg, v případě pneu série 65 je tlak 1,40 bar a v případě pneu XeoBib je tlak 0,9 bar

Obr. 1. Porovnání konvenční pneumatiky a pneumatiky Michelin XeoBib



Obr. 2. Otisk pneumatiky se standardním tlakem v pneumatice a při sníženém tlaku v pneumatice



Obr. 3. Otisk pneumatiky při použití dvoumontáže (trojmontáže) a pásu u pásového podvozku

Závěr

Nadměrné zhutnění půd je ovlivňováno faktory, jako jsou hmotnost stroje, šířka a typ pneumatik, nakypření půdy a vlhkost půdy. Ovšem u moderních traktorů se záměrně zvyšuje hmotnost, aby stroj dokázal přenést výkon motoru na podložku. Tento kompromis se výrobci řeší použitím širokoprofilových pneumatik umožňující průběžnou změnu hustícího tlaku. Kromě technických řešení je nutno nadále upřednostňovat agrotechnická řešení tj. snížení počtu operací, snížení hloubky zpracování a do půdy dodávat dostatečné množství organické hmoty. Technická a agrotechnická opatření snižují energetickou náročnost zpracování půdy při zachování její úrodnosti.

Přehled literatury:

1. ČÁP, M.: *Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě*, Diplomová práce, Mendelu v Brně, 2013, 63 s.
2. www.strompraha.cz Sortiment agro pneumatik a technické parametry. Prezentace firmy Michelin
3. <http://jos.marme.sweb.cz/pt.htm>

Adresy autorů:

- 1) Ing. Martin Svoboda, Mendelova univerzita v Brně, AF, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, +420 545 132 373, xsvobo66@node.mendelu.cz
- 2) doc. Ing. Jan Červinka, CSc, Mendelova univerzita v Brně, AF, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, +420 545 132 379, ceuzt@mendelu.cz

Změny půdního pH v dlouhodobých polních pokusech s rotací plodin

FILIP VAŠÁK, JINDŘICH ČERNÝ, ŠÁRKA SHEJBALOVÁ, MARTIN KULHÁNEK, Jiří BALÍK
Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol

Souhrn

Změny půdního pH byly stanoveny po čtrnácti letech trvání dlouhodobých polních pokusů Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Změny pH byly sledovány na stanovištích s odlišně půdně-klimatickými vlastnostmi v Praze - Suchdole (CEm) a v Lukavci - okr. Pelhřimov (KAg). Na obou stanovištích byly varianty s organickým a minerálním hnojením a kontrolní nehnojená varianta. Změny půdního pH byly stanoveny z hodnot pH půdních vzorků odebraných před založením pokusů a z hodnot pH vzorků odebraných po 14 letech trvání pokusů po sklizni jarního ječmene tj. po dokončené rotaci plodin. Na stanovišti Praha - Suchdol nedošlo k významným změnám pH na žádné variantě. Největší změnu měla kontrolní varianta, na které pH pokleslo o 0,11. Na stanovišti Lukavec došlo na všech variantách ke snížení půdního pH. Největší pokles o 0,71 pH měla varianta s aplikací NPK, následovaná kontrolní variantou se snížením pH o 0,63 a variantou s aplikací dusíku, kde došlo ke snížení pH o 0,46. Nejmenší pokles půdního pH zaznamenaly varianty s aplikací organických hnojiv. Konkrétně na variantě s aplikací hnoje, na které došlo ke snížení o 0,21 pH a na variantě s aplikací čistírenského kalu, kde došlo ke snížení pH o 0,22.

Klíčová slova: černozem, dlouhodobé polní pokusy, varianty hnojení, kambizem, půdní pH

Úvod

Jednou z nejdůležitějších půdních vlastností je půdní pH. Ovlivňuje přístupnost živin rostlinám, ovlivňuje složení a rozdělení půdních enzymů, mění rovnováhu v pevné fázi a tím ovlivňuje rostliny (DICKET *et al.*, 2000). Prakticky se pH půdy stanovuje jako výměnné nebo aktivní. Pro potřeby agrochemie (výpočet dávek vápenatých hnojiv pro vápnění) a pro kategorizaci půd podle pH se používá pH výměnné (SÁNKÁ *et al.* MATERNA, 2004). Výměnné pH se stanovuje v roztocích neutrálních solí CaCl_2 nebo KCl . Rozdíl mezi hodnotami $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ a pH_{KCl} není významný (ZBÍRAL, 2001). Změna půdního pH výrazně ovlivňuje minerální výživu rostlin (MARSCHNER *et al.*, 1987). Dále změny pH ovlivňují například kationtovou – aniontovou výměnou bilanci, uvolňování organických aniontů, kořenovou exudaci a respiraci a redoxové vazby (HINSINGER *et al.*, 2003). Proto musíme změny v půdním pH brát s obezřetností.

V zemědělských půdách dochází ke změnám pH vlivem hnojení (organickými a minerálními hnojivy), zpracování půdy, působením rostlin v osevním postupu apod. Velmi důležité jsou také posklizňové zbytky, jelikož působí příznivě na udržení půdního pH, ovšem tento efekt je silně ovlivněn půdními procesy a agronomickým hospodařením (BUTTERLY *et al.*, 2013). U minerálních hnojiv je počítán tzv. ekvivalent kyselosti / zásaditosti hnojiva, který vyjadřuje množství Ca , potřebné k eliminaci vznikající kyselosti resp. kolik alkalicky působícího Ca poskytuje na 100 kg hnojiva (VANĚK *et al.*, 2012).

Hodnoty pH, nebo jeho změny jsou také ovlivněny půdním druhem a typem. Půdní typ černozemě jsou hlubokohumózní půdy s černickým horizontem vyvinuté z karbonátových sedimentů, zatímco kambizemě s kambickým hnědým braunifikovaným horizontem se vyvíjí z pestrého spektra substrátů (NĚMEČEK *et al.*, 2001). Pufrační schopnost černozemí proti okyselení je velmi silná a naopak proti bázím je slabá (MARTINEC *et al.*, 2011).

Materiály a metody

Změny půdního pH byly sledovány v dlouhodobých polních pokusech na stanovištích v Lukavci a v Praze – Suchdole. V Lukavci je půdní typ kambizemoglejená (KAg) s půdním druhem písčité hlína, s průměrným obsahem 1,24 % organické hmoty a kvalitou organické hmoty dosahující průměrně hodnoty 6,37 podle barevného kvocientu $Q_{4/6}$. V Praze – Suchdole je půdní typ černozem modální (CEm) s půdním druhem prachovitá hlína, s průměrným obsahem 1,55 % organické hmoty a kvalitou organické hmoty dosahující průměrně hodnoty 3,73 $Q_{4/6}$. Další charakteristiky stanovišť jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Charakteristika stanovišť

Stanoviště	Lokalizace	Výrobní oblast	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrné roční srážky (mm)
Lukavec	49°33'23"N, 14°58'39"E	BVO	610	7,7	666
Praha - Suchdol	50°7'40"N, 14°22'33"E	ŘVO	286	9,1	495

Na obou stanovištích jsou shodně založeny varianty s různým způsobem minerálního a organického hnojení a jedné nehnojené kontrolní varianty. Osevní postup je ve sledu brambory – pšenice ozimá – ječmen jarní. Jednotlivé varianty hnojení s celkovými dávkami živin jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Dávky živin (kg/ha) v aplikovaných hnojivech za tříletý cyklus

Varianta	brambory			pšenice			ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kal	330 ¹⁾	201 ²⁾	55 ²⁾	0	0	0	0	0	0
Hnůj	330 ¹⁾	118 ²⁾	374 ²⁾	0	0	0	0	0	0
N 120	120	0	0	140	0	0	70	0	0
NPK	120	30	100	140	30	100	70	30	100
N+sláma	138	6 ²⁾	47 ²⁾	140	0	0	70	0	0

¹⁾ celkový dusík v organických hnojivech

²⁾ průměrná dávka podle obsahu živin v hnojivech

Organické hnojení se provádí na podzim vždy pod brambor. Minerální dusíkatá hnojiva ve formě ledku amonného s vápencem (LAV) jsou aplikována u brambor a ječmene před založením porostu, na bloku pšenice je dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny. První se aplikuje jako regenerační přihnojení, druhá jako produkční přihnojení.

Změny půdního pH byly stanoveny z hodnot pH půdních vzorků odebraných na každé variantě při založení polních pokusů a ze vzorků odebraných po 14 letech pokusu po dokončené rotaci plodin tj. po sklizni ječmene jarního. Z každé varianty o velikosti 60 m² v Lukavci a 60,5 m² v Suchdole byl odebrán směsný vzorek skládající se z 6 vpichů. Půdní pH bylo stanoveno pH metrem ve výluhu 0,2M KCl20/50 w/v.

Výsledky

Stanovené hodnoty půdního pH na jednotlivých variantách na obou stanovištích jsou uvedeny v tabulce 3.

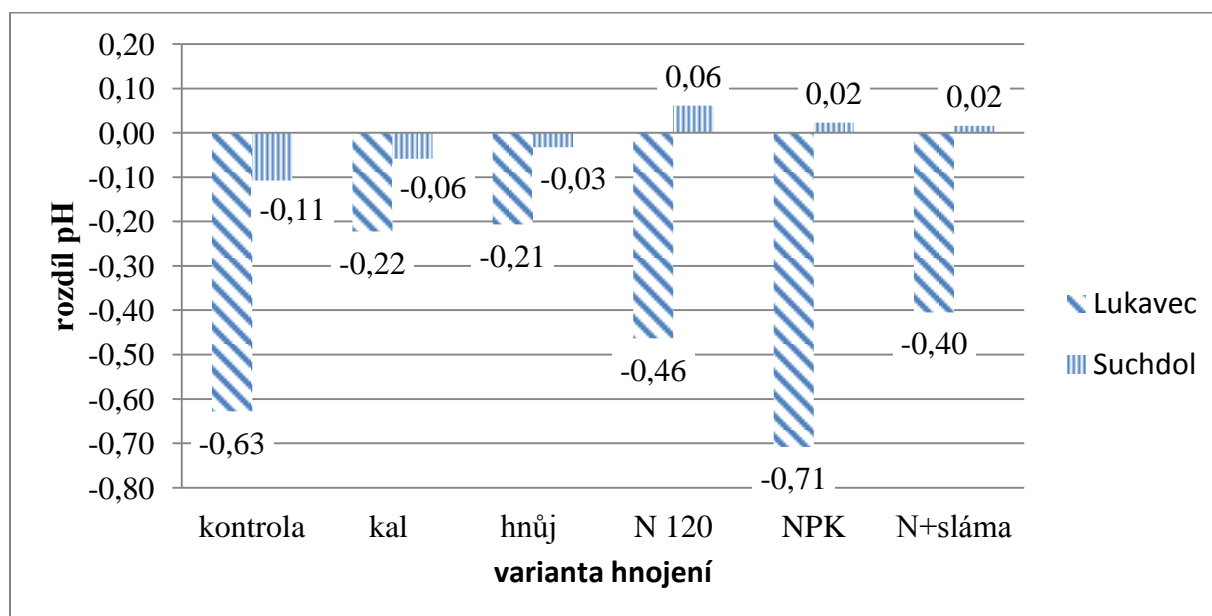
Tabulka 3. Hodnoty půdního pH v letech 1996 a 2010

lokality	LUKAVEC		SUCHDOL	
varianta	pH 1996	pH 2010	pH 1996	pH 2010
kontrola	5,37	4,74	7,13	7,02
kal	5,09	4,86	7,26	7,20
hnůj	5,25	5,04	7,29	7,26
N 120	4,98	4,52	7,21	7,27
NPK	5,29	4,58	7,27	7,29
N+sláma	5,22	4,81	7,30	7,32

Z tabulky 3 je patrné, že na stanovišti v Lukavci na všech variantách došlo k výraznějším změnám půdního pH a to k poklesu, naopak na Suchdolek takto výrazným změnám hodnot pH nedošlo.

V Lukavci byl zjištěn největší pokles pH na variantě NPK o 0,71 následovaný kontrolní variantou se snížením o 0,63 pH. Nejnižší pokles byl zjištěn na variantách s aplikací organických hnojiv, kde došlo k snížení pH o 0,21 na variantě hnůj respektive o 0,22 na variantě s aplikací kalu. V Praze – Suchdole nedošlo k žádným významným změnám půdního pH. Nejvyšší změnou je pokles pouze o 0,11 pH na kontrolní variantě.

V grafu 1 jsou uvedeny / znázorněny rozdíly pH po 14 letech trvání pokusu mezi oběma stanovišti na shodně hnojených variantách.



Graf 1. Porovnání rozdílu mezi hodnotami pH z roku 1996 a pH z roku 2010 na jednotlivých variantách hnojení sledovaných stanovišť

Největší rozdíl ve změnách pH mezi stanovišti v Lukavci a Suchdole je na variantách s minerálním hnojením (NPK, N 120), jelikož na Suchdole pH nekleslo a naopak v Lukavci pokleslo výrazně. Menší rozdíl ve změnách pH byl zjištěn na variantě s aplikací dusíku se slámou. Naopak na variantách s organickým hnojením byl rozdíl mezi změnami pH na obou stanovištích nejmenší.

Diskuze

Minimální změny půdního pH na černozemích v Praze – Suchdole jsou způsobené jejich silnou pufrací schopností proti okyselení. Shodný výsledek publikoval YANG *et al.* (2007), který na 22letém polním pokusu s minerálním a organickým hnojením nezpozoroval žádnou změnu pH v půdě s vysokým obsahem uhličitánů. Kambizem nemá pufrací schopnost jako černozem proti okyselení, a proto na stanovišti v Lukavci byly zjištěny významnější změny půdního pH z důvodu okyselení půdy na jednotlivých variantách. Nejvyšší pokles o 0,71 pH byl zaznamenán na variantě NPK. Na variantě s aplikací dusíku (N 120) byl pokles o 0,41 pH. Snížení pH bylo zapříčiněno zřejmě z důvodu okyselení půdy dusíkatým hnojivem a zvýšením mineralizace. Vztah mezi aplikací dusíku a poklesem pH popsalo mnoho autorů (FREPPAZ *et al.*, 2012; DIVITO *et al.*, 2011; a další). Přímý vliv mineralizace na snížení půdního pH popsal na základě polního pokusu DANCER *et al.* (1973). Nižší pokles pH u variant s aplikací organických hnojiv než u minerálních je způsoben dodáním organických látek do půdy a tím zamezením výkyvům pH, což koresponduje s výsledky 21 letého pokusu publikovaného ZHONG *et al.* (2010). BEDNAREK *et al.* (2012) zjistil vyšší pH a vyšší obsah organické hmoty na variantě s organickým hnojením (keřda) oproti variantě s aplikací minerálního hnojiva (NPK).

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory grantového projektu České zemědělské univerzity v Praze CIGA Vliv hnojení na bilanci živin a stanovení prostorové variability v dlouhodobých pokusech (č.: 20112003) a grantu Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů SV13-25-21140.

Použitá literatura

- BEDNAREK W., DRESLER S., TKACZYK P., HANAKA A. (2012): Available forms of nutrients in soil fertilized with liquid manure and NPK. *Journal of Elementology*, **17**: 169-180.
- BUTTERLY C.R., BALDOCK J.A., TANG C. (2013): The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. *Plant and Soil*, **366**: 185-198.
- DANCER W.S., PETERSON L.A., CHESTERS G. (1973): Ammonification and Nitrification of N as Influenced by Soil pH and Previous N Treatments. *Soil Science Society of America Journal*, **37**: 69-71.
- DICK W.A., CHENG L., WANG, P. (2000): Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**: 1915-1919.
- DIVITO A.G., ROZAS H.R.S., ECHEVERRÍA H.E., STUDDERT G.A., WYNGAARD N. (2011): Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampa soil under no tillage. *Soil and Tillage Research*, **114**: 117-126.
- FREPPAZA M., WILLIAMS M.W., SEASTEDT T., FILIPPA G. (2012): Response of soil organic and inorganic nutrients in alpine soils to a 16-year factorial snow and N-fertilization experiment, Colorado Front Range, USA. *Applied Soil Ecology*, **62**: 131-141.
- HINSINGER P., PLASSARD C., TANG C., JAILLARD B. (2003): Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil*, **248**: 43-59.

- MARSCHNER H., RÖMHELD V., ÇAKMAK I. (1987): Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition*, **10**: 1175-1184.
- MARTINEC, J., HLADKÝ, J., POSPÍŠILOVÁ, L., POKORNÝ, E. (2011): Hodnocení pufrací schopnosti černozemí a regozemí. In *Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd*. Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy. Kapitola 7, s. 56-61.
- NĚMEČEK J. et al. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- SÁŇKA M., MATERNA J. (2004): Indikátor kvality zemědělských a lesních půd. *Planeta*, **12**: 1-84.
- VANĚK V., BALÍK J., ČERNÝ J., PAVLÍK M., PAVLÍKOVÁ D., TLUSTOŠ P., VALTERA J. (2012): *Výživa zahradních plodin*. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-21472-2.
- YANG, S.M., MALHI, S.S., LI, F.M., SUO, D.R., XU, M.G., WANG, P., XIAO, G.J., JIA, Y., GUO, T.W., WANG, J.G. (2007): Long-term effects of manure and fertilization on soil organic matter and quality parameters of a calcareous soil in NW China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **170**: 234-243.
- ZBÍRAL J. (2001): Comparison of methods for soil pH determination. *Rostlinná výroba*, **47**: 463-466.
- ZHONG W., GU T., WANG W., ZHANG B., LIN X., HUANG Q., SHEN W. (2010): The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil*, **326**: 511-522.

MAPOVÁNÍ KOLUVIZEMÍ V HNĚDOZEMNÍCH OBLASTECH NA ZÁKLADĚ ANALÝZ DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU

Tereza Zádorová, Vít Penížek, Daniel Žížala, Šárka Čejková

Katedra pedologie a ochrany půd, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýčká 129, Praha 6, zadorova@af.czu.cz

Abstrakt

Koluvialní půdy jsou součástí půdní mozaiky vytvořené na zemědělských pozemcích působením dlouhodobé půdní eroze a sedimentace. Silná vazba na terénní jednotky umožňuje jejich mapování a predikci výskytu pomocí geostatistických metod a modelování terénu. Výskyt koluvizemí byl zkoumán na reliéfně členitém pozemku v hnědozemní sprašové oblasti CHKO Kokořínsko. Na základě podrobného terénního průzkumu a zpracování detailního modelu terénu byl zjišťován statistický vztah výskytu půdních jednotek, půdních charakteristik (hloubka půdy, mocnost půdních horizontů) a vybraných terénních vlastností. Koluvialní půdy byly identifikovány v depresních partiích pozemku, zatímco původní hnědozemě se vyskytovaly v erozně nepostižených plochých partiích a na svazích s nižším sklonem. Erozně exponované svahy byly tvořeny především erozními formami hnědozemí a regozeměmi. Areál koluvizemí je definován topografickým indexem, nadmořskou výškou a výškou nad odtokovou linií. Celkově je možné hodnotit redistribuci půdního materiálu na pozemku jako pomalejší, a to zejména ve srovnání se sprašovými oblastmi tvořenými černozeměmi. Specifická stratigrafie profilu hnědozemí se strukturně stabilním a jílem obohaceným Bt horizontem poněkud zpomaluje odnos ornice, která je tvořena humusovým materiálem smíšeným s iluviálním horizontem. Plocha půdy obnažené na půdní substrát je tak zanedbatelná. Hloubka koluvizemí dosahující 90-100 cm přesto ukazuje na výraznou a dlouhodobou redistribuci půdní hmoty v těchto oblastech.

Klíčová slova: půdní eroze, geostatistické metody, spraš

1. Úvod

Koluvizemě, vznikající depozicí půdního, zejména humózního, materiálu v důsledku intenzivní půdní eroze, zaujímají na našich zemědělských pozemcích nezanedbatelnou plochu. Jejich výskyt, vázaný především na konkávní prvky krajiny, jako jsou úpatí svahů, úpady či boční suchá údolí, umožňuje mapovat areál těchto půd nejen pomocí terénního průzkumu, ale i s využitím analýz digitálního modelu terénu a geostatistického zpracování terénních vlastností. Metoda digitálního mapování koluvizemí, využívající fuzzy klasifikace založené na podrobném terénním modelování, byla doposud vyvinuta a testována v oblasti černozemí (ZÁDOROVÁ et al. 2008, 2011). Dalším krokem ke komplexní delimitaci koluvizemí je mapování těchto půd v oblasti luvických půd. Hnědozemě a luvizemě mají, oproti například černozemím, výrazně heterogenní půdní profil, a to z pohledu zrnitosti i půdní struktury, tedy dvou vlastností silně ovlivňujících půdní erodibilitu. Na takto formovaných pozemcích je proto možné předpokládat složitější erozně-sedimentační poměry. Z hlediska odnosu půdních částic je zásadní zejména přítomnost luvického horizontu bohatého na jíl a s vyvinutou půdní strukturou. Pozitivní vliv stability půdních agregátů a zvýšeného obsahu jílu na odolnost půd vůči erozi byl potvrzen řadou studií (CANTÓN et al. 2009, BRONICK & LAL 2005).

Výzkum středoevropských koluvizemí v hnědozemních oblastech je poměrně široký. Většina studií se zabývá změnami ve struktuře půdního profilu a hloubce půdy (KLIMOWICZ & UZIAK 2001, TERHORST 2000, WOLF & FAUST 2013). Koluvizemě jsou díky svému dlouhodobému

kontinuálnímu vývoji též zdrojem poznání erozních procesů v holocénu a slouží tedy jako cenné geoarchivy (KADEREIT et al. 2010, POREBA et al. 2011).

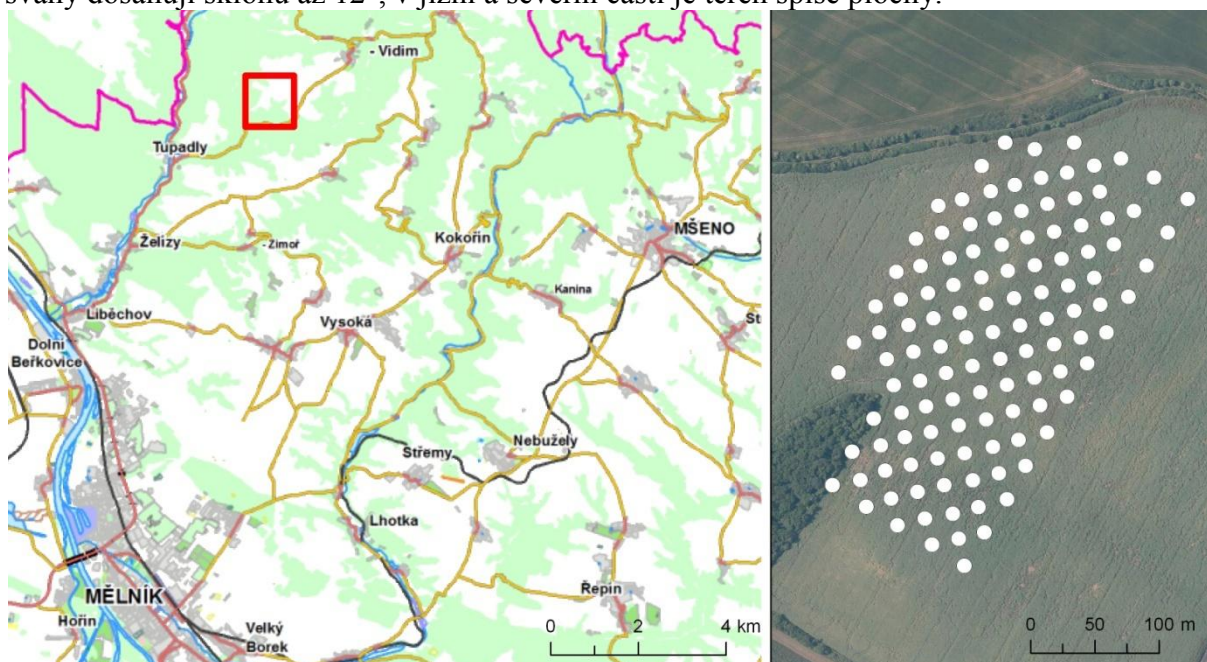
Mapování koluvizemí je založeno na digitálním modelování reliéfu (ZÁDOROVÁ et al. 2011). Kvantifikované údaje o terénu jsou v dnešní době aplikovány v řadě studií zpracovávajících vliv topografie na půdní vlastnosti. Nejpoužívanějšími terénními charakteristikami jsou sklon, zakřivení, odnosová plocha a topografický vlhkostní index. Zkoumány jsou hloubka půdy a mocnost horizontů (ODEH et al. 1995, PENÍZEK & BORŮVKA 2006, FLORINSKY 2002, VANWALLEGHEM et al. 2010), zrnitost (ODEH et al. 1995) či rozložení půdních jednotek (ZÁDOROVÁ et al. 2008, 2011).

Předkládaná studie je součástí komplexního mapování areálu koluvizemí v různých půdních a substrátových podmínkách. Cílem je zhodnotit vztah mezi plošným rozsahem koluviálních půd a vybranými terénními charakteristikami pomocí statistických metod a dále vybrat ty terénní charakteristiky, jejichž hodnoty budou jednoznačně odlišovat areál koluvizemí od ostatních půdních jednotek na pozemku.

2. Materiál a metody

2.1. Zájmové území

Studie byla lokalizována do CHKO Kokořínsko, zájmový pozemek se nachází v katastru obce Vidim (obr. 1). Širší oblast je tvořena křídovými pískovci překrytými polohami spraší (CHLUPÁČ 2002). Hlavními půdními jednotkami oblasti jsou modální a luvické hnědozemě. Podrobný terénní průzkum byl prováděn na části zemědělského pozemku s členitým reliéfem. Zájmový pozemek je charakterizován dvěma kolmými bočními úpady stýkajícími se v jihozápadní části pozemku, kde je také jeho nejnižší část. Tyto dva úpady spolu s výraznou terénní rýhou ve východní části reprezentují hlavní akumulční polohy pozemku. Přiléhající svahy dosahují sklonu až 12°, v jižní a severní části je terén spíše plochý.



Obrázek1 Lokalizace zájmového území (vlevo) a sondážní síť (vpravo)

2.2. Metody

Na pozemku byla vytvořena pravidelná sondážní síť (119 vpichů sondážní tyčí, grid 15x15m, hloubka 1 m), ve které byly určovány půdní jednotka, hloubka půdy a stratigrafie půdního profilu.

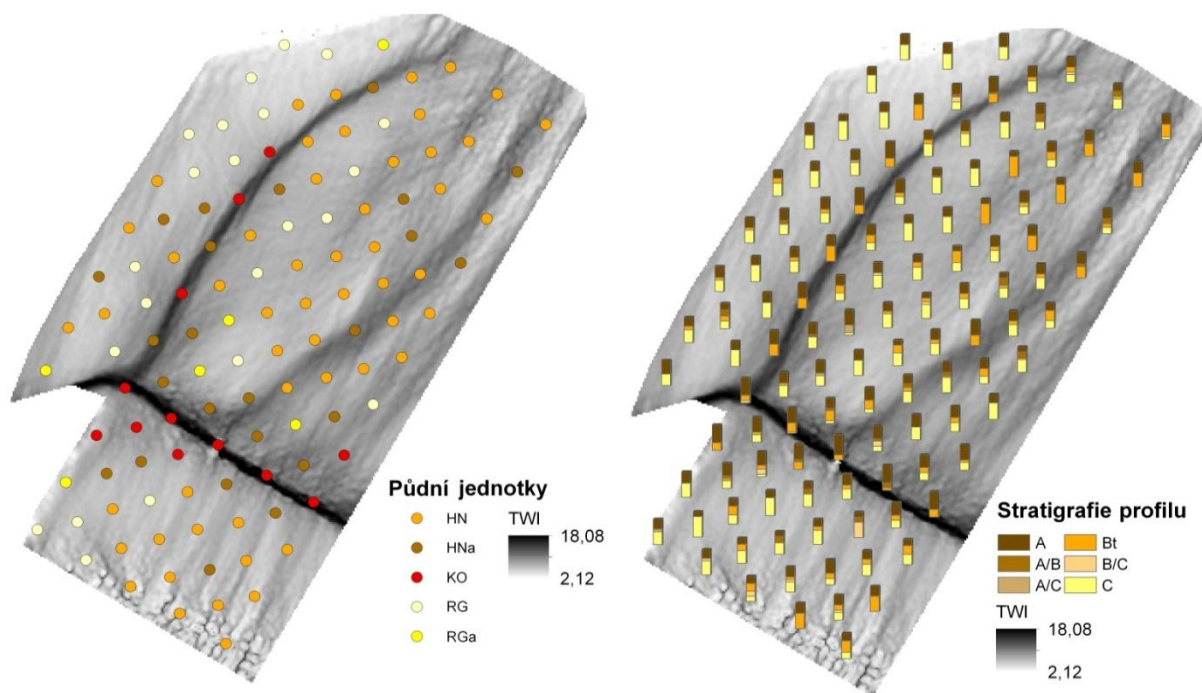
Terénní charakteristiky byly vypočteny z digitálního elevačního modelu (DEM) vytvořeného metodou leteckého laserového skenování. DEM a jeho deriváty byly zpracovány v programu SAGA GIS. Vypočteny byly následující terénní charakteristiky: nadmořská výška (ALT), sklon (SLOPE), horizontální, vertikální a celkové zakřivení (PLANC, PROF, MEANC), odnosová plocha (CA), výška nad odtokovou linií (ALTCHN) a topografický vlhkostní index (TWI).

Korelace mezi jednotlivými charakteristikami byly vypočítány pomocí Pearsonova (pro proměnné s normálním rozdělením), resp. Spearmanova (pro ostatní) koeficientu. Test ANOVA (parametrický), resp. Kruskal-Wallisův test (neparametrický) byly použity pro zjištění, které hodnoty terénních charakteristik jsou typické výhradně pro koluvizemě a mohou je tak odlišit od ostatních jednotek. Analýza hlavních komponent (Principal Component Analysis, PCA) byla využita pro znázornění struktury souboru dat a odstranění případných vzájemně závislých proměnných. Statistické analýzy byly zpracovány v programu R.

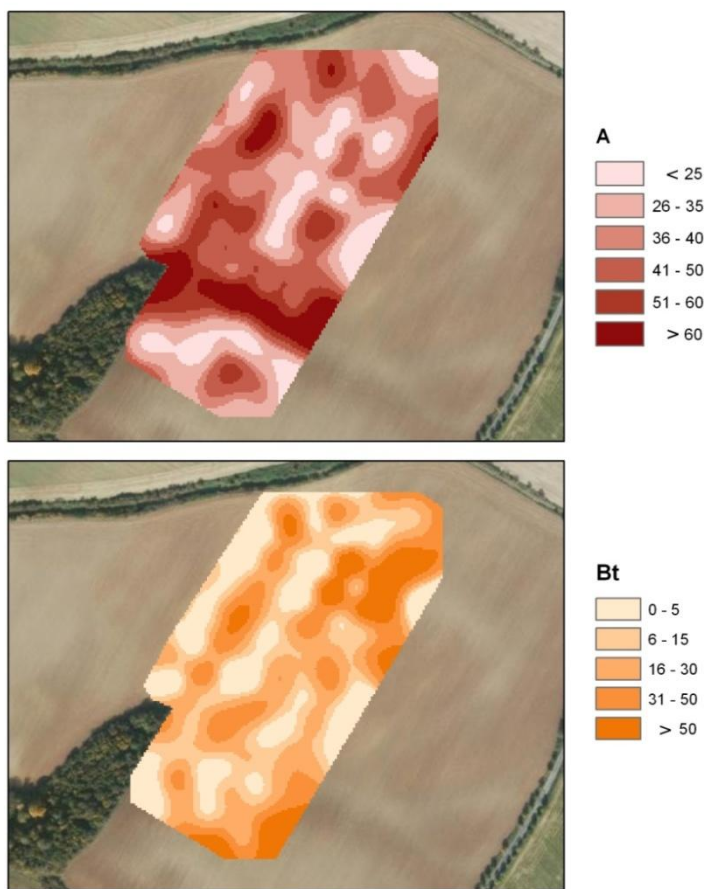
3. Výsledky a diskuze

3.1. Struktura půdního krytu

Heterogenní struktura půdního pokryvu na zájmovém pozemku je výsledkem intenzivní a dlouhodobé redistribuce půdního materiálu. V rámci terénního šetření bylo identifikováno pět půdních jednotek, resp. podjednotek (obr. 2). Hnědozem modální pokrývá většinu plochých částí pozemků a zasahuje i do mírnějších svahů. Humusový horizont je omezen na ornici či zasahuje 5-10 cm pod ní. Luvický horizont má dobře vyvinutou polyedrickou až prismatickou strukturu, ale jeho mocnost silně kolísá (od 10 do 60 cm; obr. 3). Na hnědozemě modální navazují v konkávních částech pozemku jejich akumulované formy s mocným (až 60 cm) humusovým horizontem. Koluvizemě jsou vyvinuty výhradně ve spodních částech dvou úpadů, nejhlubší pak při jejich vyústění. Humusový horizont přesahuje 60 cm, u většiny profilů se jeho mocnost pohybuje mezi 80 a 100 cm (obr. 3). Ve srovnání s koluvizeměmi studovanými v černozemních oblastech je tato mocnost výrazně nižší, a to zejména kvůli obecně mělkému A horizontu u hnědozemí a přítomnosti stabilní vrstvy Bt horizontu (ZÁDOROVÁ et al. 2011). Pod koluviálním horizontem je pohřben luvický horizont, což odpovídá původnímu výskytu hnědozemí v těchto terénních pozicích. Svahy s vyšším sklonem přiléhající k bočním úpadům jsou tvořeny půdami se značně erodovaným profilem bez přítomnosti Bt horizontu, které je možné zařadit mezi regozemě. Regozemě nacházející se v blízkosti akumulačních oblastí mají hlubší humusové horizonty (až 60 cm), ovšem opět bez Bt horizontu. Takovýto vývoj půdního profilu svědčí o postupném vyplňování úpadů humózní materiálem a jeho akumulaci ve vyšších pozicích. Areály s erozí obnaženým substrátem se vyskytují minimálně. Podobný vývoj půdního pokryvu s luvickými hnědozeměmi v horních plochých částech reliéfu, regozeměmi na svazích a hlubokými polohami koluvií v údolnicích byl popsán ve sprašové oblasti Německa (TERHORST, 2000). KLIMOWICZ a UZIAK (2001) uvádějí průměrnou hloubku koluviálních horizontů z hnědozemí 90 cm. WOLF a FAUST (2013) popisují výrazné narušení hnědozemních profilů a koluviální horizonty s mocností do 1 m ve sprašové oblasti Saska.



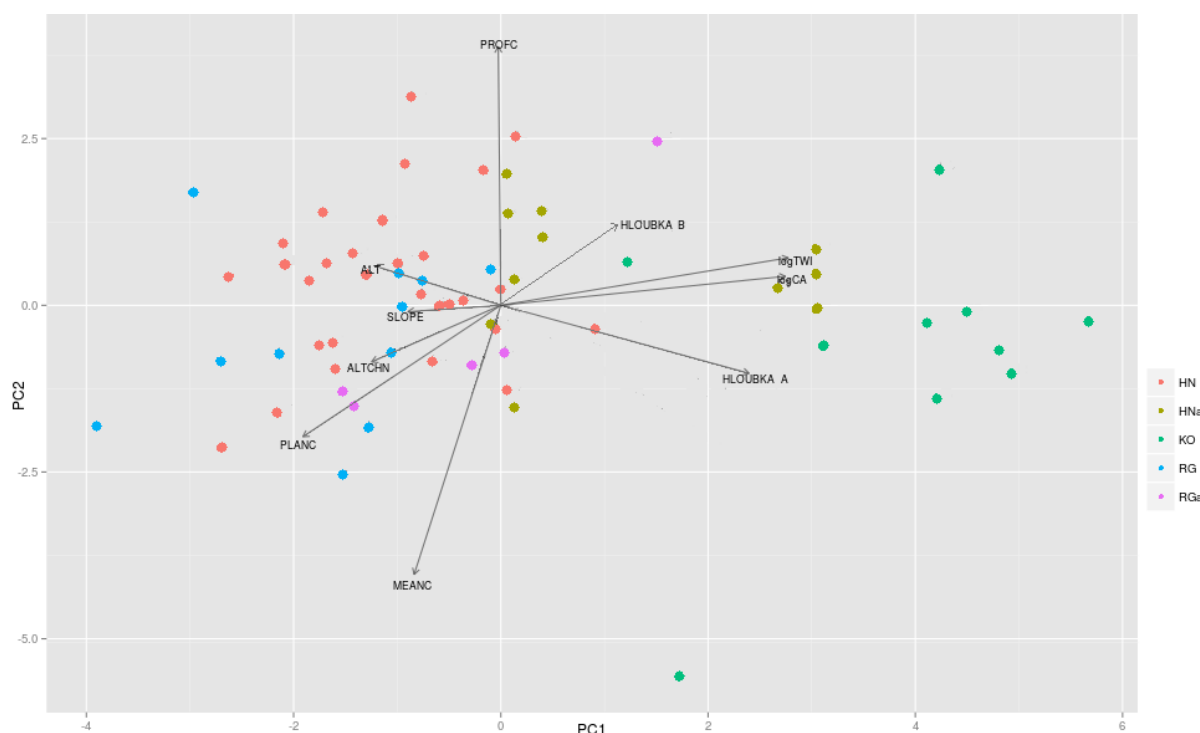
Obrázek 2 Rozložení půdních jednotek (vlevo) a půdní profily v jednotlivých sondách (vpravo)



Obrázek 3 Mocnost A a Bt horizontu (cm)

3.2. Vztah mezi rozložením půdních jednotek a terénními charakteristikami

Výsledky PCA jsou znázorněny v obrázku 4. Faktor 1 a 2 vysvětlují 77 % variability souboru. Analýza dále ukazuje silnou vzájemnou závislost parametrů CA a TWI, v dalších analýzách byl tedy zahrnut pouze parametr TWI. Tabulky 2 a 3 ukazují vztah mezi jednotlivými půdními jednotkami a terénními charakteristikami. Pro každou půdní jednotku byl vypočten standardizovaný průměr terénních charakteristik (tab. 1). Ve většině případů se hodnoty pro koluvizemě výrazně odlišují od ostatních jednotek. Obzvláště patrné je to v případě SLOPE, ALT, PLANC, TWI a ALTCHN. Naopak relativně vysoká hodnota průměrného sklonu u hnědozemí naznačuje rozsah těchto půd mimo ploché části pozemku a jejich stabilitu i v mírných a středních svazích. Testy rozptylu (tab. 2) pro hlavní půdní jednotky (koluvizem, hnědozem a regozem) prokázaly statisticky významný rozdíl v intervalu hodnot výše uvedených terénních charakteristik (kromě sklonu) typických pro koluvizem a pro ostatní jednotky. Z toho tedy vyplývá, že tyto parametry jsou schopny při půdním mapování odlišit koluvizem od ostatních jednotek na pozemku a jsou tedy vhodnými vstupními proměnnými při modelování areálu koluvizemí. Jako nejvhodnější se v tomto směru jeví TWI, u kterého je rozdíl mezi koluvizemí a ostatními jednotkami nejvýraznější. Naopak celkové a vertikální zakřivení mají na diferenciaci půdních jednotek pouze zanedbatelný vliv. Izolovaná pozice koluvizemí v souboru dat a jejich výrazný vztah s některými terénními charakteristikami jsou dobře patrné i z výsledků PCA. Pokud od analýzy zahrneme i podjednotky (tedy vydělíme hnědozem akumulovanou a regozem akumulovanou), nejsou rozdíly mezi půdními jednotkami statisticky významné pro žádnou z terénních charakteristik. Tento fakt je způsoben především pozicí hnědozemě akumulované mezi hnědozemí a koluvizemí, s vlastnostmi typickými pro obě jednotky. Polarita této jednotky je naznačena i ve výsledcích PCA, kdy se rozpadá do dvou samostatných skupin.



Obrázek 4 Analýza hlavních komponent (biplot)

Tabulka 1 Standardizované průměry terénních charakteristik pro jednotlivé půdní jednotky

soil unit	ALT	SLOPE	MEANC	PLANC	PROFC	CA	TWI	ALTCHN
HN	0,59	0,51	0,38	0,34	0,58	0,001	0,25	0,21
HNa	0,43	0,50	0,32	0,30	0,63	0,01	0,34	0,08
KO	0,26	0,38	0,37	0,28	0,51	0,15	0,58	0,04
RG	0,55	0,64	0,43	0,41	0,51	0,001	0,20	0,22
RGa	0,34	0,71	0,43	0,37	0,59	0,001	0,23	0,12

Tabulka 2 Rozdělení půdních jednotek na základě terénních charakteristik (analýza rozptylu: 95.0% LSD); hlavní půdní jednotky (nahore), půdní jednotky a podjednotky (dole)

Půdní jednotka	ALT	SLOPE	MEANC	PLANC	PROFC	CA	TWI	ALTCHN
HN	A	A	A	A	A	A	A*	A
KO	B*	A	A	AB	A	B*	B*	B*
RG	A	B*	A	AC	A	A	C*	A

Půdní jednotka	ALT	SLOPE	MEANC	PLANC	PROFC	CA	TWI	ALTCHN
HN	A	AB	A	AB	A	A	A	A
HNa	B	AB	A	A	A	B	AB	AB
KO	BC	A	A	A	A	B	B	B
RG	AB	B	A	B	A	A	AC	A
RGa	ABC	B	A	AB	A	AB	AC	AB

* indikuje případ, kdy půdní jednotka tvoří samostatnou odlišnou skupinu

Míru korelace hloubky půdy a mocnosti horizontů s terénními charakteristikami ukazuje tabulka 3. Hloubka půdy a mocnost jednotlivých horizontů jsou obecně úzce vázány na půdní jednotky. Přesto některé půdní jednotky v odlišné fázi erozního ovlivnění mohou mít tyto parametry podobné; například hluboký humusový horizont je typický pro koluzivem, akumulovanou hnědozem, ale také pro akumulovanou regozem. Podobně mělký humusový horizont můžeme pozorovat u erodované regozemě i stabilní hnědozemě. Tento fakt je třeba mít na paměti při hodnocení vztahu jednotlivých proměnných. Hloubka A horizontu významně koreluje s následujícími terénními charakteristikami: ALT, PLANC, TWI a ALTCHN. Nejtěsnější vztah s ALTCHN ukazuje na výraznou akumulaci materiálu v údolnicích. Korelace mocnosti A horizontu a sklonu je nevýznamná. Podobně slabý vztah těchto parametrů byl popsán také v FLORINSKY (2002) nebo ZÁDOROVÁ et al. (2011). Naopak velmi slabý vztah mezi mocností A horizontu a celkovým a vertikálním zakřivením je překvapující a je v rozporu s výsledky obdobné studie v černozechách (ZÁDOROVÁ et al. 2011). Mocnost B horizontu koreluje pouze s TWI, PLANC a sklonem, se kterým má nejtěsnější negativní korelaci. To může být způsobeno nejčastějším výskytem hlubších Bt horizontů v horních plochých partiích pozemku. Celková hloubka půdy je významně vázána na PLANC, TWI a sklon. Nízká závislost na nadmořské výšce a výšce nad odtokovou linií souvisí s výskytem poměrně hlubokých půd jak na dně bočních úpadů, tak v horních plochých partiích pozemku.

Zjištění významného vlivu topografie na stratigrafii půdního profilu a hloubku půdy se shoduje s řadou výzkumů na zemědělských pozemcích (např. MOORE et al. 1993, FLORINSKY 2002, ZÁDOROVÁ et al. 2011). Tento úzký vztah mezi vývojem profilu hnědozemí ovšem

neplatí v případě území s přirozeným vegetačním krytem, jak dokazují VANWALLEGHEM et al. (2010). Jejich výzkum ukázal velmi nízkou závislost hloubky půdy a mocnosti horizontů na konfiguraci terénních jednotek a variabilitě terénních charakteristik.

Tabulka 3 Korelační analýza půdních a terénních proměnných (Pearsonův, resp. Spearmanův korelační koeficient)

	A HOR	A + B HOR	B HOR	ALT	MEANC	PLANC	PROFC	CA	TWI	ALTCHN	SLOPE
A HOR		0,49**	0,10	-0,36**	-0,14	-0,30**	0,08	0,36**	0,38**	-0,47**	-0,21
A + B HOR	0,49**		0,82**	-0,06	-0,20	-0,39**	0,13	0,34**	0,51**	-0,28*	-0,50**
B HOR	0,10	0,82**		0,10	-0,14	-0,29*	0,06	0,17	0,35**	-0,06	-0,44**
ALT	-0,36**	-0,06	0,10		0,08	0,07	-0,04	-0,34**	-0,20	0,21	-0,14
MEANC	-0,14	-0,20	-0,14	0,08		0,40**	-0,81**	-0,36**	-0,36**	0,25*	0,07
PLANC	-0,30**	-0,39**	-0,29*	0,07	0,40**		-0,24*	-0,65**	-0,65**	0,55**	0,07
PROFC	0,08	0,13	0,06	-0,04	-0,81**	-0,24*		0,18	0,20	-0,08	-0,05
CA	0,36**	0,34**	0,17	-0,34**	-0,36**	-0,65**	0,18		0,88**	-0,73**	-0,04
TWI	0,38**	0,51**	0,35**	-0,20	-0,36**	-0,65**	0,20*	0,88**		-0,64**	-0,42**
ALTCHN	-0,47**	-0,28*	-0,06	0,21	0,25*	0,55**	-0,08	-0,73**	-0,64**		0,00
SKLON	-0,21	-0,50**	-0,44**	-0,14	0,07	0,07	-0,05	-0,04	-0,42**	0,00	

*, **P < 0,05;
0,01

4. Závěr

- Koluvizemě pokrývají významnou část zájmového území v hnědozemní oblasti. Koluviální horizonty dosahují maximální hloubky 1 m a jejich výskyt je omezen na dva boční úpady. Hnědozemě s plně vyvinutým půdním profilem se nacházejí nejen v horní ploché části pozemku, ale pokrývají i mírnější a střední svahy. Regozemě se vyskytují převážně na svazích s vyšším sklonem.
- Statistická analýza prokázala významný vztah mezi rozsahem koluvizemě a určitými terénními charakteristikami. Analýza rozptylu ukázala tři terénní charakteristiky (TWI, ALT, ALTCHN) jako vhodné pro odlišení koluvizemí od ostatních půdních jednotek a pro jejich použití při digitálním mapování koluvizemí.
- Redistribuce půdního materiálu na zájmovém pozemku je výrazná, ale v porovnání například s černozemními oblastmi méně intenzivní. Odnos půdy je omezen na humusový horizont, luvický horizont se díky své stabilní struktuře udržuje i na středních svazích a je smyt pouze v oblastech s vyšším sklonem. Toto zjištění je podpořeno i relativně nízkými mocnostmi koluviálních horizontů. Celková podoba půdního pokryvu odpovídá specifikům hnědozemí se strukturně vyvinutým luvickým horizontem, který představuje stabilnější vrstvu déle odolávající erozi.
- Studie prokázala, že koluvizemě vyvíjející se z hnědozemí mají silnou vazbu na terénní jednotky a je možné je tedy mapovat s využitím terénních charakteristik. Aplikace modelu pro delimitaci koluvizemí vyvinutého v černozemní oblasti bude dalším krokem komplexního výzkumu koluvizemního areálu.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory Ministerstva zemědělství (projekt č. QJ1230319) a Grantové agenturou ČR (projekt č. GP13-07516P). Autoři děkují Ondřeji Jakšíkovi, Miroslavu Férovi a Aleši Klementovi za pomoc při terénních pracích.

5. Literatura

- BRONICK C.J., LAL R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma*, **124**: 3–22.
- CANTÓN Y., SOLÉ-BENET A., ASENSIO C., CHAMIZO S., PUIGDEFÁBREGAS J. (2009): Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena*, **77**: 192–199.
- CHLUPÁČ I., BRZOBOHATÝ R., KOVANDA J., STRANÍK Z. (2002): Geological History of the Czech Republic. Academia, Praha. (in Czech)
- FLORINSKY I.V., EILERS R.G., MANNING G.R., FULLER L.G. (2002): Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*, **17**: 295–311.
- KADEREIT A., KÜHN P., WAGNER G.A. (2010): Holocene relief and soil changes in loess-covered areas of south-western Germany: The pedosedimentary archives of Bretten-Bauerbach (Kraichgau). *Quaternary International*, **222**: 96–119.
- KLIMOWICZ Z., UZIAK S (2001): The influence of long-term cultivation on soil properties and patterns in an undulating terrain in Poland. *Catena*, **43**: 177–189.
- MOORE I.D., GESSLER P.E., NIELSEN G.A., PETERSON G.A. (1993): Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, **57**: 443–452.
- ODEH I.O.A., MCBRATNEY A.B., CHITTLEBOROUGH D.J. (1995): Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regressionkriging. *Geoderma*, **67**: 215–226.
- PENÍŽEK V., BORŮVKA L. (2006): Soil depth prediction supported by primary terrain attributes: a comparison of methods. *Plant, Soil and Environment*, **52**: 424–430.

- POREBA G., SNIESZKO Z, MOSKA P. (2011): Some aspects of age assessment of Holocene loess colluvium: OSL and ¹³⁷Cs dating of sediment from Biala agricultural area, South Poland. *Quaternary International*, **240**: 44-51.
- TERHORST B. (2000): The influence of Pleistocene landforms on soil-forming processes and soil distribution in a loess landscape of Baden–Wurttemberg. *Catena*, **41**: 165–179.
- VANWALLEGHEM T., POESEN J., MCBRATNEY A., DECKERS J. (2010): Spatial variability of soil horizon depth in natural loess-derived soils. *Geoderma*, **157**: 37–45.
- WOLF D., FAUST D (2013): Holocene sediment fluxes in a fragile loess landscape (Saxony, Germany). *Catena*, **103**: 87–102.
- ZÁDOROVÁ T., CHUMAN T., ŠEFRNA L. (2008): A method proposal for colluvisol delineation in Chernozem's region. *Soil & Water Research*, **3**: 215-222.
- ZÁDOROVÁ T., PENÍŽEK V., ŠEFRNA L., ROHOŠKOVÁ M., BORŮVKA L. (2011): Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. *Catena*, **85**: 22–33.