

Výskumný
ústav
pôdoznanectva
a ochrany
pôdy
Bratislava

VÚPOP



VÚPOP

SSCRI

Soil
Science and
Conservation
Research
Institute
Bratislava

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2013

35

Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

Výskumný
ústav
pôdoznanectva
a ochrany
pôdy
Bratislava

VÚPOP



VÚPOP

SSCRI

Soil
Science and
Conservation
Research
Institute
Bratislava

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2013

35

Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 35

Recenzenti: prof. Ing. Jaroslav Antal, DrSc.
doc. Ing. Zoltán Bedrna, DrSc.
prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc.
Ing. Róbert Fencík, PhD.
doc. Ing. Erika Gömöryová, CSc.
RNDr. Beata Houšková, CSc.
prof. Ing. Juraj Hraško, DrSc.
prof. RNDr. Tatiana Hrnčiarová, CSc.
prof. Ing. Libor Janský, CSc.
prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.
Ing. Viliam Novák, DrSc.
RNDr. Vladimír Píš, PhD.
doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Obsah

GABRIELA BARANČIKOVÁ, JARMILA MAKOVNÍKOVÁ	Vývoj obsahu pôdneho organického uhlíka na Slovensku a jeho aktuálna zásoba v závislosti od nadmorskej výšky5
EMIL FULAJTÁR, MARTIN SAKSA, RASTISLAV DODOK, VLADIMÍR PÍŠ, JOZEF KOREŇ, ANDREJ MORÁVEK, RASTISLAV SKALSKÝ	Zistenie výskytu pôd na napučievajúcich íloch bez molického horizontu na Slovensku 16
EMIL FULAJTÁR, B. HRABOVSKÁ, MARTIN SAKSA, MICHAL SVIČEK, IVANA KOVÁČIKOVÁ, ANDREJ MORÁVEK	Hodnotenie leteckých a družicových snímok z hľadiska využiteľnosti pre mapovanie erózie pôdy na príklade skúšobného územia v Rišňovciach..41
ONDŘEJ HOLUBÍK, RASTISLAV SKALSKÝ, JAN VOPRAVIL, JÁN HALAS, PAVEL NOVÁK, MARTIN SAKSA, IVANA PÍRKOVÁ, JOZEF KOREŇ, IVAN NOVOTNÝ, RASTISLAV DODOK, LENKA ŠOŠOVIČKOVÁ	Hodnocení časových změn půdních vlastností na podkladě datových souborů výběrových a speciálních sond Komplexního průzkumu půd České a Slovenské republiky65
VLADIMÍR HUTÁR, MARTIN SAKSA JOZEF KOBZA	Tvorba digitálneho modelu terénu z podkladov leteckej fotogrametrie pre potreby priestorového modelovania76
JOZEF KOBZA	Pôdne pomery poľnohospodárskej krajiny Pienin a Zamaguria – ich aktuálny stav a vývoj83
TADEÁŠ LITAVEC, GABRIELA BARANČIKOVÁ	Základná charakteristika alginitu.....97
ANATOLIJ LISNYAK, JOZEF VILČEK, STANISLAV TORMA	Súčasný stav erodovaných pôd ukrajinských lesostepí na príklade lokality Mitríšin ovrag 107
JARMILA MAKOVNÍKOVÁ	Vývoj pôdnej reakcie na kľúčových lokalitách Čiastkového monitorovacieho systému – pôda 116
BORIS PÁLKA, ALENA ROGOŽNÍKOVÁ, SLÁVKA PÁLKOVÁ, JOZEF MALIŠ	Hodnotenie závislosti respiračnej aktivity pôdy od elektrickej rezistivity pre pôdny typ pseudoglej 127
EVA PEKÁROVÁ, LUBOMÍR HANISKO, IVANA KOVÁČIKOVÁ	Vhodnosť pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jadrového ovocia a ich priestorová diferenciácia v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska 135

<p>RASTISLAV SKALSKÝ, JARMILA MAKOVNÍKOVÁ, GABRIELA BARANČÍKOVÁ, ZUZANA TARASOVIČOVÁ, ŠTEFAN KOCO</p>	<p>Rekonštrukcia zásoby pôdneho organického uhlíka v orničnej vrstve pôd Ondavskej vrchoviny..... 145</p>
<p>JÁN STYK</p>	<p>Monitoring vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach Slovenska 155</p>
<p>MILOŠ ŠIRÁŇ, JARMILA MAKOVNÍKOVÁ, GABRIELA BARANČÍKOVÁ</p>	<p>Monitorovanie objemovej hmotnosti pôdy – podklad pre stanovenie zásob organickej hmoty v pôde..... 166</p>
<p>JOZEF TAKÁČ</p>	<p>Závažnosť sucha v poľnohospodárskych regiónoch Slovenska v rokoch 1961 – 2012 174</p>
<p>YANAN TONG, LIANYOU LIANG, PUHUI JI, TINGYU HOU, STANISLAV TORMA, JOZEF VILČEK, ŠTEFAN KOCO, GABRIELA BARANČÍKOVÁ</p>	<p>Analýza stavu a dôsledkov aplikácie minerálnych hnojív v čínskej provincii Shaanxi 192</p>
<p>ADRIANA ZVERKOVÁ, MICHAL SVIČEK</p>	<p>Vyhodnotenie účinnosti a vhodnosti pôdochranných opatrení Programu rozvoja vidieka v SR..... 199</p>

VÝVOJ OBSAHU PŮDNEHO ORGANICKÉHO UHLÍKA NA SLOVENSKU A JEHO AKTUÁLNA ZÁSoba V ZÁVISLOSTI OD NADMORSKEJ VÝŠKY

DEVELOPMENT OF SOIL ORGANIC CARBON CONTENT ON SLOVAKIA AND ITS ACTUAL STOCK IN DEPENDING ON THE ALTITUDE

Gabriela BARANČÍKOVÁ¹, Jarmila MAKOVNÍKOVÁ²

¹Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne pracovisko Prešov, Raymannova 1, 080 01 Prešov, g.barancikova@vupop.sk

²Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica

Abstrakt

Jedným zo základných parametrov pôdy je aj obsah pôdneho organického uhlíka (POC), ktorý je významným spôsobom ovplyvňovaný hospodárením na pôde, ale aj prírodnými faktormi. Výsledky dlhodobého monitoringu pôd potvrdzujú podstatne nižší obsah POC na orných pôdach (OP) v porovnaní s trvalými trávnyimi porastmi (TTP). V priebehu 15 ročného monitorovacieho obdobia sme na poľnohospodárskych pôdach Slovenska po počiatocnom poklese v roku 1997 v ďalšom monitorovacom cykle zaznamenali nárast obsahu POC a táto úroveň sa udržuje aj v zatiaľ poslednom odbere v roku 2007. Ďalším faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje obsah ale aj zásobu POC je nadmorská výška. Získané výsledky ukazujú nárast koncentrácie POC s nadmorskou výškou na OP a TTP, pričom hodnoty POC na TTP boli podstatne vyššie ako na OP. Nárast obsahu POC na OP aj TTP s nadmorskou výškou bol zistený aj v prípade najrozšírenejšieho pôdneho typu kambizemí. V poslednom monitorovacom cykle na orných pôdach bola stanovená aj zásoba pôdneho organického uhlíka, pričom získané výsledky potvrdzujú nárast zásob POC s nadmorskou výškou predovšetkým v orničnom horizonte.

Kľúčové slová: pôdny organický uhlík, nadmorská výška, orné pôdy, TTP, kambizeme

Abstract

One of the basic soil parameter is also content of soil organic carbon (SOC), which is significantly influenced by land management as well as natural factors. The results of long-term soil monitoring confirm considerable lower content of SOC on arable land (AL) in comparison to grassland (G). During 15 years monitoring period on agricultural soils of Slovakia after an initial decrease in 1997, in the next monitoring cycle, increase of SOC content was determined and this level is maintained also in most recent sampling in 2007. Next factor which significantly affects SOC content and stock is altitude. Obtained results show increase of SOC with altitude on

AL and G. The values of SOC on grassland are higher in comparison to arable land. The growth of SOC on AL and G with altitude also on the most widely spread soil type of Slovakia- Cambisols was observed. In the last monitoring cycle on arable land also SOC stock was determined. Obtained results confirm increase of SOC stock with altitude mainly on topsoil.

Keywords: soil organic carbon, altitude, arable land, pasture, Cambisols

ÚVOD

Medzi základné pôdne parametre, ktoré sa v pravidelných 5ročných intervaloch od roku 1993 monitorujú v rámci Monitoringu pôd Slovenska patrí aj pôdna organická hmota (POH). Obsah, kvalita a dynamika POH ovplyvňuje produkčnú funkciu pôdy, ale zúčastňuje sa tiež na jej mimoprodukčných, hlavne ekologických funkciách a je jedným z kľúčových indikátorov komplexne hodnotiacich kvalitu pôdy na základe pôdnych funkcií (BREJDA a iní, 2000). POH predstavuje najdôležitejšiu zásobu organického uhlíka v biosfére a v závislosti od podmienok hospodárenia, pôda môže sekvestrovať, alebo eliminovať skleníkové plyny

Obsah organickej hmoty v pôdnom prostredí je ovplyvňovaný prírodnými ako aj antropogénnymi faktormi (ECKELMANN a iní, 2006). Medzi prírodné faktory ovplyvňujúce dynamiku POH patria pedologické vlastnosti (materská hornina, pôdny typ, obsah ílu a skeletu), klimatické charakteristiky (teplota, zrážky, slnečné žiarenie) a geografické činitele (nadmorská výška, sklon svahu, topografický vlhkostný index a iné). Vplyv človeka na obsah POH sa prejavuje predovšetkým využívaním pôdy (orná pôda (OP), trvalé trávne porasty (TTP), les) a v intenzívne využívaných poľnohospodárskych pôdach je to predovšetkým hospodárenie na pôde (spôsob orby, aplikácia minerálnych, resp. organických hnojív, rotácia plodín a iné) (KHEIR a iní, 2010, XUA a iní, 2011, RAZAKAMANARIVO a iní, 2011). Aj naše predchádzajúce výsledky (BARANČIKOVÁ, 2009a) potvrdzujú výrazný vplyv využitia krajiny na obsah pôdneho organického uhlíka.

Rezervoár pôdneho uhlíka patrí medzi prioritné funkcie pôdy, ktoré definuje Rámcová smernica EÚ na ochranu pôdy (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2006). V súčasnosti, v dôsledku klimatických zmien a intenzívnych zmien vo využívaní pôdy sa zásoba organického uhlíka v pôdach (POC) pomerne rýchlo mení. Pri detailnejšom pohľade na zmeny stavu POH v jednotlivých krajinách môžeme konštatovať, že v niektorých regiónoch dochádza k nárastu a v iných k poklesu stavu pôdneho organického uhlíka v závislosti od využívania pôdy (OGLE a PAUSTIAN, 2005, SCHILS a iní, 2008). Z uvedeného dôvodu sme sa rozhodli zhodnotiť vývoj stavu pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska nielen na základe využitia pôdy (orná pôda, TTP), ale aj na základe nadmorskej výšky, ktorá v podmienkach Slovenska vhodne charakterizuje klimatické charakteristiky ako sú teplota a zrážky.

Z hľadiska metodík IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007) je dôležitá kvantifikácia zásob pôdneho organického uhlíka. V rámci Monitoringu pôd Slovenska sa stanovuje aj objemová hmotnosť a v súčasnom období máme spracované údaje o objemovej hmotnosti pre orné pôdy. Z uvedeného dôvodu bolo možné v zatiaľ poslednom monitorovacom cykle (rok 2007) stanoviť aj aktuálny stav zásob POC na orných pôdach Slovenska.

V predkladanom príspevku hodnotíme vývoj obsahu POC na orných pôdach a trvalých trávnych porastoch na Slovensku v priebehu monitorovacieho obdobia 1993–2007 a uvádzame aktuálny stav koncentrácie a zásob POC v závislosti od nadmorskej výšky na OP a TTP ako aj na najrozšírenejšom pôdnom type na Slovensku – kambizemiach.

MATERIÁL A METÓDY

Všetky monitorovacie lokality základnej monitorovacej siete sú rozdelené do 20 pôdnych skupín podľa pôdneho typu, substrátu a využitia pôdy. Jedna monitorovacia skupina reprezentuje lokality vo vysokohorských polohách nad hornou hranicou lesa a uvedené hodnotenie vývoja POC sa týka poľnohospodárskych pôd, preto tieto monitorovacie lokality neboli zahrnuté do hodnotenia.

Pôdny organický uhlík sa v rámci základnej siete Monitorovacieho systému pôda stanovuje v dvoch hĺbkach: 0–10 (POC v %) a 35–45 cm (POC v %). V cykloch 1993, 1997 a 2002 sa POC stanovoval mokrou cestou podľa Ťurina v modifikácii Nikitina, v súčasnosti sa stanovuje suchou cestou na C,N analyzátore (KOBZA a iní, 2011). Aby sme mohli vzájomne porovnávať POC z odberov v rokoch 1993–2002 s odberom z roku 2007, bolo potrebné v odbere z r. 2007 pri pôdnych vzorkách s obsahom POC >3 % použiť pri zmene analytickej metódy PTF funkciu, ktorá znižuje rozdiely medzi metódami (BARANČIKOVÁ a MAKOVNÍKOVÁ poslané do tlače). Pre stanovenie aktuálnej zásoby POC (r. 2007) sme využili bilančné prepočty na základe obsahu POC a objemovej hmotnosti pôdy. Objemová hmotnosť (OH) bola stanovená gravimetricky, zvážením neporušenej pôdnej vzorky o objeme 100 cm³ odobratej v kovových Kopeckého valčekoch. Zásoba POC (ZPOC) v t.ha⁻¹ vo vrstve 0–10 cm bola stanovená podľa vzťahu: ZPOC v t.ha⁻¹ = POC (v hĺbke 0–10 cm v %)*OH (v hĺbke 0–10 v g.cm⁻³)*10, zásoba POC v t.ha⁻¹ vo vrstve 35–45 cm bola stanovená podľa vzťahu: ZPOC v t.ha⁻¹ = POC (v hĺbke 35–45 cm v %)*OH (v hĺbke 35–45 v g.cm⁻³)*10.

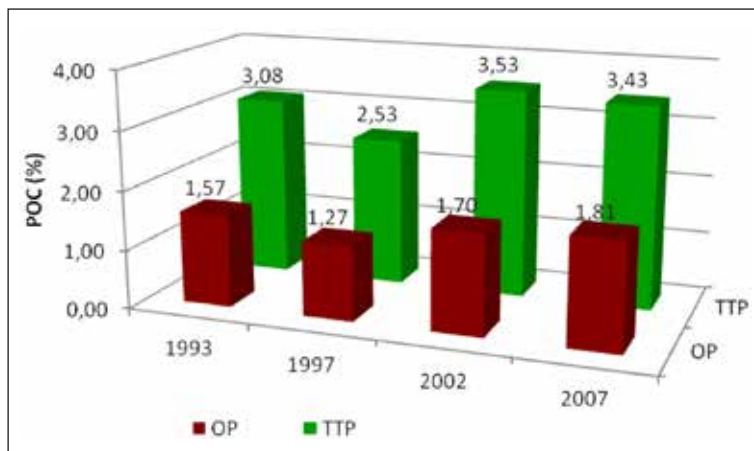
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vývoj koncentrácie POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska

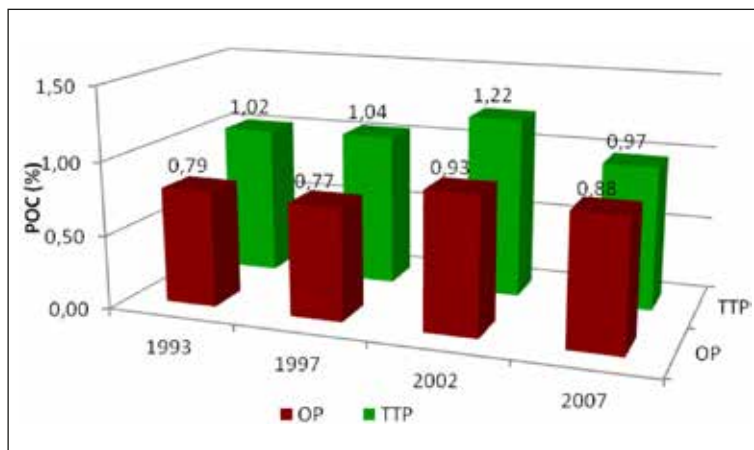
Ako je možné vidieť na obrázku 1 koncentrácia pôdneho organického uhlíka v orničnom horizonte je na orných pôdach podstatne nižšia ako v prípade trvalých trávnych porastoch. Nižšie hodnoty POC na ornej pôde v porovnaní s TTP sú v súlade s literatúrnymi údajmi, nakoľko viacerí autori (BEDRNA 1966, CAMEL a SOUSTER, 1982) uvádzajú, že intenzívne obhospodarovanie pôdy vedie k zníženiu množstva organickej hmoty. Podobne aj Schnitzer zistil, že dlhodobé intenzívne obrábanie pôdy výrazne znižuje celkovú zásobu POH, čo sa odráža na znížení množstva POC (SCHNITZER a iní, 2006). Pri rozoraní pasienkov dochádza k porušeniu prirodzenej rovnováhy a obsah humusu sa podstatne zníži v dôsledku intenzívnej mineralizácie hlavne v orničnom horizonte (CHURKOV, 2000). GUO a GIFFORD (2002) na základe výsledkov metaanalýzy

uvádzajú, že pri zmene hospodárenia na pôde v prípade rozorania pasienkov je pokles POC až 59%, čo zodpovedá aj našej priemernej hodnote POC na OP v porovnaní s TTP. Z uvedeného dôvodu viacerí autori (KHEIR a iní, 2010, XUA a iní, 2011, RAZAKAMANARIVO a iní, 2011) uvádzajú využitie pôdy ako hlavný antropogénny faktor ovplyvňujúci koncentráciu POC v orničnom horizonte. V podorničnom horizonte (35–45 cm) sú hodnoty POC podstatne nižšie ako v orniči a rozdiely medzi OP a TTP nie sú také markantné ako v orničnom horizonte (Obr. 2).

Obr. 1 Vývoj koncentrácie POC v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v hĺbke 0–10 cm



Obr. 2 Vývoj koncentrácie POC v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v hĺbke 35–45 cm



V priebehu 15ročného monitorovacieho obdobia sme na poľnohospodárskych pôdach Slovenska v prípade POC zaznamenali určité zmeny predovšetkým v orničnom horizonte. Po počiatocnom poklese v roku 1997 sme v ďalšom monitorovacom cykle zaznamenali nárast obsahu POC a táto úroveň sa udržuje aj v zatiaľ poslednom odbere v roku 2007 (Obr. 1). Príčin poklesu obsahu organického uhlíka v prvom monitorovacom cykle (1997) môže byť viacero, napr. in-

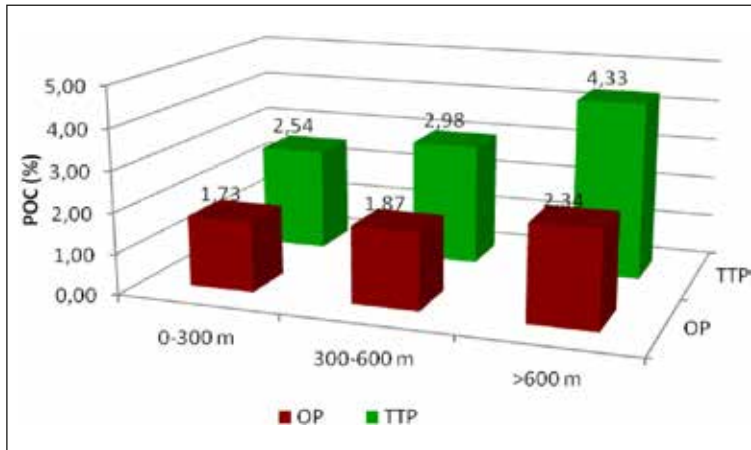
tenzivne konvenčné obrábanie pôdy (SCHNITZER a iní, 2006, ARANDA a iní, 2011), hlboká orba (DOU a HONS, 2006, CAURASANO a iní, 2006), nesprávny oševný postup (MACHADO a iní, 2006), nedostatočný prísun kvalitnej organickej hmoty (SHESTON a iní, 2012) a aplikácia minerálnych živín (ŠEVCOVA, 2003, SRINIVASARAO a iní, 2012). V slovenskom poľnohospodárstve došlo po roku 1989 k pomerne prudkému znižovaniu produkcie maštalného hnoja a úroveň hospodárenia s pôdnou organickou hmotou bola obmedzovaná aj poklesom úrod poľnohospodárskych plodín a s tým súvisiacim nižším prísunom rastlinných zvyškov do pôdy (JURČOVÁ, 1996). Postupný nárast úrovne POC v priebehu posledných 10 rokov v orníčnom horizonte môže byť spôsobený aplikáciou poľnohospodárskych praktík, ktoré zlepšujú hospodárenia na orných pôdach a pasienkoch (dodávanie kvalitných organických hnojív alebo kompostov, prísne dodržiavanie optimálnej rotácie plodín a na vhodných lokalitách aj minimálne obrábanie pôdy). Správne uplatňovaný systém obrábania pôdy napomáha optimálnemu využívaniu zásob POH (POSPÍŠIL, 2013). Zmeny POC v podorníčnom horizonte neboli také výrazné ako v ornici a priemerné hodnoty organického uhlíka v podorníčnom horizonte na OP sa pohybujú v intervale 0,8–0,9 % a v prípade TTP 1–1,2 % (Obr. 2).

Aktuálna koncentrácia a zásoby POC v závislosti od nadmorskej výšky

Slovensko sa rozkladá vo výškovom intervale od 94 m n. m. (vyústenie rieky Bodrog, kataster obce Borša) do 2655 m n. m. (Gerlachovský štít). Územie Slovenska môžeme rozdeliť na dva základné výškové stupne. Stupeň nížin do 300 m n. m. a stupeň vysočín do 2655 m n. m. (MICHAELI, 2006). Nakoľko vysočiny majú značné výškové rozpätie, rozdelili sme ich na nízke vysočiny (300–600 m n. m.) a stredne až vysoké vysočiny (nad 600 m n. m.). V prípade orných pôd počet monitorovacích lokalít s nadmorskou výškou klesá, nakoľko v nížinách sa nachádza takmer 70 % monitorovacích lokalít na OP, pričom vo vyšších polohách je to iba 25, resp. 7 %. Opačná situácia je v prípade lokalít na TTP, kde počet lokalít s nadmorskou výškou stúpa, aj keď rozdelenie medzi jednotlivými výškovými stupňami nie je také výrazné ako v prípade OP (15, 38, 47 %).

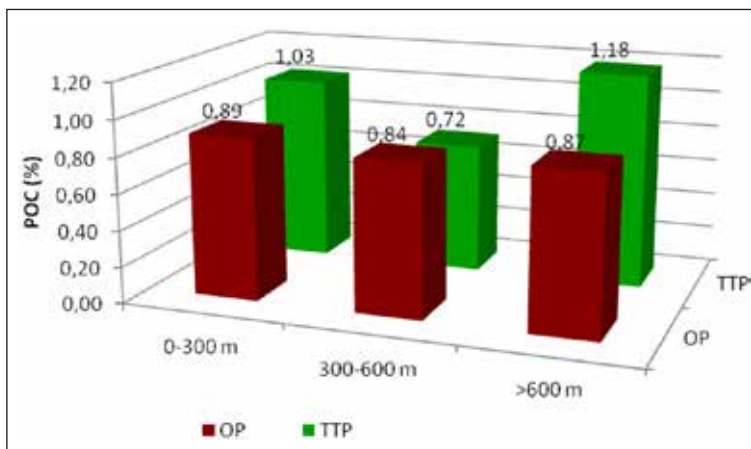
Ako vidíme na obrázku 3. najnižšia koncentrácia pôdneho organického uhlíka v orníčnom horizonte (0–10 cm) na orných pôdach aj trvalých trávnych porastoch sa nachádza v nížinách. Vo vyšších polohách koncentrácia POC stúpa a najvyšší obsah POC bol zaznamenaný v nadmorskej výške nad 600 m n. m. (Obr. 3), pričom nárast obsahu POC na TTP je podstatne zreteľnejší, predovšetkým v nadmorskej výške nad 600 m n. m. ako na OP. Vplyv nadmorskej výšky ako jeden z hlavných indikátorov stavu POC uvádzajú aj Kheir a Razakamanarivo (KHEIR a iní, 2010, RAZAKAMANARIVO a iní, 2011) Napriek tomu, že v nížinách do 300 m n. m. sa nachádzajú takmer všetky lokality čierníc a černozemí, ktoré na Slovensku patria medzi pôdne typy s najvyšším obsahom POC na orných pôdach (BARANČIKOVÁ, 2009a), priemerná koncentrácia POC sa v tomto výškovom stupni pohybuje okolo 1,5 % a je o niečo nižšia ako v polohe 300–600 m n. m. kde prevládajú kambizeme, ktorých priemerné hodnoty POC na OP sa pohybujú v intervale 1,5–2,5 % v závislosti od materskej horniny (BARANČIKOVÁ, 2008, 2009b). V prípade TTP sú dominantným pôdnym typom vo vyšších polohách (> 300 m n. m.) kambizeme. Z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy SR tvoria kambizeme takmer 27 %, čím sa zaraďujú medzi najrozšírenejší pôdny typ na Slovensku (BIELEK, 1998).

Obr. 3 Aktuálna koncentrácia POC v hĺbke 0–10 cm v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v závislosti od nadmorskej výšky



Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že nadmorská výška je dominantným faktorom z hľadiska koncentrácie POC, nakoľko v podmienkach Slovenska vhodne charakterizuje klimatické charakteristiky ako sú teplota a zrážky. V teplejších a suchších podmienkach je mineralizácia pôdnej organickej hmoty rýchlejšia ako v chladnejších a vlhkejších oblastiach (LINKÉŠ a iní, 1997, WEBB a iní, 2003). Podobne ako v prípade celého územia poľnohospodárskych pôd na Slovensku, hodnoty POC na TTP v orníčovom horizonte vo všetkých výškových stupňoch sú podstatne vyššie ako na OP (Obr. 3). Koncentrácia POC v podorníčovom horizonte (35–45 cm) je na všetkých výškových stupňoch podstatne nižšia ako v ornici (0–10 cm), ale rozdiely medzi OP a TTP predovšetkým v nížinách a vysočinách od 300–600 m n. m. nie sú také markantné ako v orníčovom horizonte (Obr. 4).

Obr. 4 Aktuálna koncentrácia POC v hĺbke 35–45 cm v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v závislosti od nadmorskej výšky



Výrazne vyššie hodnoty POC sa nachádzajú v podorničnom horizonte nad 600 m n.m. predovšetkým na trvalých trávnych porastoch (Obr. 4).

Zásoby POC na základe údajov o koncentrácií POC (v %) a objemovej hmotnosti (v g.cm⁻³) sme stanovili pre orné pôdy, nakoľko len pre orné pôdy sú v databáze ČMS-P dostupné hodnoty objemovej hmotnosti pôdy (r. 2007). Zásoby POC v t.ha⁻¹ vo vrstve 0 – 10 cm, a vo vrstve 35 – 45 cm v troch výškových intervaloch, a to do 300 m n.m., od 301 – 600 m n.m. a nad 600 m n.m. sú uvedené v tabuľkách 1, 2 a 3.

Tabuľka 1 Zásoby POC v t.ha⁻¹ vo vrstve 0 – 10 cm a 35 – 45 cm vo výškovom intervale do 300 m n.m.

	Zásoby POC v t.ha ⁻¹	
	0 – 10 cm	35 – 45 cm
priemer	23,2589	17,6815
medián	21,5050	15,7122
minimum	9,1080	1,4448
maximum	48,6420	55,2160
smer. odchýlka	7,7287	11,4388

Tabuľka 2 Zásoby POC v t.ha⁻¹ vo vrstve 0 – 10 cm a 35 – 45 cm vo výškovom intervale od 301 do 600 m n.m.

	Zásoby POC v t.ha ⁻¹	
	0 – 10 cm	35 – 45 cm
priemer	25,1922	14,4344
medián	23,1100	10,7240
minimum	11,4100	3,0688
maximum	58,0560	50,4504
smer. odchýlka	9,1978	11,1353

Tabuľka 3 Zásoby POC v t.ha⁻¹ vo vrstve 0 – 10 cm a 35 – 45 cm vo výškovom intervale nad 600 m n.m.

	Zásoby POC v t.ha ⁻¹	
	0 – 10 cm	35 – 45 cm
priemer	27,9176	17,1229
medián	28,4760	12,1296
minimum	19,6680	5,2080
maximum	33,9270	33,3760
smer. odchýlka	4,1743	10,5562

Najnižšia priemerná zásoba pôdneho organického uhlíka vo vrstve 0 -10cm na orných pôdach sa nachádza na nížinách. Vo vyšších polohách priemerná zásoba POC len mierne stúpa a najvyššia priemerná zásoba POC bola stanovená v nadmorskej výške nad 600 m n.m., čo je

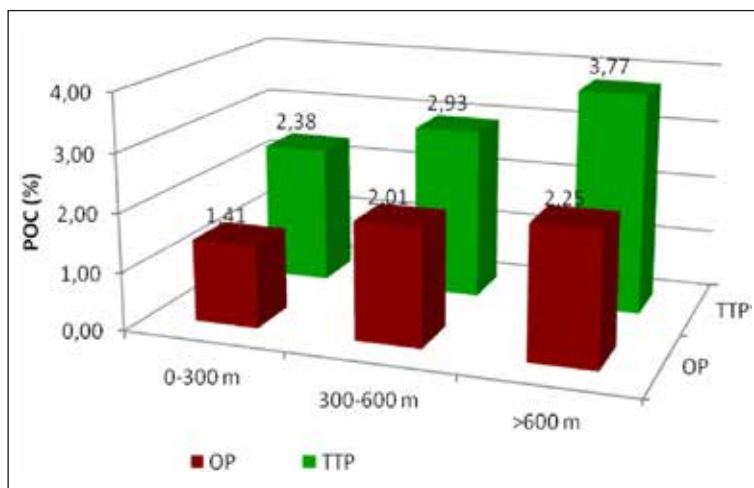
v súlade s údajmi o obsahoch POC a údajmi o objemovej hmotnosti pôd, nakoľko vo vyšších nadmorských výškach prevládajú kambizeme, ktoré patria medzi stredne ťažké až ťažké pôdy (Kobza a kol. 2009). Vo vrstve 35 – 45 cm sú zásoby POC vo všetkých výškových stupňoch podstatne nižšie ako vo vrstve 0 – 10 cm.

Aktuálna koncentrácia POC na kambizemiach v závislosti od nadmorskej výšky

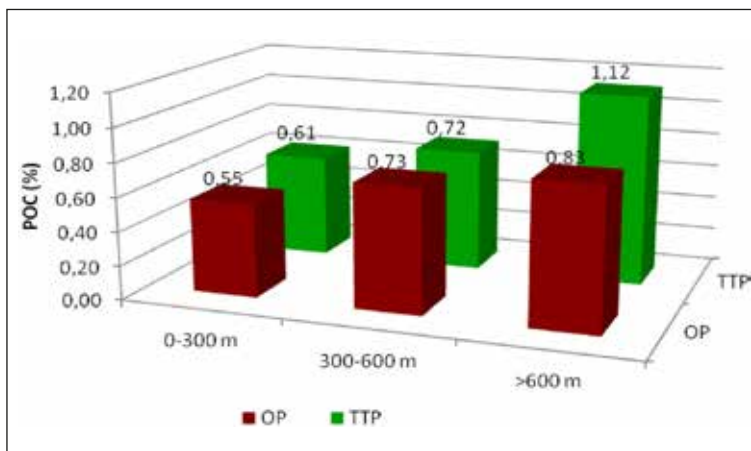
Vplyv nadmorskej výšky, teda dominantných klimatických charakteristík na koncentráciu pôdneho organického uhlíka, je zreteľný aj pri stratifikácii jedného pôdneho typu a to kambizemí. Ako bolo vyššie spomenuté, kambizeme predstavujú na Slovensku najrozšírenejší pôdny typ a ich výmera v rámci poľnohospodárskeho pôdneho fondu predstavuje takmer 27 %. Kambizeme sú stredne úrodné pôdy, vhodné pre užívanie sortimentu poľnohospodárskych plodín a nachádzajú sa na vrchovinách i v pohoriach (BIELEK a iní, 1998). Na Slovensku sú vo výške nad 300 m n.m. ako v prípade orných pôd tak aj trvalých trávnych porastoch dominantným pôdnym typom kambizeme. Najnižšie hodnoty POC v orničnom horizonte na tomto pôdnom type na OP aj TTP boli zaznamenané v nížinách (do 300 m n.m.), pričom v súlade s literatúrnymi údajmi (CHURKOV, 2000, GUO a GIFFORD, 2002) hodnoty POC na TTP boli podstatne vyššie ako na OP.

So zvyšujúcou sa nadmorskou výškou hodnoty POC v orničnom horizonte na OP aj TTP stúpajú, pričom evidentne vyšší nárast, predovšetkým pri nadmorskej výške nad 600 m n.m. je charakteristický pre trvalé trávne porasty v porovnaní s ornými pôdami (obr. 5).

Obr. 5 Aktuálna koncentrácia POC na kambizemiach v hĺbke 0–10 cm v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v závislosti od nadmorskej výšky



Obr. 6 Aktuálna koncentrácia POC na kambizemiach v hĺbke 35–45 cm v priebehu monitorovacieho obdobia na OP a TTP v závislosti od nadmorskej výšky



Napriek nižšej teplote a vlhkejšiemu prostrediu, ktoré je charakteristické pre vyššie nadmorské výšky, intenzívne hospodárenie na orných pôdach kambizemí aj v tejto polohe zvyšuje mineralizáciu POH v porovnaní s relatívne prirodzeným pôdnym prostredím trvalých trávnych porastov. Hodnoty POC v podorničnom horizonte na kambizemiach sú výrazne nižšie ako v ornici, pričom rozdiely medzi OP a TTP v hĺbke 35–45 cm nie sú také výrazne ako v ornici. Aj v podorničnom horizonte koncentrácia POC s nadmorskou výškou stúpa, pričom vyšší nárast predovšetkým v polohách nad 600 m n. m. je charakteristický pre TTP v porovnaní s OP (Obr. 6).

ZÁVER

Záverom môžeme skonštatovať, že priemerný obsah pôdneho organického uhlíka na orných pôdach Slovenska je nižší ako 2 %, čo je charakteristické pre intenzívne využívané orné pôdy s konvenčným hospodárením. V porovnaní s OP sú mineralizačné trendy na trvalých trávnych porastoch podstatne menej výrazné a hodnoty POC na TTP sú o 50 % vyššie ako na intenzívne obhospodarovaných orných pôdach, čo je jasne viditeľné aj v prípade kambizemí na OP a TTP. Ďalej bolo potvrdené, že so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou hodnota POC predovšetkým v orníčovom horizonte ako v prípade OP tak aj TTP stúpa, pričom vyšší nárast POC s nadmorskou výškou je charakteristický pre trvalé trávne porasty s relatívne prirodzeným vegetačným pokryvom. Vyššie hodnoty POC vo vyšších nadmorských výškach sú dôsledkom chladnejšieho a vlhkejšieho podnebia a tým aj menej intenzívnych mineralizačných trendov v porovnaní s nížinami. So zvyšujúcou sa nadmorskou výškou sa zvyšujú aj zásoby POC v orných pôdach v orníčovom horizonte.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0131 – 11 a APVV-0243 – 11.

LITERATÚRA

- ARANDA, V., AYORA-CANADA, M. J., DOMINGUEZ-VIDAL, A., MARTÍN-GARCÍA, J. M., CALERO, J., DELGADO, R., VERDEJO, T., GONZÁLES-VILA, F. J. 2011. *Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain)*. Geoderma, 164, s. 54–63.
- BARANČÍKOVÁ, G. 2009a. *Monitoring kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdnej organickej hmoty*. In: Kobza, J. zost. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Bratislava, VÚPOP, s. 55–78, ISBN 978-80-89128-54-9.
- BARANČÍKOVÁ, G. 2009b. *Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty*. In Kobza, J. zost. Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja. Priebežná správa, VÚPOP Bratislava, s. 65–82
- BARANČÍKOVÁ, G. 2008. *Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty*. In Kobza, J. zost. Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja. Priebežná správa, VÚPOP Bratislava, s. 64–74
- BARANČÍKOVÁ, G., MAKOVNÍKOVÁ, J. *Comparison of two methods soil organic carbon determination*. Poslané do Soil and Water Research.
- BEDRNA, Z. 1966. *Obsah humusu v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Poľnohospodárstvo, 12, 10, 763–769.
- BIELEK, P., ŠURINA, B., ILAVSKÁ, B., VILČEK, J. 1998. *Naše pôdy*. Bratislava, VÚPOP, 80 s. ISBN 80-85361-42-6.
- BREJDA, J. J., MOORTMAN, T. B., KARLEN, D. L., DAO, T. H. 2000. *Identification of regional soil quality factors and Indicators: I. Central and Southern High Plains*. Science Society of American. Journal, 64, s. 2115–2124, ISSN: 0361-5995.
- CAMGELL, C. A., SOUSTER, W. 1982. *Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping*. Can. J. Soil Sci., 62, s. 651–656.
- CAURASON, H. J., FRANZLUBBERS, A. J., REEVES, D. W., SHAW, J. N. 2006. *Soil organic carbon sequestration in cotton production systems of the southeastern United States*. J. Environ. Qual., 25, s. 1374–1383.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2006. *Proposal for a Directive of the European parliament and of the council establishing a framework for the protection of soil amending*. Directive 2004/35/EC, Brusel, 30s.
- DOU, F., HONS, F. M. 2006. *Tillage and nitrogen effects on soil organic matter fractions in wheat-based systems*. Soil Sci. Soc. Am. J., 70, s. 1896–1905.
- ECKELMANN, W., BARITZ, R., BIALOUSC, S., BIELEK, P., CARRÉ, F., HOUŠKOVÁ, B., JONES, R. J. A., KIBBLEWHITE, M., KOZAK, J., LE BAS, C., TÓTH, G., TÓTH, T., VÁTALLYAY, G., HALLA, M. Y., ZUPAN, M. 2006. *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats*. European Bureau Research Report No. 20, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 22185 EN, 94.
- GUO, L. B., GIFFORD, R. M., 2002. *Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis*. Global Change Biology, 8, s. 345–360.
- CHUKOV, S. N. 2000. *Study by ¹³C – NMR spectroscopy of humus acids molecular parameters in anthropogenically disturbed soils*. Proceedings of 10th International Meeting of the IHSS, Toulouse, s. 81–84.
- IPCC 2007. Summary for policy makers. Climate Change 2007: Synthesis Report. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change.
- JURČOVÁ, O. 1996. *Treba skoncovat s koristnickym vzťahom k životelke*. Rolnícke noviny, Beseda, 6. 11. 1996, s. 1–6.
- KHEIR, R. B., GREVE, M. H., BOCHER, P. K., GREVE, M. B., LARSEN, R., MCCLOY, K. 2010. *Predictive mapping of soil organic carbon in wet cultivated lands using classification-tree based models: The case study of Denmark*. J. Environ. Management, 91, s. 1150–1160.
- KOBZA, J. 2009. *Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. Bratislava, VÚPOP, 199s- ISBN 978–80-89128–54-9.
- KOBZA, J. a i. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava, VÚPOP, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.
- LINKŠ, V., KOBZA, J., ŠVEC, M., ILKA, P., PAVLEND, P., BARANČÍKOVÁ, G., MATÚŠKOVÁ, L. 1997. *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Súčasný stav monitorovacích vlastností pôd 1992–1996*. VÚPÚ Bratislava, 128 s., ISBN 80-85361-35-3.
- MACHADO, S., RHINHART, K., PETRIE, S. 2006. *Long-term system effects on carbon sequestration in Eastern Oregon*. J. Environ. Qual. 35, s. 1548–1553.
- MICHAELI, E. 2006. *Regionálna geografia Slovenskej republiky I. časť*. Vysokoškolské učebné texty. Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta Humanitných a Prírodných vied, Prešov, 240 s. ISBN 80-8068-482-0.
- OGLE, M. S., PAUSTIAN, K. 2005. *Soil organic carbon as an indicator of environmental quality at the national scale: Inventory monitoring methods and policy relevance*. Canadian Journal of Soil Science, 85, s. 531–540.
- POSPÍŠIL, R. 2013. *Vplyv obrábania na obsah organickej hmoty v pôde*. Rolnícke noviny, 15. 5. 2013, s. 14.
- RAZAKAMANARIVO, R. H., GRINAND, C., RAZAFINDRAKOTO, M. A., BERNOUX, M., ALBRECHT, A. 2011. *Mapping*

- organic carbon stocks in eucalyptus plantations of the central highlands of Madagascar: A multiple regression approach.* Geoderma, 161, s. 335–346.
- SCHILLS, R., KUIKMAN, P., LISKI, J., OIJEN, M., SMITH, P., WEBB, J., ALM, J., SOMOGYI, Z., VAN DEN AKKER, J., BILLET, M., EMMETT, B., EVANS, C., LINDNER, M., PALOSUO, T., BELLAMY, P., JANDL, R., HIEDERER, R. 2008. *Review of existing information on the interrelations between soil and climate change.* Final report ClimSoil, Alterra, Wageningen, 208 s.
- SCHNITZER, M., MCARTHUR, D. F. E., SCHULTEN, H. R., KOZAK, L. M., HUANG, P. M. 2006. *Long-term cultivation effects on the quality and quantity of organic mater in selected Canadian prairie soils.* Geoderma, 130, s. 141–156.
- SRINIVASARAO, CH. B., LAL, R., SINGH, A. K., VITTAL, K. P. P., KUNDU, S., SINGH, S. R., SINGH, S. P. 2012. *Long-term effects of soil fertility management on carbon sequestration in a rice-lentil cropping system of the Indo-Gangetic Plains.* SSSAJ, 76, s. 168–178.
- ŠEVCOVA, L., ROMANENKO, V., SIROTENKO, O., SMITH, P., SMITH, J. U., LEECH, P., KANAZYVA, S., RODIONOVA, V. 2003. *Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic mater dynamics in arable soddy-podzolic soil-modeling and observation.* Geoderma, 116, s. 165–189.
- WEBB, J., BELLAMY, P., LOVELAND, P. J., GOODLASS, G., 2003. *Crop residue returns and equilibrium soil organic carbon in England and Wales.* Soil Science Society of America Journal, 67, s. 928–936.
- XU, X., LIU, W., KIELY, G. 2011. *Modeling the change in soil organic carbon of grassland in response to climate change: Effects of measures versus modelled carbon pool for initializing Rothamsted Carbon model.* Agriculture, Ecosystems and Environment, 140, 3–4, s. 372–38.
-

ZISTENIE VÝSKYTU PÔD NA NAPUČIAVAJÚCICH ÍLOCH BEZ MOLICKÉHO HORIZONTU NA SLOVENSKU

THE IDENTIFICATION OF SOILS ON SWELLING CLAYS WITHOUT MOLLIC HORIZON IN SLOVAKIA

**Emil FULAJTÁR, Martin SAKSA, Rastislav DODOK, Vladimír PÍŠ,
Jozef KOREŇ, Andrej MORÁVEK, Rastislav SKALSKÝ**

Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: e.fulajatar@vupop.sk

Abstrakt

Impulz pre výskum pôd na napučievajúcich íloch (vertických pôd) priniesla novelizácia Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (MKSP). Nastolené otázky pomohla riešiť náhoda, vďaka ktorej sa našiel areál vertických pôd v okolí Nitrianskych Hrnčiaroviec výrazne odlišných od doteraz známych smoníc. Zdokumentovaný pôdny profil bol porovnaný s typickým profilom smonice na tretohorných íloch pri Gbeloch. Aj keď je menej ťažký, má veľmi výrazne vyvinutú vertickú morfológiu, avšak líši sa veľmi výrazne, najmä tým, že nemá mollický horizont a objemové zmeny sa spolu s oxidačno-redukčnými procesmi podieľali na vzniku B horizontu, ale aj ďalšími vlastnosťami, napríklad inou materskou horninou (svahoviny) a vyššou intenzitou hydromorfného ovplyvnenia. Vertická pôda v Nitrianskych Hrnčiarovciach nezodpovedá žiadnej klasifikačnej jednotke MKSP a stala sa podnetom pre úvahy o úprave klasifikačného systému. Bol navrhnutý nový diagnostický horizont – vertický B horizont s mramorovanou varietou, nový pôdny typ – vertizem so subtypmi kultizemná a mramorovaná a bolo navrhnuté vyčleniť novú skupinu vertických pôd, do ktorej by patril tento nový pôdny typ, pričom smonica, ktorá je v súčasnosti zaradená do skupiny mollických pôd by v tejto skupine ostala, pretože mollický horizont je najmä z praktického hľadiska (fytoekologická hodnota pôdy, úrodnosť, produkčný potenciál) veľmi dôležitý a musí mať pri klasifikácii pôd prednosť.

Kľúčové slová: vertisol, smonica, smektity, napučievajúce íly, klasifikácia pôd

Abstract

Initiative to focus research effort to Vertisol investigation came from revision of Slovak soil classification system. The questions risen during its revision were moved forward thank to unexpected identification of Vertisol site at Nitrianske Hrnčiarovce which was very different from mollic vertisol near Gbely, the only vertisol area known in Slovakia up to now. The identified profile was compared to typical profile representing the Mollic Vertisols of Gbely site. Although it has lower clay content, it has strongly developed vertic properties. However it was very different from profile of the Gbely site. It does not have mollic A horizon but shrinking and swelling together with oxidation-reduction processes resulted in formation of strongly developed B horizon. The differences were identified also in other properties, especially the

parent material (Pleistocenous slope deposits versus Tertiary clay) and the impact of water-lodging is much stronger. The Vertisol identified at Nitrianske Hrnčiarovce site does not fit into Slovak Soil Classification System and it initiated discussion on further revision of classification. There was proposed *vertic B horizon* as new diagnostic horizon and *pseudogley variety* of this horizon. Further there was proposed *Vertizem* as new soil type representing Vertisol without mollic horizon and finally there was proposed to create new soil group of *vertic soils* with the newly proposed *vertizem*. However, the *Smonica* – the Vertisol with mollic horizon which was up to now grouped with other mollic soils such as Chernozems in the mollic soil group should stay in this group because the mollic horizon is very important (especially because it controls phytoecological quality, fertility and production potential of soils). For this reason the presence of mollic horizon should have priority in classification compare to vertic properties and vertic diagnostic horizon.

Keywords: Vertisol, Mollic Vertisol, smectites, swelling clays, soil classification

ÚVOD

Pre všestranné poznávanie pôdneho krytu a zákonitostí jeho vývoja a priestorového rozšírenia má často významný prínos aj výskum zvláštnych a zriedkavých pôdnych typov, ktoré zväčša unikajú pozornosti pôdoznalcov kvôli svojmu malému rozšíreniu a zanedbateľnému významu pre poľnohospodárstvo. Avšak práve v týchto pôdach, ktoré sa vyvíjali v určitom zmysle extrémnym spôsobom, sa výraznejšie prejavujú niektoré vzťahy prostredia a procesov, ktoré sú v bežných podmienkach pri vzniku prevládajúcich typov pôd menej zreteľné.

Významný impulz pre výskum niektorých zriedkavých pôdnych typov priniesla novelizácia Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (MKSP, ŠÁLY a iní, 2001), ktorá prebieha od roku 2009 a bude ukončená v roku 2014. Do centra pozornosti sa dostali najmä andozeme, ale aj smonice a diskusie priniesli aj návrhy na vyčlenenie viacerých nových pôdnych typov, napríklad koluvizemí a umbrizemí.

Jednou z diskutovaných otázok bola aj klasifikácia pôd na napučievajúcich íloch (napučievajúcich pôd, vertikálnych pôd) a ich postavenie v systéme. V súčasnom slovenskom klasifikačnom systéme je uvedený ako jediný pôdny typ na napučievajúcich íloch smonica a vzhľadom na svoj výrazne vyvinutý molický horizont je zaradená do skupiny molických pôd. Bol vznesený návrh na vytvorenie samostatnej skupiny vertikálnych pôd, ktorá by vyčleňovala pôdy s výrazne vyvinutým tlakovým usporiadaním ílu (vertikálne vlastnosti). Diskusia sa zamerala aj na otázku, či je na Slovensku okrem doteraz známych smoníc pravdepodobný aj výskyt vertikálnych pôd bez molického horizontu.

V jeseni 2012 sa problematika vertikálnych pôd výrazne posunula dopredu vďaka nečakanej náhode, keď bol počas terénnych prác v rámci výskumného projektu „Validácia stredoeurópskej pôdnej databázy“ nájdený pri Nitrianskych Hrnčiarovciach areál vertikálnych pôd bez molického horizontu, čím sa potvrdil výskyt takýchto pôd na Slovensku. Vzhľadom na to, že išlo o výskyt nového pôdneho typu v našich podmienkach, nasledujúcim logickým krokom bolo zorganizovať

zovanie terénnych prác zameraných na základné zdokumentovanie a charakterizovanie tohto nového pôdneho typu.

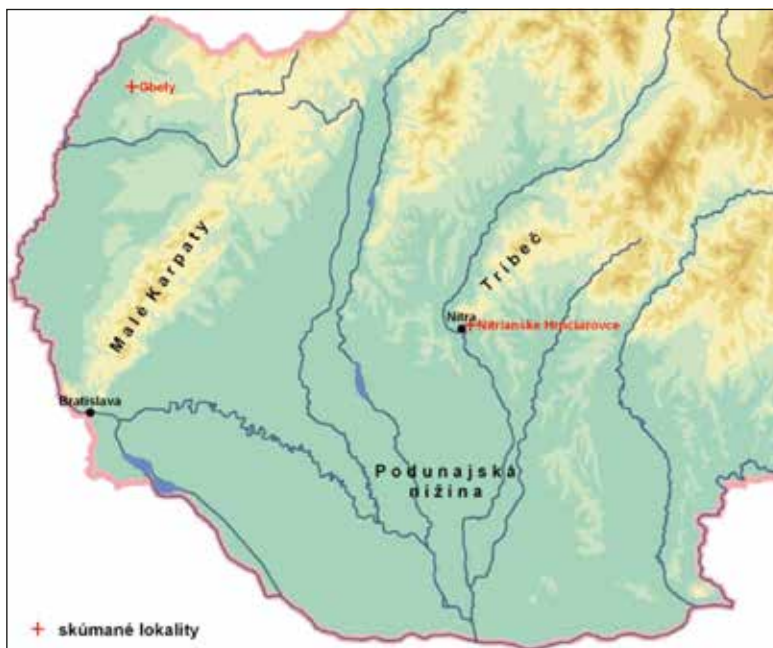
Cieľom predloženého článku je podať správu o zistenom výskyte vertikálnych pôd bez molického horizontu pri Nitrianskych Hrnčiarovciach, spracovať ich charakteristiku a porovnať ich vlastnosti s typickým profilom smonice z Gbelov, ktorý reprezentuje najznámejší areál smoníc na Slovensku ako pôd s výrazne vyvinutými vertikálnymi vlastnosťami. Na základe opísaných pôdnych profilov bola prediskutovaná problematika ich klasifikácie..

MATERIÁL A METÓDY

Zájumové územie

Zájumové územie sa nachádza na Žitavskej pahorkatine medzi Nitrianskymi Hrnčiarovcami a Malantou, na južnom predhorí Tribeča (Obr. 1). Vyhraničený areál vertikálnych pôd má oválny tvar a rozlohu približne 7,7 ha (Obr. 2).

Obr. 1 Poloha zájumových areálov vertikálnych pôd



Podklad územia tvoria pleistocénne svahoviny znesené z úbočí Tribeča nerozlíšeného pleistocénneho až holocénneho veku (KÁČER a iní, 2005). Ide o eróznogravitačné sutiny posúvané po svahoch ronóm, soliflukciou a gravitačnými pohybmi. Pri sondáži boli navŕtané dve vrstvy. Vrchnú vrstvu tvorí necelý meter hrubý nános s mimoriadne vysokým obsahom ílu, pričom však obsahuje aj neopracovaný, či slabopracovaný štrk a balvany, najmä kremencové, pochádzajúce z tvrdošov lemujúcich juhovýchodný okraj Tribeča, tvorených spodnotriasový-

mi kremencami (Lúžňanské súvrstvie). Pod ňou je vrstva zaíleného piesku, ktorej spodná hranica presahovala hĺbku vrtu (210 cm).

Svahoviny sú prekryté tenkým návejom hlín, ktoré sú v záujmovom území hrubé iba niekoľko decimetrov a vzhľadom na túto malú hrúbku sú celé pretvorené pedogenézou na ochrický A horizont bez obsahu karbonátov. Pôvodne to bola pravdepodobne spraš, pretože v okolí vyhraničeného areálu vertikálnych pôd boli navŕtané aj hrubšie pokrovy hlín, ktoré mali charakter typickej spraše s vysokým obsahom karbonátov a typickou sprašovou morfológiou (agregáciou). V hornej konvexnej časti svahu úvaliny tvoriacej západný okraj záujmového územia sú eolické hliny oderodované a ílovitý proluviaálny materiál vystupuje na povrch.

Na juhovýchodnom okraji záujmového územia sa nachádza skládka prevažne stavebného odpadu, ktorá je aj vymapovaná na geologickej mape ako antropogénny sedimentárny útvar (KÁČER a iní, 2005).

Nadmorská výška sa pohybuje v rozmedzí 188–197 m n.m. Povrch je prevažne plochý, mierne sklonený (0,5 až 1 stupeň) juhovýchodným smerom od Tribeča do stredu Žitavskej pahorkatiny. Zo západnej strany ho ohraničuje suchá periglaciálna úvalina. Jej svah dosahuje sklon približne 2–4 stupne a dĺžku svahu 100–200 m.

Klimaticky patrí záujmové územie do teplej oblasti, teplého mierne vlhkého okrsku s miernou zimou (LAPIN a iní, 2002). Prehľad priemerných mesačných a ročných hodnôt teploty (PETROVIČ a ŠOLTÍS, 1991) a zrážok (HORECKÁ a VALOVIČ, 1991) podáva Tab. 1.

Tab. 1. Priemerné mesačné a ročné teploty vzduchu (°C) a zrážky (mm) pre stanicu Nitra, za obdobie 1951–1980

Parameter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Teploty	-1,7	0,5	4,7	10,1	14,8	18,3	19,7	19,2	15,4	10,1	4,9	0,5	9,7
Zrážky	31	32	33	43	55	70	64	58	37	41	54	43	561

Počas komplexného prieskumu pôd boli v záujmovom území a v okolí mapované kambizeme (hnedé pôdy). Na dne úvaliny boli mapované fluvizeme glejové (nivné pôdy glejové).

Záujmové územie sa využíva ako orná pôda. V úvaline vznikla v predchádzajúcich desaťročiach už spomenutá skládka stavebného odpadu, ktorý sa sem vyvážal zrejme aj preto, lebo nízka úrodnosť tohto pozemku bola známa. V súčasnosti je skládka zahrnutá a využíva sa opäť ako orná pôda, pričom však zvyšky stavebného odpadu (úlomky tehál, betónu a ďalšieho stavebného odpadu) sú vyorávané počas obhospodarovania pozemku.

Vzhľadom na to, že pôdy záujmového územia budú porovnané so smonicami pri Gbeloch, je vhodné podať aj stručnú charakteristiku tohto územia. Tento najrozsiahljší a najznámejší areál smonic na Slovensku sa nachádza asi 3 km severovýchodne od Gbelov, na rozsiahlom plochom pahorku, kde vystupujú na povrch treťohorné ílovité horniny. Jedná sa o tzv. holičské súvrstvie vápnitých ílovcov miocénneho veku (sarmat). Nadmorská výška dosahuje 211 m n. m. a sklon 0,5 stupňa. Klimaticky patrí toto územie do rovnakého rajónu ako Nitrianske Hrnčiarovce (teplá oblasť, teplý mierne vlhký okrsk s miernou zimou a zrážky aj teplota sú veľmi podobné okoliu Nitry (Tab. 2). Pôdny kryt predstavujú najmä smonice a v okrajových častiach ťažké černoze s čiastočne vyvinutými vertikálnymi znakmi. Celé územie sa intenzívne využíva ako orná pôda.

Tab. 2. Priemerné mesačné a ročné teploty vzduchu (°C) a zrážky (mm) pre stanicu Senica, za obdobie 1951 – 1980

Parameter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Teploty	-2,3	-0,1	4,0	9,2	14,0	17,4	18,8	18,4	14,6	9,5	4,2	0,0	9,0
Zrážky	34	33	35	46	55	77	73	62	38	41	47	44	585

Metódy

Na zdokumentovanie vlastností záujmových pôd boli použité štandardné metódy využívané pri pôdnych prieskumoch na VÚPOP. Morfológická charakteristika pôdneho profilu bola popisovaná podľa príručky ČURLIKA a ŠURINU (1998). Základné pôdne analýzy boli robené podľa metodiky FIALU a iní (1995). Vyhraničenie priestorového rozšírenia vertickej pôdy bolo urobené pomocou vrtanej sondáže, poloha vrtov bola zameraná pomocou GPS a mapové vyjadrenie vyhraničeného areálu bolo spracované pomocou GIS.

Hoci pre klasifikáciu a celkové hodnotenie zistenej pôdnej taxonomickej jednotky je najdôležitejšie vymedzenie jej odlišnosti od doposiaľ známych vertikálnych pôd na Slovensku – smoníc, pre jej lepšie pochopenie, ako aj pre lepšie pochopenie celej skupiny vertikálnych pôd na Slovensku je dôležitou časťou interpretácie výsledkov aj zasadenie študovaných pôd do celkového kontextu vertikálnych pôd vo svete. Pozornosť bola preto venovaná aj štúdiu literatúry o vertikálnych pôdach a to najmä zahraničných klasifikačných systémov (WRB, USDA, česká klasifikácia).

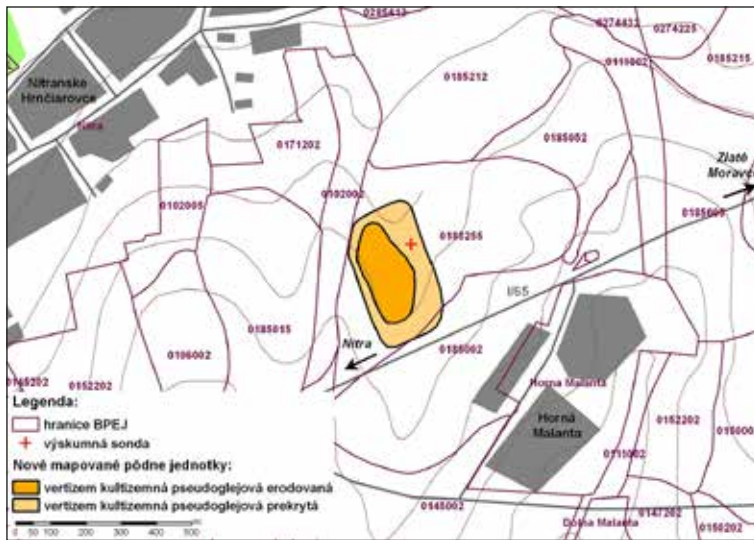
Vzhľadom na nedostatok domácej literatúry boli v snahe zistiť o výskyte a hodnotení vertikálnych pôd na Slovensku oslovení pôdoznalci, ktorí sa zúčastnili KPP so žiadosťou o poskytnutie svojich skúseností a taktiež ďalší pracovníci, aktívni pri terénnych prácach v súčasnosti, napríklad pracovníci vedúci monitoring pôd a pracovníci regionálneho pracoviska v Prešove, ktorí pôsobili pri terénnych prácach na Východoslovenskej nížine (celkovo 12 pracovníkov). Získané odpovede boli cenným príspevkom k poznaniu najmä počiatkov výskumu vertikálnych pôd na Slovensku, ktoré by nebolo možné získať z literatúry.

VÝSLEDKY

Charakteristika vertickej pôdy pri Nitrianskych Hrnčiarovciach

Stanovište pri Nitrianskych Hrnčiarovciach bolo do siete stanovišť pre verifikáciu stredo-európskej pôdnej databázy e-SOTER vybrané s použitím softvéru na generovanie náhodného výberu stanovišť. Keď bol zorganizovaný terénny výjazd s cieľom zdokumentovať reprezentatívny pôdny profil nájdenej vertickej pôdy, bolo vybrané to isté miesto (Obr. 2). Reprezentatívny pôdny profil predstavuje obrázok 3.

Obr. 2 Poloha areálu vertikálnych pôd pri Nitrianskych Hrnčiarovciach



Obr. 3 Reprezentatívny pôdny profil vertikálnej pôdy pri Nitrianskych Hrnčiarovciach (profil 1)



Terénny popis (Tab. 3) svedčí o tom, že pôda má dostatočne vyvinuté vertikálne znaky, najmä výrazné trhliny (Obr. 4), ktoré sú 1,5 – 3 cm hrubé (Obr. 5), šmykové plochy (Obr. 6, 7), aj klinovité agregáty. Šmykové plochy boli veľmi výrazné. Vyskytovali sa už v hĺbke okolo 70 cm, ale najvýraznejšie boli v rozmedzí 90 – 110 cm a zrejme pokračovali aj hlbšie. Mnohé mali rozmery aj viac ako 10 × 10 cm.

V tejto hĺbke sa vyskytovali aj klinovité agregáty veľké 5 – 15 cm. Pre lepšie zdokumentovanie vertikálnych morfológických znakov bol na dne sondy očistený horizontálny pôdny profil (Obr. 8), ktorý umožnil merať hrúbku trhlín a rozlohu šmykových plôch.

Okrem toho sa v horizontálnom reze ukázala sieť hruboprismatických agregátov, ktoré ohraničovala sieť trhlín. Prizmy mali značne nepravidelný tvar a rôzne rozmery. Horizontálny rez nebol dosť veľký na to, aby obsahol sieť trhlín tvoriacu niekoľko celých priziem, ale zmestila sa doň jedna malá prizma (30 × 18 cm) (Obr. 9) a časť veľkej prizmy (priemer v smere najdlhšej osi presahuje 1 m), ktorej tvar si napriek tomu, že sa do očisteného horizontálneho profilu nezmestila celá, možno extrapolovať (Obr. 10).

Obr. 4 Výrazné pukliny, typické pre vertikálne pôdy v suchom období roka, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 5 Hrúbka puklín dosahuje obvykle 2 cm, zriedka, najmä v miestach rozvetvenia puklín 3 cm, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 6 Šmyková plocha vo výkope, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 7 Typická šmyková plocha po vybratí z výkopu, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 8 Horizontálny rez pôdou, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 9 Hruboprizmatická štruktúra – najmenšia prizma v horizontálnom reze, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Obr. 10 Hruboprizmatická štruktúra – extrapolácia najväčšej prizmy v horizontálnom reze, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce



Terénny test zrnitosti nasvedčoval na veľmi vysoký obsah ílu. Jedná sa teda o dobre vyvinutú vertikálnu pôdu, ktorá spĺňa kritériá pre vertikálne pôdy rovnako podľa MKSP, ako aj podľa WRB a USDA.

Obr. 11 Erovaná časť svahu s obnaženým B-horizontom



Zároveň však skúmaný pôdny profil predstavuje zložitejší polygenetický pôdny útvar, ktorý sa vytvoril na materskej hornine zloženej s veľmi rôznorodých geologických vrstiev, ktoré sa výrazne líšia jednak zrnitosťou a jednak mineralogickým zložením a chemizmom. Ochrický humusový A horizont je vyvinutý z eolických hlien, ktoré neobsahujú napučievajúce íly a nemajú vertikálnu morfológiu. V popisovanom profile tvoria 40 cm hrubú vrstvu, ktorá bola v celej svojej hrúbke pretvorená na A horizont, avšak hrúbka eolických hlien sa výrazne mení v rozsahu vzdialenosti niekoľko sto metrov. Smerom na západ hrúbka pokrovu klesá, až na svahu úvaliny chýba úplne a na povrch vystupuje B horizont (Obr. 11) a naopak, smerom na východ narastá, pričom jeho spodná časť už nie je pretvorená pedogenézou a predstavuje C horizont (typická spraš), pričom sa ílovitá vrstva pretvorená na vertikálnu pôdu ponára do hĺbky a mení postupne

na pochovanú pôdu a ďalej predstavuje vo vzťahu k pôde vytvorenej z eolického pokrovu, podložnú geologicky odlišnú vrstvu (D horizont).

Tab. 3 Morfológický popis, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce

Horizont	Morfológické vlastnosti
Akp (0–30 cm) kultizemný (ochrický ornicový humusový)	10YR 3,5/4 (za vlhka), 10YR 6/3 (za sucha), drobnohrudkovitá až hrudkovitá, hlinitá, navlhľá, kyprá, nešumí, miestami mierne prekorenená, neopracovaný štrk s priemerom do 2 cm, prechod ostrý
Ao (30–40 cm) ochrický podorničný humusový	10YR 3,5/4 (za vlhka), 10YR 6/3 (za sucha), masívna, hlinitá, navlhľá, uľahnutá (podorničné zhutnenie), nešumí, ojedinelé korene, prechod postupný
A/B (40–50 cm) prechodný	7,5YR 6/6 (za vlhka), 7,5YR 7/3 (za sucha), nevýrazná polyedrická, masívna, ílovito-hlinitá, navlhľá, tuhá, nešumí, ojedinelé korene, prechod postupný
Bg (50–70 cm) horizont s vertikálnymi znakmi a mramorovaním	7,5YR 5/6 (za vlhka), 7,5YR 7/4 (za sucha), výrazné oxidačno-redukčné mramorovanie, hruboprizmatická, výrazné trhliny o šírke 1 - 3 cm, šmykové plochy, klinovité agregáty, ílovitá, navlhľá, veľmi tuhá, nešumí, bez ílových povlakov, ojedinelé korene, prechod pozvoľný
B/Cg (70–95 cm) prechodný	10YR 5/3 (za vlhka), 10YR 7/3 (za sucha), oxidačno-redukčné mramorovanie s prevahou redukčných škvŕn, hruboprizmatická, výrazné trhliny o šírke 0,5–2 cm, šmykové plochy, klinovité agregáty, ílovitá, navlhľá, tuhá, Mn bročky, nešumí, bez ílových povlakov, kremencové balvaný do veľkosti 20 cm, ojedinelé korene, prechod pozvoľný
Cg (95–120 cm) materská hornina ovplyvnená povrchovým zamokrením	2,5Y 3/2 (za vlhka), 10YR 6,5/2,5 (za sucha), prevažne bledosivozelenkastá farba redukčného prostredia, ojedinelé hrdzavé oxidačné škvŕny, hruboprizmatická, výrazné trhliny o šírke 0,5 - 1 cm, šmykové plochy, klinovité agregáty, ílovitá, navlhľá, tuhá, kremencové kamene, nešumí, bez ílových povlakov bez koreňov, prechod postupný
D (120–210 cm) podložná hornina	10YR 7/4 (za vlhka), 10YR 6/4 (za sucha), zailený piesok.

B a C horizont sú vytvorené z ílovitého súvrstvia s obsahom neopracovaných kameňov, až balvanov, väčšinou kremencových. Pri popise profilu bol tento materiál považovaný za náplavový kužeľ, hoci prítomnosť neopracovaných kameňov bola máťúca. Proluviálny pôvod materiálu sa zdal byť vzhľadom na polohu blízko pohoria, aj keď na veľmi mierne sklonenom pahorku najlogickjším vysvetlením, avšak podľa geologickej mapy (ako už bolo spomenuté v charakteristike územia) ide o svahoviny. Hrúbka ílovej vrstvy s kremencovými balvanmi dosahuje v mieste popisovaného profilu 80–90 cm. Pôdny profil bol prehĺbený vrtom spraveným na dne kopanej sondy, ktorým sa dosiahla hĺbka 210 cm.

V hĺbke 120 cm sa zrnitosť výrazne zmenila a nastúpil zailený piesok, ktorý pôsobí ako litologická hranica hĺbky prenikania vertikálnych procesov. Toto súvrstvie nepripomína svahoviny, ale skôr materiál nanesený vodou a tak je možné, že celé súvrstvie vzniklo komplexnejším pôsobením gravitačných aj fluviaálnych (proluviálnych) procesov.

B horizont je pretvorený nielen pedoturbáciou spôsobenou napučívaním a zmršťovaním, ale výrazne sa prejavuje aj chemické zvetrávanie a uvoľňovanie železa a jeho redistribúcia pôsobením oxidačno-redukčných procesov pod vplyvom zamokrenia. Horizont má výrazne hrdzavú farbu, smerom do hĺbky bledne a zároveň sa zväzňuje redoximorfne mramorovanie.

Základné analytické vlastnosti podávajú tabuľky 4 až 6. Zistené vlastnosti sú v zhode s očakávaním. Pôda je zrnitostne veľmi ťažká (obsah častíc <0,01 dosahuje v B horizonte vyše 67 %,

obsah častíc <0,002 je 54 %), neobsahuje karbonáty, má takmer neutrálne pH (pH v H₂O 6,6). Obsah humusu je v A horizonte pomerne vysoký (Cox 1,4 %, organická hmota 2,4 %) a neutrálne pH a obsah dusíka (pomer C/N 8,7) svedčí o dobrej kvalite humusu, ale horizont je svetlý, takže je klasifikovaný ako ochrický. Sorpčný komplex má pomerne nízku kapacitu v ochrickom A horizonte (15,4 cmol+/kg) a vysokú v B horizonte (35,8 cmol+/kg), čo je logické vzhľadom na vysoký obsah ílu. Pre úplnejšie charakterizovanie vlastností bude potrebné aj stanovenie viacerých ďalších vlastností, najmä fyzikálnych (hydrolimity) a mineralogických (röntgenografia ílu).

Tab. 4 Zrnitostné zloženie, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce

horizont	hĺbka vzorky	íl [%]	jemný prach [%]	hrubý prach [%]	veľmi jemný piesok [%]	jemný až hrubý piesok [%]	zrnitostná klasifikácia (Novák)	íl a jemný prach [%]
	cm	<0,002 mm	0,002–0,01 mm	0,01–0,05 mm	0,05–0,1 mm	0,1–2 mm		<0,01 mm
Akp	0–20	15,5	15,6	38,0	14,9	15,9	hlinitá (H)	31,2
Bg	50–60	53,9	13,9	16,5	7,5	9,0	ílovitá (IV)	67,0
B/Cg	85–95	49,5	16,8	16,9	9,9	6,9	ílovitá (IV)	66,4
D	>120	28,3	6,3	11,7	21,4	32,3	hlinitá (H)	34,6

Tab. 5 Základné chemické vlastnosti, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce

horizont	hĺbka vzorky	pH KCl	pH H ₂ O	CaCO ₃	Cox	Nt	C/N
	[cm]			%	%		
Akp	0–20	6,1	6,6	<0,05	1,39	0,16	8,7
Bg	50–60	4,8	6,6	<0,05	0,38	0,06	6,3
B/Cg	85–95	5,3	6,7	<0,05	0,20	0,04	5
D	>120	6,0	7,3	<0,05	0,02	0,02	

Tab. 6. Sorpčné vlastnosti, profil 1, Nitrianske Hrnčiarovce

horizont	hĺbka vzorky	Na _{vým}	K _{vým}	Mg _{vým}	Ca _{vým}	suma katiónov	kationová výmenná kapacita	nasýtenosť sorpčného komplexu
	[cm]	cmol+/kg				cmol+/kg		%
Akp	0–20	0,4	0,8	1,6	10,5	13,3	15,4	86,4
Bg	50–60	0,6	0,5	7,3	29,4	37,8	35,8	100,0
B/Cg	85–95	0,1	0,5	10,8	41,3	52,7	37,7	100,0
D	>120	0,1	0,4	5,0	15,5	21,0	20,6	100,0

Zistený areál vertikálnych pôd zaberá ako už bolo povedané v charakteristike študovaného územia 7,7 ha. Možno ho rozdeliť na dve časti:

- stredná časť areálu (3,1 ha), kde je pokrov hĺn erodovaný a B horizont vystupuje na povrch. Ide o erodovanú pôdnu formu, ktorej chýba A horizont, ktorý bol pôvodne vytvorený z pokrovu eolických hĺn,
- okolo stredného erodovaného areálu sa rozkladá nepravidelne široké pásmo vertikkej pôdy prekrytej pokrovom eolických hĺn (4,6 ha).

Hrúbka pokrovu stúpa smerom od erodovanej konvexnej časti svahu všetkými smermi, pričom tam, kde dosahuje 60 cm sa podľa súčasnej klasifikácie už nepovažuje za prekrytú ale pochovanú, takže tam bola vykreslená hranica areálu.

Porovnanie so smonicou kultizemnou v Gbeloch

Areál smonic pri Gbeloch je, ako už bolo naznačené v úvode, jediným všeobecne známym areálom vertikálnych pôd na Slovensku, a preto sa napriek svojej veľkej rozlohe teší už dlhodobo značnej pozornosti pôdoznaleckej obce. Smerovalo sem už viacero pôdoznaleckých exkurzií (aj zahraničných), viac krát tu boli popísané pôdne profily a analyzované rôzne vlastnosti, takže v súčasnosti je k dispozícii pomerne bohatý súbor analytických údajov, vrátane viacerých zriedka meraných vlastností, ako sú hydrolimity, či celkový chemický rozbor. Pre porovnanie s vertikálnou pôdou v Nitrianskych Hrnčiarovciach bol vybraný profil a analytický súbor, ktorý bol spracovaný pre potreby medzinárodnej pôdoznaleckej exkurzie organizovanej v rámci pôdoznaleckej konferencie Eurosoil 2008 (FULAJTÁR a iní, 2008). Profil je znázornený na obrázku 12. Morfológický popis podáva tabuľka 7 a analytické vlastnosti tabuľky 8 až 11.

Obe pôdy majú vysoký obsah ílu a výrazne vyvinuté vertikálne morfológické znaky, ktoré sú určujúcim kritériom pre klasifikáciu vertikálnych pôd (praskliny, šmykové plochy, klinovité agregáty). Šmykové plochy možno porovnať na obrázkoch 6, 7 a 13. Miera rozvinutia puklín sa nedá porovnávať, pretože profily boli popisované v inom období, avšak na ich porovnanie by bolo potrebné obe pôdy hodnotiť v rovnakom stave (čiže za rovnakej momentálnej vlhkosti). Profil v Gbeloch bol fotografovaný po tom, čo bol niekoľko dní otvorený a čelná stena bola výrazne vysušená, takže na obr. 12 vidieť výrazne vyvinutú štruktúru, kde sú jednotlivé agregáty oddelené výraznými širokými plošnými makropórami, ktoré spôsobujú rozpadávanie a zosýpanie sa celej pôdnej hmoty, omnoho intenzívnejšie ako pri bežných pôdach.

Obr. 12. Reprezentatívny profil smonice kultizemnej, profil 2, Gbely



Obr. 13 Šmykové plochy v spodnej časti A-horizontu, profil 2, Gbely



Tab. 7 Morfológický popis, profil 2, Gbely

Horizont	Morfológické vlastnosti
Akp (0–30 cm) kultizemný (molický smonicový ornícový humusový)	2,5YR 2/1 (za vlhka), 2,5Y 3/2 (za sucha), polyedrická, íl, mokrá, plastická, prechod zreteľný
Amn (30–70 cm) molický smonicový humusový	2,5YR 2/1 (za vlhka), 2,5Y 3/1,5 (za sucha), prizmatická štruktúra, íl, mokrá vo vrchnej časti, vlhká v dolnej časti, lepiová vo vrchnej časti, plastická v spodnej časti, hojný výskyt šmykových plôch, 1–2 cm široké trhliny za sucha, zreteľný nepravidelný prechod
A+C (70–90 cm) prechodný	2,5YR 5/4 (za vlhka), 5Y 5/2 (za sucha), klinovitá štruktúra, íl, vlhká, plastická, hojný výskyt difúzných Fe ³⁺ škvŕn, hojný výskyt šmykových plôch, zreteľný nepravidelný prechod
Cc (90–120 cm) karbonátová materská hornina	5YR 5/2 (za vlhka), 2,5Y 7/2 (za sucha), stredne až hrubo lístkovitá, íl, vlhká, plastická, mierne karbonátová, ojedinelé drobné Fe ³⁺ škvŕny.

Tab. 8 Zrnitostné zloženie (%), profil 2, Gbely

horizont	hĺbka vzorky	íl	jemný prach	stredný prach	hrubý prach	jemný piesok	stredný piesok	hrubý piesok
	[cm]	<0,002 mm	0,002–0,0063 mm	0,0063–0,02 mm	0,02–0,063 mm	0,063–0,2 mm	0,2–0,63 mm	0,63–2,0 mm
Akp	5–20	66,0	12,7	12,2	5,4	1,1	2,2	0,5
Amn	45–50	72,9	12,6	9,0	3,5	0,7	1,1	0,3
A/Cc	80–90	73,7	16,7	6,8	1,9	0,4	0,5	0,0
Cc	100–110	72,2	16,8	9,4	1,0	0,2	0,4	0,0

Tab. 9 Základné chemické vlastnosti, profil 2, Gbely

horizont	hĺbka vzorky	pH _{CaCl₂}	CaCO ₃	EC	C _{org}	N _{tot}	C/N pomer
	[cm]		[%]	[mS/cm]	[%]		
Akp	10–15	5,5	0,1	0,09	3,0	2774	10,6
Amn	40–45	5,9	0,1	0,05	1,8	1715	10,7
A/Cc	70–75	6,8	0,2	0,19	0,9	995	9,2
Cc	95–100	7,1	2,6	0,34	0,3	781	4,2

Tab. 10 Živiny a sorpčný komplex, profil 2, Gbely

horizont	hĺbka vzorky	P _{prist}	K _{prist}	K _{vým}	Na _{vým}	Ca _{vým}	Mg _{vým}	katiónová výmenná kapacita	nasýtenosť sorpčného komplexu
	[cm]	[mg/kg]		[cmol+/kg]				[cmol+/kg]	[%]
Akp	10–15	129	562	1,5	0,1	31,4	11,9	47,7	94
Amn	40–45	<20	317	0,4	0,3	30,0	14,1	46,4	97
A/Cc	70–75	<20	307	0,4	0,7	25,4	15,3	45,1	93
Cc	95–100	<20	316	0,4	0,9	22,8	13,3	38,6	97

Obe pôdy sa však napriek výrazne vyvinutým vertikálnym znakom líšia vo viacerých ďalších dôležitých vlastnostiach. Už fotografie profilov a terénne morfológické popisy sú presvedčivým dôkazom, že ide o veľmi rozdielne pôdy. Smonica v Gbeloch má vyše 70 cm hrubý molický hori-

zont, ktorý má v našich geografických podmienkach neobvykle vysoký obsah humusu (3% Cox a 5,2% humusu v ornici a 1,8% Cox a 3,1% humusu v podornici) a mimoriadne tmavú farbu (2/1 oproti 3,5/3,5), ktorá výrazne presahuje hraničné hodnoty pre molický horizont. Ide teda nielen o pôdu s molickým horizontom, ale o pôdu s jedným z najvýraznejšie vyvinutých molických horizontov, ktorý je hrubší, tmavší a bohatší na organickú hmotu ako prakticky všetky černoze, ktoré nie sú obohatené akumuláciou. Molickému horizontu v Gbeloch sa farbou a obsahom organickej hmoty vyrovnajú z minerálnych pôd len niektoré najvýraznejšie vyvinuté A horizonty čiernic.

Tab. 11 Základné fyzikálne vlastnosti, profil 2, Gbely

horizont	hĺbka vzorky	objemová hmotnosť	celková pórovitosť	kapilárne póry	semikapilárne póry	nekapilárne póry	hydrolimity			nasýtená hydraulická vodivosť
							pF 2,0	pF 2,5	pF 4,2	
[cm]		[g/cm ³]	[vol.%]							[cm.min ⁻¹]
Akp	10–15	1,28	49,5	43,6	1,8	4,1	44,9	38,6	29,2	0,0003
Amn	40–45	1,30	50,7	44,2	1,9	4,6	45,6	39,9	31,4	0,0165
A/Cc	70–75	1,30	50,9	42,7	2,1	6,1	44,3	39,8	33,1	0,0003
Cc	95–100	1,29	51,4	41,9	1,9	7,6	43,7	39,6	33,6	0,0021

Tieto veľké rozdiely v množstve a kvalite organickej hmoty medzi vertikálnymi pôdami v Nitrianskych Hrnčiarovciach a Gbeloch sú dosť prekvapujúce. Možno predpokladať dve príčiny. Nitrianske Hrnčiarovce ležia v hnedozemnej oblasti a vznikli z nevápnitej materskej horniny, takže tu nedochádza k stabilizácii humusu karbonátmi.

Okrem rozdielu v organickej hmote možno badať aj viaceré ďalšie rozdiely medzi porovnávanými pôdami. Významný je rozdiel v materskej hornine. Doteraz sa o vertikálnych pôdach uvažovalo len v súvislosti s tretohornými ílmi a ílovitými náplavmi riečnych nív. Zistenie výskytu vertikálnej pôdy na svahovinách je novinkou.

Výrazný je rozdiel v zrnitosti, napriek tomu, že obsah ílu je v oboch pôdach veľmi vysoký. Hoci pre každú z porovnávaných pôd bola používaná iná frakcionácia (pre profil v Gbeloch bola použitá anglosaská frakcionácia, keďže profil bol analyzovaný pre potreby medzinárodnej exkurzie, pre profil v Nitrianskych Hrnčiarovciach bola použitá zjednodušená verzia slovenskej frakcionácie) je očividné, že pôda v Gbeloch je výrazne ťažšia (obsah ílu 50 až 54% oproti 66 až 74%).

Ďalším rozdielom je obsah karbonátov. V Gbeloch je nevápnitý iba A horizont pričom A/C aj C horizont obsahujú malé množstvo karbonátov. To stačí na to, aby karbonáty priaznivo ovplyvňovali chemizmus pôdneho profilu, najmä pH a kvalitu humusu. Oproti tomu vertikálna pôda v Nitrianskych Hrnčiarovciach je nevápnitá v celom profile.

Výrazný rozdiel je v kationovej výmennej kapacite. Hoci je vysoká v oboch pôdach, v smonici pri Gbeloch je v dôsledku vyššieho obsahu ílu aj humusu výrazne vyššia (46,4 oproti 37,7 cmol+/kg).

Posledným významným rozdielom je vyššia miera zamokrenia pôdy v Nitrianskych Hrnčiarovciach. Hoci redoximorfne znaky sa vyskytujú aj v Gbeloch, tam sú vytvorené len oxidačné hrdzavé škvrny. V Nitrianskych Hrnčiarovciach sa vyvinulo výrazné mramorovanie, ako v pseudoglejoch a popri hrdzavých škvrnách vidno aj výrazné bledé redukčné škvrny. Intenzita mramorovania s hĺbkou rastie a aj zaílený piesok v podloží má prevažne sivú a zelenkastú redukčnú farbu.

DISKUSIA

Zo získaných výsledkov vyplývajú dve hlavné otázky. Prvou je otázka významu molického horizontu vo vertikálnych pôdach a tým aj konceptu vertikálnych pôd a ich celkového chápania ako samostatnej skupiny pôd. Druhá otázka vyplýva z prvej, alebo s ňou úzko súvisí. Treba sa zamyslieť ako klasifikovať vertikálne pôdy a ako definovať kritériá pre celú túto skupinu pôd a pre jej vnútorné členenie. V tomto smere je nedomyselný najmä koncept diagnostických horizontov. Pre zhodnotenie týchto dvoch otázok je potrebné vychádzať z literatúry, najmä zahraničnej, vzhľadom na to, že domáca literatúra o smoniciach sa obmedzuje iba na niekoľko prác. Pri štúdiu zahraničnej literatúry sa treba zamerať na práce zaoberajúce sa charakteristikou, klasifikáciou a genézou vertikálnych pôd. Do celkového konceptu vertisolov rozpracovaného v zahraničnej literatúre treba zasadiť poznatky o vertikálnych pôdach na Slovensku, pričom tu sa treba vrátiť až k počiatkom ich rozlišovania u nás, a vzhľadom na nedostatok publikovaných prác je potrebné siahnuť aj k archívnym dokumentom komplexného prieskumu pôd a obrátiť sa na pracovníkov, ktorí sa zúčastnili prieskumu, so žiadosťou o ich osobné skúsenosti a svedectvá o výskyte týchto pôd a ich vtedajšom chápaní.

Koncept vertisolov, výskum ich genézy a klasifikácia vo svete

Vertikálne pôdy (vertisoly) boli vo svete už veľmi dávno považované za samostatnú svojráznu skupinu pôd, vďaka svojim nápadným a pre poľnohospodárske využitie nepriaznivým fyzikálnym vlastnostiam. Poľnohospodári si zvláštny charakter týchto pôd uvedomovali už dávno pred vznikom prvých vedecky definovaných klasifikácií pôd.

Vedecký koncept vertisolov je veľmi dobre vysvetlený najmä v príručke FAO venovanej charakteristike pôd sveta (FAO 2001). Vertisoly sa tu charakterizujú s prihliadnutím na ich genézu, morfológiu a geografické väzby ako ťažké pôdy s vysokým obsahom napučievajúcich ílov (skupina smektitov), ktoré sa vyznačujú celým komplexom zvláštnych morfológických a fyzikálnych vlastností. Ich názov vertisoly je odvodený od latinského výrazu **vertere**, ktorý znamená „prevracať“. Pravdepodobne ide o veľmi starý indoeurópsky slovný koreň, keďže je očividná jeho podobnosť so slovanskými výrazmi podobného významu (napr. v slovenčine vrátiť, obrátiť, prevrátiť, úvrať a ďalšie). Okrem tohto názvu existuje viacero tradičných názvov v rôznych krajinách napr. **black cotton soils** (USA), **regur** (India), **vlei soils** (Južná Afrika), **margalites** (Indonézia), **gilgai** (Austrália).

Hlavnými morfológickými znakmi vertisolov sú výrazné **trhliny** či **pukliny** (ktoré sú mnohonásobne väčších rozmerov ako pri iných pôdach s rovnakým obsahom bežných ílov, ktoré napučievajú omnoho menej intenzívne) a tzv. **šmykové plochy** (angl. **slickensides**). Popri týchto najnápadnejších znakoch sa vyskytujú aj ďalšie morfológické znaky, ktoré nemusia byť vyvinuté u všetkých vertikálnych pôd, ale sú tiež veľmi časté a v dobre vyvinutých vertisoloch sú výrazné. Sú to najmä **klinovité (romboedrické) agregáty, zvlnený povrch (gilgai)** a tzv. **voľná zrnitá štruktúra**, pri ktorej sa v dôsledku zmrštenia jednotlivé zrná oddeľujú od seba takmer úplne a celá pôdna hmota sa ľahko rozsýpa. Z fyzikálnych vlastností sú najvýraznejšie **extrémna konzistencia** a **malý rozsah hydropedologického intervalu prístupnej vody**.

Staršia koncepcia medzinárodnej **klasifikácie pôd FAO**, ktorá vychádzala z legendy pôdnej mapy sveta (FAO, 1988), zakladala klasifikáciu vertisolov na **vertických vlastnostiach**. V súčasnej klasifikácii **World reference base (WRB)**, predstavujúcej od základu prepracovanú klasifikáciu FAO, ktorá už nevychádza iba z legendy pôdnej mapy sveta, ale je koncipovaná ako klasifikačný rámec pre porovnávanie pôdneho krytu vo svetovom meradle (FAO, 2006) je už zavedený koncept **vertického diagnostického horizontu**, ktorý je charakterizovaný obsahom ílu (viac ako 30 %) a **vertickými morfológickými znakmi** (šmykové plochy a klinovité agregáty). Tento horizont je jednoznačne zadaný ako podpovrchový. Rozdelenie vertisolov určuje 13 prefixových a 14 sufixových kvalifikátorov, ktoré sa môžu navzájom rôznym spôsobom kombinovať. Jeden z prefixových kvalifikátor označuje **molické vertisoly**, medzi ktoré by bolo možné zaradiť slovenské smonice.

Americká klasifikácia (**Soil Taxonomy, ST**, USDA, 2010) nemá zavedený vertikálny horizont. Vertisoly sú klasifikované na základe konceptu **diagnostických pôdnych vlastností**, ktoré sa môžu vyskytovať v rôznych pôdnych horizontoch, alebo v celom profile. Pre vertisoly sú diagnostickou pôdnou vlastnosťou šmykové plochy. Horizonty, v ktorých sa šmykové plochy vyskytujú, sú označované ako **Bss**, teda **B horizont so šmykovými plochami (ss – slickensides)**. Na základe členenia vertisolov podľa vlhkostných a teplotných režimov a celého radu ďalších kritérií sú vertisoly rozdelené na 22 veľkých skupín, ktoré sa ďalej členia na 144 podskupín. Iba pri charakteristike dvoch podskupín (**Calciaquerts** a **Calciusterts**) je zmienka o molickom horizonte, avšak neuvádza sa ako klasifikačné kritérium, iba sa konštatuje, že pôdy z týchto podskupín ho väčšinou (teda nie vždy) majú. Keďže v oboch prípadoch ide o kalcikové podskupiny, molický horizont sa v americkej klasifikácii nepriamo spája s obsahom karbonátov. Vzhľadom na význam molického horizontu z hľadiska produkčného potenciálu pôd a fytoekologického vplyvu je zarážajúce, ako málo pozornosti sa mu venuje v klasifikácii ST.

V českej klasifikácii pôd (**Taxonomický klasifikační systém půd ČR, TKSP**, NEMEČEK a iní, 2011), ktorá má so slovenskou spoločné korene a má podobné úzke regionálne zameranie čo do rozlohy územia a taktiež čo do rozpätia geografických podmienok, sú vertikálne pôdy veľmi úzko a jednoznačne vymedzené. Hoci na rozdiel od MKSP tvoria samostatnú skupinu pôd, uvádza sa len jeden pôdny typ smonica, podobne ako v slovenskej klasifikácii. Základom jej diagnostiky je tzv. **tirsový humusový horizont**, pričom na rozdiel od WRB je diagnostický horizont pre smonice jednoznačne považovaný za **povrchový** horizont a patrí k humusovým A horizontom. V prvom aj druhom vydaní TKSP (NEMEČEK a iní, 2001, NEMEČEK a iní, 2011) je tirsový horizont charakterizovaný ako tmavý a sorpčne nasýtený horizont, ktorý má vertikálne znaky. Tirsový horizont nie je chápaný ako varieta molického horizontu ako je to v MKSP, ale z jeho definície nepriamo vyplýva, že z hľadiska kvality humusu ide o horizont podobný molickému (tmavá farba, nasýtený sorpčný komplex). Kvantitatívne kritériá pre kvalitu humusu však neobsahuje, preto ho nemožno jednoznačne považovať za molický.

Pre hodnotenie vertikálnej pôdy v Nitrianskych Hrnčiarovciach je v TKSP (rovnako v oboch vydaniach) zaujímavá definícia smonice ako pôdneho typu, ktorý je vyvinutý na smektitických íloch v suchých oblastiach, s prípadnou prímiesou ľahšieho materiálu pri povrchu, ktorý má vertikálne znaky. Pozoruhodné je to, že definícia sa zmieňuje, že smonice mávajú často v povrchovej

časti profilu prímies ľahšieho materiálu. To je veľmi častý jav v našich podmienkach, kde počas ľadových dôb často dochádzalo k previevaniu prachu, čo ovplyvnilo nielen tie oblasti, kde sa usadzovali hrubé pokrovy spraší, ale aj mnohé iné územia, kde naviaty prach tvorí iba prímies v iných horninách (svahovinách, alúviách a prolúviách), alebo tenké vrstvy. To je aj prípad Nitrianskych Hrnčiaroviec, kde však naviaty prach netvorí iba prímies ľahšieho materiálu, ale tenký pokrov.

V prvom vydaní TKSP má smonica iba jeden subtyp – **smonica modálna** a jednu varietu **karbonátová**, v druhom vydaní pribudli dva subtypy – **smonica antropická** a **karbonátová**, ktorá bola povýšená z variety na subtyp a pribudla aj nová varieta – **slabo oglejená**. Táto varieta tiež korešponduje s vývojom pôd na Slovensku, kde je oxidačno-redukčnými procesmi veľmi výrazne ovplyvnená vertikálna pôda v Nitrianskych Hrnčiarovciach a mierne postihnutá aj smonica v Gbeloch.

Uvedené tri klasifikácie demonštrujú aká je pestrosť možných prístupov k hodnoteniu vertikálnych pôd. Možno zohľadniť rôzne kritéria, alebo im prisúdiť rozdielnu váhu (priorita vodných režimov, kalcikového horizontu v ST, priorita molického horizontu v českej klasifikácii, alebo rovnaká váha veľkého množstva kritérií a ich neriadene kombinovanie pri kvalifikátoroch WRB), ba dokonca možno vychádzať aj z celkom rozdielnej filozofickej koncepcie (diagnostické vlastnosti v ST, alebo diagnostické horizonty vo WRB a TKSP).

Okrem vertikálnych pôd, ako ucelenej skupiny pôd sa treba ešte pozastaviť samostatne pri pôvode pôdneho typu **smonica**, pretože tento pôdny typ sa udomácnil v českej a slovenskej pôdoznaleckej literatúre a klasifikácii a predstavuje náš zúžený regionálny pohľad na vertikálne pôdy. Ide o pomerne starý termín, pochádzajúci zo zahraničnej literatúry a vyžadovalo by si značné úsilie dopátrať sa v staršej literatúre k jeho pôvodu. Predbežne však stačí upozorniť na jeho chápanie v 40tych a 50tych rokoch v českej a nemeckej literatúre. Už ZAPLETAL (1941) venoval smoniciam pozornosť v samostatnom príspevku zameranom na výskyt smoníc na Morave. Pozornosť smoniciam venuje aj SMOLÍK (1957). V tomto období mal však tento termín iný význam ako dnes. SMOLÍK (1957) uvádza, že ide o pôvodne bulharský termín a používa ho pre označenie druhého vývojového štádia semiterestrických pôd (ovplyvnených podzemnou vodou). Ide vlastne o starý nemecký koncept vývojového radu pôd na riečnych nivách (**rambla, paternia, vega**), pričom termín smonica sa používa ako synonymum pre paterniu, takže pôvodné chápanie smonice nemalo nič spoločné s vertikálnym procesom. Smonicu či paterniu charakterizuje ako oglejenú lúčnu pôdu, ktorá je tmavá ako černozeď, podmäčaná a postihnutá oxidačno-redukčnými procesmi, vrátane tvorby výrazných železitých, vápenatých a sádrovcových konkrécií v podornici a výrazného redukčného modrastého horizontu v hlbšej časti pôdneho profilu. Podobne v nemeckej literatúre nájdeme koncept smonice (**smonitza**), ktorý je veľmi podobný (LAATSCH, 1954). Je tiež uvádzaná medzi minerálnymi pôdami pod vplyvom podzemnej vody, avšak tu sa rozlišujú 4 vývojové stupne (**rambla, paternia a borovina, smonitza, hnedá vega**). Tento autor uvádza, že smonitza je pôvodne srbský termín a charakterizuje ju ako čiernu karbonátovú pôdu ovplyvnenú podzemnou vodou s A-C profilom, prípadne A-(B)-C, A-C-G, alebo A-G profilom.

Smonitza je teda pôvodne ľudový názov zaužívaný vo viacerých juhoslovanských jazykoch, ktorý označuje čierne pôdy, ktoré farbou a pravdepodobne aj konzistenciou pripomínajú

smolu. Je to prekvapivé, že pôvodný koncept smonice nemá nič spoločné s vertikálnymi procesmi, avšak ide o jeden z viacerých prípadov podobnej transformácie významu pôvodného ľudového názvu pôdy, ktoré pochádzajú z rôznych krajín (ako napríklad podzol, andosol, rendzina), pôvodne mali všeobecnejší a neurčitejší význam a neskôr im bol v odbornej literatúre prisúdený podstatne konkrétnejší význam niektorého genetického pôdneho typu). Smonice začali byť stotožňované s vertikálnymi pôdami pravdepodobne preto, že v preliačinách v najnižších častiach nív balkánskych riek sa často vyskytovali zvýšené koncentrácie napučievajúcich ílov a vertikálne pôdy a miestny názov tmavých pôd sa núkal ako vhodný termín.

Počiatky rozlišovania vertikálnych pôd a ich doterajší výskum na Slovensku

Pôdy na napučievajúcich íloch sú na Slovensku mimoriadne zriedkavé a hoci sa postupne našlo viacero ich areálov, ich rozloha je veľmi malá. Nie je preto prekvapujúce, že nepritahujú pozornosť výskumu a že u nás existuje len veľmi málo literatúry o týchto pôdach, aj to väčšinou ide o nepublikované práce ako sú správy, exkurzné sprievodce a školské práce. V najstarších knihách ponúkajúcich systematickú charakteristiku pôdnych typov Slovenska (KOŽUCH, 1951, HROŠSO, 1958, MALÁČ, 1962, BEDRNA a iní, 1968) sa pôdy na napučievajúcich íloch ako samostatná pôdna skupina neuvádzajú. Prvýkrát sú uvedené smonice v **Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Československa (MKSP ČSSR, HRAŠKO a iní, 1987)** a neskôr v jeho druhom vydaní (HRAŠKO a iní, 1991) a v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Slovenska (MKSP, ŠÁLY, 2001). Okrem klasifikačných príručiek sú smonice uvedené aj v Atlase pôd Slovenska (BIELEK a ŠURINA, 2000) a v popise exkurzných lokalít vybraných pre exkurziu Belgickej pôdoznaleckej spoločnosti (FULAJTÁR a LANGOHR, 1994). Okrem toho sú využiteľné dve nepublikované práce, dizertačná práca zameraná na charakteristiku smoníc v oblasti Gbelov (ŠEVČÍK, 2010) a exkurzný sprievodca pre medzinárodnú konferenciu EUROSOIL 2008 (FULAJTÁR a iní, 2008).

Pri pátraní po počiatkoch poznávania vertikálnych pôd na Slovensku bolo zistené, že predpoklady pre ich vyčlenenie sa vytvorili počas Komplexného prieskumu pôd (KPP) v 60tych rokoch. Hoci v KPP sa smonice na Slovensku nevyčleňovali ako samostatná skupina pôd, KPP predstavuje najväčšiu aktivitu zameranú na terénny prieskum pôd a nie je prekvapujúce, že počas takého intenzívneho prieskumu boli zachytené niektoré areály vertikálnych pôd. V tom čase pri popisovaní týchto pôd nebol kladený dôraz na identifikáciu vertikálnych znakov. Zistené areály vertikálnych pôd zachytené v správach KPP boli klasifikované ako iné pôdne typy (najmä čiernice a černoze). Areály s potenciálnym výskytom vertikálnych pôd možno hľadať v oblastiach extrémne ťažkých pôd.

Zaujímavé údaje o výskyte vertikálnych pôd na Slovensku a taktiež v Českej republike priniesli pohovory s pôdozncami, ktorí sa zúčastnili KPP a ďalších terénnych prieskumných prác. Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, už v 40. a 50. rokoch boli uvádzané v českej literatúre smonice (ZAPLETAL, 1941, SMOLÍK, 1957), ale v tom čase ešte neboli chápané ako vertikálne pôdy. Smonice boli zaradené do **Geneticko-agronomickej klasifikácie pôd ČSSR (GAKP)** počas KPP. Na jeho začiatku ešte v klasifikácii zaradené neboli (KOLEKTIV, 1962), ale neskôr už áno (NEMEČEK a iní, 1966) ako subtyp černoze – **černozem smonica** a tu už majú svoj súčasný význam vertikálnych pôd. Mapované však boli iba v Čechách a na Morave, kde sa vyskytujú vo väčšom

rozsahu ako na Slovensku. Vyskytujú sa najmä v severozápadných Čechách, v okolí Chomutova a na južnej Morave a ich rozloha bola odhadnutá na 140 000 ha. Na Slovensku pre ne nebola, vzhľadom na malé rozlohy ojedinelých ostrovčekovitých areálov, zavedená mapovacia jednotka. Z pohovorov s pôdozncami, ktorí sa zúčastnili KPP však vyplýva, že pravdepodobne prvý areál smoníc, ktorý bol identifikovaný v rámci KPP na Slovensku bol na pozemkoch Štátneho majetku Štúrovo, najmä v oblasti Čierneho vršku, kde je na okraji sprašovej pahorkatiny odkrytá vrstva ílu, ale aj na priľahlej nive. V roku 1972 bol pri príprave pôdnej mapy Slovenska v klasifikácii FAO identifikovaný areál smoníc pri Gbeloch, ktorý je v súčasnosti najvýznamnejším areálom smoníc na Slovensku a stal sa obľúbeným cieľom pôdoznameckých exkurzií. Ďalšie pôdy s vertikálnymi znakmi boli nájdené najmä na najťažších nívnych náplavoch Dunaja, Váhu (okres Galanta, okolie Tešedíkova) a východoslovenských riek (okolie Raškoviec v okrese Trebišov), ale tu neboli pôdne profily zdokumentované a nie je možné posúdiť, či ide o plne vyvinuté vertikálne pôdy, alebo o vertikálne subtypy iných pôdnych typov.

Diskusia o problémoch klasifikácie vertikálnych pôd

Uvedený prehľad klasifikácií ukazuje, aké rôznorodé hľadiská sa môžu vyskytnúť pri hodnotení týchto pôd. Zatiaľ čo ST si vystačí so šmykovými plochami, ako hlavným kritériom pre vyčlenenie celého veľkého radu vertisolov, WRB používa koncept vertikálneho diagnostického horizontu. Tretí príklad – TKSP, tiež používa princíp diagnostického horizontu, a tento je lepšie definovaný ako vo WRB, lebo okrem vertikálnych znakov sú naznačené aj niektoré vlastnosti určujúce kvalitu humusu, ale ani v TKSP nie je definovanie diagnostického horizontu uspokojivé, lebo neurčuje kritériá pre množstvo a kvalitu humusu, ba ani hraničné hodnoty pre farbu, hoci sa horizont označuje za tmavý. Okrem toho má TKSP podobne ako všetky národné klasifikácie stredne veľkých a malých krajín výrazné „regionálne znaky“, napríklad malý počet pôdnych typov a ďalších jednotiek. To sa prejavuje hlavne u pôdnych skupín podmienených zvláštnymi podmienkami, ako sú vertikálne pôdy. Táto skupina obsahuje iba jeden pôdny typ – smonicu, zatiaľ čo ST člení vertisoly na 144 podskupín a WRB ich rozlišuje pomocou 27 kvalifikátorov, ktoré možno ešte aj navzájom kombinovať. Z predložených údajov zo skúmaných stanovišť ako aj z porovnania zahraničných klasifikácií vyplývajú nasledujúce otázky:

a) Význam humusových A horizontov pri klasifikácii vertikálnych pôd

Je veľmi prekvapujúce, aký malý význam sa v zahraničných klasifikačných systémoch prisudzuje molickému horizontu pri klasifikácii vertisolov. Pôvodný koncept týchto pôd býva spojený s výrazne vyvinutým tmavým humusovým A horizontom, o čom svedčia niektoré ich tradičné názvy („black cotton soils“ v USA, alebo „smonice“ v Bulharsku) a taktiež tradičný koncept čierneho-červeného katén v subtropických oblastiach uvádzaný v príručke FAO. No v súčasnej WRB klasifikácii prítomnosť molického A horizontu zohľadňuje len molický kvalifikátor, ktorý je len jedným z mnohých ďalších a v ST napriek tomu, že práve v USA bol pôvodný koncept vertisolov spojený s tmavým A horizontom (black cotton soils), molický horizont vôbec nie je zohľadnený ako klasifikačné kritérium. Naproti tomu sa v ST venuje omnoho viac

pozornosti niektorým fenoménom, ktoré majú z fytoekologického a produkčného hľadiska oveľa menší význam, napríklad kalcikovým horizontom, ktoré vznikajú v spodnej časti pôdneho profilu a majú na pôdnu úrodnosť a na rastlinný kryt menší vplyv. Takýto prístup nemožno považovať za najšťastnejší, pretože oživenie horniny a tvorba humusu je najdôležitejším pôdotvorným procesom a miera rozvoja a kvalita humusového A horizontu patrí spolu so zrnitosťou a obsahom vlhky k trom hlavným faktorom určujúcim pôdnu úrodnosť. Preto možno väčší dôraz na zohľadnenie prítomnosti molických horizontov v slovenskej klasifikácii považovať za veľkú výhodu oproti ST aj WRB. MKSP definuje humusový horizont vertikálnych pôd jednoznačnejšie, praktickejšie a tým aj celkovo lepšie ako všetky tri klasifikácie vybrané pre porovnanie. Tým, že je chápaný ako určitý zvláštny druh molického horizontu, sa predchádza subjektívnosti v hodnotení jeho kvality. V doteraz popísaných profiloch smonic sa molické A horizonty nápadne líšia od černozemných molických horizontov väčšou hrúbkou a vyšším obsahom humusu. Tento rozdiel zrejme nevzniká bez príčiny. Možno predpokladať dva dôvody. Po prvé, objemové zmeny spôsobujú premiešavanie pôdy v zvislom smere (agregáty z vrchných vrstiev padajú v období sucha do puklín a materiál zo spodných vrstiev je pri napučívaní vytláčaný nahor), čím sa homogenizuje pôdny profil a teda vlastne prehĺbuje A horizont. Druhým možným dôvodom je výraznejšia stabilizácia humusu. Stabilizáciu humusu rovnako v černozeiach ako aj v smoniciach spôsobuje jednak obdobie sucha koncom vegetačnej sezóny a jednak prítomnosť vápnika tvoriaceho s humusovými látkami stabilné komplexy (cheláty). V smoniciach môže dochádzať k výraznejšiemu prerušeniu mineralizácie v období sucha v dôsledku menšej zásoby prístupnej vody zapríčinennej vyšším bodom vädnutia v ílovitých materiáloch. Druhým dôvodom horšej mineralizácie môže byť intenzívna tvorba ílovo-humusových komplexov, ktoré tiež môžu podobne ako cheláty stabilizovať humus.

Objavenie vertikálnej pôdy pri Nitrianskych Hrnčiarovciach predstavuje celkom iný typ pôdy ako sú smonice. Chápanie A horizontov vertikálnych pôd preto treba prehodnotiť. Zatiaľ čo pri smoniciach s výrazne vyvinutým molickým A horizontom je možné založiť klasifikáciu na prítomnosti molického smonicového A horizontu, ktorý má plný súbor vertikálnych znakov, pre pôdu v Nitrianskych Hrnčiarovciach takýto prístup nie je možný, keďže tu sa molický horizont nevytvoril. V tomto prípade A horizont vôbec nemá vertikálne vlastnosti, lebo vznikol z pokrovy naviatej hliny. Ani keby nebol vývoj komplikovaný navievaním prachu a pôda by mala ochrický A horizont vyvinutý zo smektitických ílov, by sa molický horizont v tejto oblasti nevytvoril, lebo Nitrianske Hrnčiarovce sa nachádzajú hlboko v hneдоземnej oblasti a ílovitá materská hornina, z ktorej vertikálna pôda vznikala, neobsahuje na rozdiel od ílov v Gbeloch karbonáty. Možno s istotou povedať, že ak molický horizont nevznikol z vápneného náveja spráše, nebol by vznikol ani z nevápneného ílovitého materiálu, ak by bol býval na povrchu. V každom prípade by vznikol len ochrický A horizont, ktorý by bol výrazne tenší ako molický A horizont v Gbeloch. Takýto horizont by kvôli svojej malej hrúbke nemal plný súbor vertikálnych znakov. Pukliny by prechádzali celým A horizontom a vzhľadom na to, že šmykové plochy sa vyvíjajú až v hĺbke zodpovedajúcej približne spodnej tretine hĺbky puklín (lebo len spodná tretina puklín býva zasypaná napadanými agregátmi), šmykové plochy by vznikali až pod A horizontom. Vertikálnu pôdu bez molického horizontu by preto nebolo možné klasifikovať na základe vertikálnych vlastností A horizontu.

Tento problém zároveň umožňuje lepšie si uvedomiť význam hĺbky výskytu šmykových plôch. Ak uvážime, aký význam majú šmykové plochy jednak pre klasifikáciu vertikálnych pŕd a taktiež pre fytoekologické vlastnosti pŕdy, bude zrejmé, že aj v prípade hrubého molického smonicového horizontu je potrebné hĺbku šmykových plôch zohľadniť pri charakteristike pŕdy výraznejšie a to v tom zmysle, že by sa molický smonicový horizont rozčlenil na dva čiastkové horizonty – hornú časť horizontu, ktorá je postihovaná vznikom puklín a zrnitej štruktúry a dolnú časť horizontu postihovanú zvýšenými tlakmi pri napučíavaní a tvorbou šmykových plôch a klinovitých agregátov. Možno navrhnúť aj názvy týchto horizontov, napríklad horný subhorizont by sa mohol nazývať **puklinový A1 horizont** a spodný **šmykový** alebo **tlakový A2 horizont**. A horizont by však bolo možné rozdeliť dokonca aj na tri čiastkové horizonty, ak by sa ešte vyčlenila vrchná časť puklinového A1 horizontu, ktorá v lete veľmi vysychá, pričom sa vytvára rozsypavá zrnitá štruktúra. Tento čiastkový horizont by sa mohol nazývať **zrnitý A1 horizont** a pod ním by potom boli už spomenuté čiastkové horizonty puklinový a šmykový, pričom ich označenie by sa zmenilo na A2 a A3. Nevýhodou vyčlenenia zrnitého horizontu je však to, že ho možno rozoznať iba v suchom období, zatiaľ čo puklinový a šmykový horizont možno na základe výskytu šmykových plôch (ktoré sú len v šmykovom horizonte a nezmniznú ani po prevlhčení pŕdy) rozlíšiť aj za vlhka.

b) Potreba zavedenia vertikálneho B horizontu

S uvedeným prípadom, kedy vertikálna pŕda nemá molický horizont (teda molický smonicový horizont s vertikálnymi znakmi) súvisí otázka zavedenia B horizontu. Ak totiž vertikálne znaky prechádzajú celou hrúbkou A horizontu a presahujú do jeho podlažia, nemožno nižšie položený horizont považovať za C horizont, pretože vertikálna morfológia je v každom prípade štruktúrou (dokonca omnoho výraznejšie vyvinutou ako v bežných kambických B horizontoch) a teda ide jednoznačne o výsledok zmien materskej horniny (alterácie) pôsobením pôdotvorných procesov. V takom prípade sa jedná o B horizont, ktorý je principiálne zvláštnou variétou štruktúrneho kambického horizontu, pretože vertikálne morfologické znaky sú zvláštnym prejavom štruktúry. Bude však lepšie nepovažovať B horizont s vertikálnou štruktúrou za variétu kambického horizontu, ale zadefinovať ho ako osobitý druh B horizontu – **vertikálny B horizont**, pretože tento horizont je potrebný ako diagnostický horizont pre zadefinovanie vertikálnych pŕd bez molického smonicového A horizontu. Vertikálna štruktúra je výraznejšia ako štruktúra bežného kambického horizontu a má nepriaznivý vplyv na pôdnu úrodnosť a obhospodarovateľnosť, takže zohľadnenie týchto vlastností na úrovni samostatného diagnostického horizontu a samostatného pôdneho typu je opodstatnené.

Ak by bol horizont s vertikálnou štruktúrou vnímaný ako variéta kambického horizontu, vznikali by tým ďalšie problémy, v prípadoch, keď by tento horizont mal aj prejavy ďalších pôdotvorných procesov. To je aj prípad pŕdy v Nitrianskych Hrnčiarovciach, ktorá má v B horizonte výrazné prejavy pseudoglejového mramorovania, takže v tomto prípade by musel byť horizont považovaný za vertikálnu variétu nie kambického Bv horizontu, ale pseudoglejového mramorovaného Bg horizontu. Obdobne by sa mohli vertikálne variety vyskytnúť aj pri

ďalších horizontoch. Zadefinovanie vertikálneho B horizontu ako základného diagnostického horizontu tento problém rieši. Mramorovanie možno potom zohľadniť ako varietu vertikálneho horizontu – **vertikálny mramorovaný B horizont**.

Zaujímavou otázkou je, či na Slovensku existuje aj vertikálny horizont bez mramorovania. Vzhľadom na vysoký obsah ílu, ako aj vďaka vertikálnej morfológii A horizontu (trhliny), je pravdepodobné, že B horizonty vo vertikálnych pôdach budú väčšinou (ak nie vždy) postihnuté zamokrením. Keď po období sucha, kedy sa vytvoria hlboké a široké pukliny príde dážď, voda rýchlo natečie do siete puklín, ale dovnútra ílovitých agregátov vsakuje omnoho pomalšie, pričom v okolí puklín vytvorí redukčné podmienky.

Nad možnosťou existencie vertikálneho B horizontu sa možno zamyslieť aj v prípade smoníc. Hoci B horizont sa u nás v smoniciach nerozlišuje a horizonty pod A horizontom sa hodnotia ako A/C horizont a C horizont, bolo by možné uvažovať o vertikálnom B horizonte v prípade, že by vertikálna morfológia siahla hlbšie ako A horizont. Je však pravdepodobné, že u smoníc sa bude hĺbka výskytu vertikálnych znakov, najmä šmykových plôch vždy zhodovať s hĺbkou prítomnosti organickej hmoty, pretože premiešavanie pôdy napučívaním a zmršťovaním typickým pre vertikálne pôdy dochádza k zvislému prenosu humusu (padaním uvoľnených hrudiek z vrchnej časti profilu do puklín). Keďže tlaky spôsobujúce tvorbu šmykových plôch vznikajú v dôsledku zasypania puklín napadanými hrudkami, hĺbka výskytu šmykových plôch a humusu sa bude zrejme vždy zhodovať. Tento jav by bolo vhodné overiť pri dôkladnejšom štúdiu morfológie smoníc, lebo v minulosti nebola takýmto morfológickým detailom venovaná pozornosť.

c) Návrh klasifikácie pôdneho profilu v Nitrianskych Hrnčiarovciach a príslušných zmien v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Slovenska

Na základe vyššie uvedených úvah o A horizontoch a B horizontoch vertikálnych pôd na Slovensku je možné predložiť nasledujúci návrh klasifikácie vertikálnych pôd v Nitrianskych Hrnčiarovciach:

Diagnostický horizont: mramorovaná (oglejená) varieta vertikálneho B horizontu, ktorá má súbor znakov určujúcich vertikálne horizonty (trhliny, šmykové plochy, klinovité agregáty) a súbor znakov určujúcich mramorovaný horizont (prevahu oxidačných a redukčných farieb nad pôvodnou farbou pôdnej matrice nepostihnutej hydrogennou redistribúciou železa uvoľneného pri zvetrávaní).

Pôdny typ: vertizem

Subtyp: kultizemná, pseudoglejová

Vzhľadom na to, že celý areál vertikálnych pôd pri Nitrianskych Hrnčiarovciach bol postihnutý viacerými etapami sedimentačných a erózných procesov, pôvodná pôda sa vyvíjala na dvojsubstráte (ílovité svahoviny prekryté tenkou vrstvou spraše) a následne časť areálu bola ovplyvnená eróziou, vertizem pseudoglejová sa nezachovala v typickom vývoji, ale vznikli dve eróžno-akumulačné formy. Prvá varieta má ochrický humusový A horizont vyvinutý z vrstvy spraše, ktorý nemá (vzhľadom na to, že spraš nemá zvýšený výskyt napučievajúcich ílov) žiadne

vertické znaky a pod ním vertikálny mramorovaný B horizont vyvinutý z ílovitých svahovín a možno ju považovať za prekrytú formu, čiže za **vertizem kultizemnú pseudoglejovú prekrytú**. Druhá forma vznikla v dôsledku následného pôsobenia erózie, ktorá odniesla v západnej časti areálu A horizont vyvinutý zo spraše. Vertikálny mramorovaný B horizont tu vystupuje na povrch a jeho vrchná časť sa v súčasnosti orie. Táto pôda je klasifikovaná ako **vertizem kultizemná pseudoglejová erodovaná**.

Pôdna skupina: vertikálne pôdy

K v súčasnosti existujúcemu pôdnemu typu smonica teda pribudol druhý typ vertikálnych pôd vertizem. Vertizem nemožno zaradiť do skupiny molických pôd v ktorej sú zaradené smonice, lebo nemá molický horizont. Logickým riešením je vytvorenie skupiny vertikálnych pôd ako samostatnej skupiny pre napučievajúce pôdy. Táto skupina by mala jeden pôdny typ – vertizem. Mohla by do nej byť preradená aj smonica, ale vzhľadom na prioritný význam molického horizontu pre vlastnosti a funkcie pôdy je vhodnejšie, ponechať ju v skupine molických pôd.

ZÁVER

Z uvedeného morfológického popisu a analytických vlastností hodnotených vertikálnych pôd vyskytujúcich sa pri Nitrianskych Hrnčiarovciach a ich porovnania s vlastnosťami typických smonic vyvinutých na treťohorných íloch pri Gbeloch vyplýva, že tento náhodne objavený areál vertikálnych pôd predstavuje nový pôdny typ na území Slovenska, ktorý sa od doteraz známych smonic líši najmä tým, že nemá molický horizont, ale aj viacerými ďalšími vlastnosťami, napríklad inou materskou horninou (pleistocénno-holocénne svahoviny) a absenciou karbonátov. Výskyt vertikálnych pôd na svahovinách je veľmi prekvapivý. Hoci už dlho pretrvávali úvahy o tom, že na Slovensku sa pravdepodobne nachádzajú vertikálne pôdy vo viacerých oblastiach, než ktoré sú známe, zväčša sa uvažovalo o ich výskyt v najnižších depresiách nív vyplnených najťažšími aluviálnymi náplavmi.

Uvedené odlišnosti, najmä absencia molického smonicového horizontu logicky vyvolala potrebu navrhnuť nasledovné zmeny v klasifikácii vertikálnych pôd na Slovensku:

- zaviesť nový diagnostický horizont – **vertikálny B horizont** a jeho varietu **vertikálny mramorovaný horizont**,
- zaviesť nový pôdny typ **vertizem** a jej subtypy **kultizemná pseudoglejová**,
- vytvoriť novú pôdnu skupinu **vertikálne pôdy** s jedným pôdnym typom vertizem, pričom smonicu je z hľadiska prioritného významu molického horizontu pre fytoekologické vlastnosti pôdy, jej úrodnosť a produkčný potenciál vhodné ponechať v skupine molických pôd, kde je v súčasnosti zaradená.

Výsledky výskumu zhrnuté v tomto príspevku vznikli iba ako náhodný sprievodný produkt výskumu zameraného na celkom iný cieľ (verifikáciu databáz). Problematika vertikálnych pôd na Slovensku, ktorá bola v minulosti na okraji záujmu pôdoznanectva sa však týmto ukázala ako veľmi zaujímavá a omnoho širšia než sa v minulosti predpokladalo. Zistené súvislosti vývoja a geografického rozšírenia vertikálnych pôd sú veľmi podnetné aj pre hlbšie chápanie pedoge-

nézy v súvislosti s vplyvom prostredia a klasifikácie pôd. Preto by bolo vhodné pustiť sa do ďalšieho a systematickejšieho výskumu vertikálnych pôd. Pre takýto výskum v najbližšom období možno stanoviť nasledujúce ciele:

- Vyhľadanie ďalších možných oblastí výskytu vertikálnych pôd a to najmä na miestach, kde bol ich možný výskyt naznačený účastníkmi KPP (Štúrovo, Galanta, Tešedíkovo) a v ďalších oblastiach nívnych depresí vyplnených najťažšími povodňovými kalmi (dolný tok Váhu, Váhodunaja a Hrona, Východoslovenská nížina, najmä okolie Veľkých Raškoviec). Pri tom bude vhodné ďalej rozvinúť spoluprácu s účastníkmi KPP a s ich pomocou presne identifikovať v databáze KPP lokality, kde počas mapovania natrafili na areály vertikálnych pôd. Ďalšie oblasti výskytu by bolo možné vytypovať na základe petrografického štúdia hornín, najmä tretohorných a štvrtohorných usadenín.
- Vyhľadanie a charakteristika vertikálnych subtypov nevertikálnych pôd (pôd, ktoré majú vertikálne znaky, ale nie sú vyvinuté do takej miery, aby spĺňali kritériá pre vertikálny diagnostický horizont). Možno predpokladať, že najmä v preliačinách na nivách, kde sa zhromažďovali najjemnejšie povodňové usadeniny, avšak bez prevažujúceho podielu smektitov v ílovej frakcii, môžu byť pomerne hojné areály pôd s mierne vyvinutou vertikálnou morfológiou, ktoré nebudú spĺňať kritériá na vertikálne pôdne typy. Takáto pôda bola zistená, napríklad počas pôdoznaleckej exkurzie Belgickej pôdoznaleckej spoločnosti na Slovensku v roku 1994 (slaná pôda pri Jatove). Podobných prípadov bude iste viac, napr. v okolí Komárna, na dolnom Váhu v depresiach lemujuúcich hranu Nitrianskej pahorkatiny, na dolnom Hrone).
- Podrobnejšie rozpracovať charakteristiku vertikálnych pôd, najmä fyzikálne vlastnosti (hydrolimity) a ílovú mineralógiu. Doterajšie poznatky nasvedčujú, že napučovanie nie je len dôsledkom prítomnosti smektitov, ale úlohu hrajú tri faktory:
 - podiel smektitov,
 - celkový obsah ílu – keďže všetky íly napučávajú len nerovnako intenzívne, tak aj celkový obsah ílovej frakcie hrá úlohu a nielen jej mineralogické zloženie,
 - veľkosť ílových častíc – vzhľadom na to, že pri napučovaní je dôležitý špecifický povrch ílových častíc, napučovanie je výraznejšie, ak pôda obsahuje viac jemného ílu než hrubého.

Bolo by preto užitočné zistiť viac o vlastnostiach a mineralogickom zložení ílovej frakcie vertikálnych pôd a zistiť rozdiely medzi pôdami na rôznych materských horninách.

- Venovať pozornosť kvalite organickej hmoty. Porovnať kvalitu organickej hmoty smoníc s černoziemami. Okrem bežných ukazovateľov kvality organickej hmoty by bolo užitočné získať údaje sofistikovanejšími analýzami, napríklad nukleárnou magnetickou rezonanciou.

POĎAKOVANIE

Podakovanie patrí *Vyšehradskému fondu pre rozvoj výskumu* za financovanie projektu *Verifikácia stredoeurópskej pôdnej databázy* v rámci ktorého bola študovaná lokalita náhodne

vybraná pre terénny prieskum za účelom verifikácie pôdnej databázy vytvorenej v rámci predchádzajúceho projektu E-SOTER.

Poďakovanie patrí aj účastníkom komplexného prieskumu pôd, monitoringu pôd a ďalším pracovníkom terénneho výskumu, ktorí prispeli svojimi skúsenosťami k vytvoreniu úplnejšieho obrazu o výskyte vertikálnych pôd na Slovensku, menovite prof. Ing. J. Hraškovi, DrSc., doc. Ing. Z. Bedrnovi, DrSc., Ing. E. Fulajtárovi, CSc., sen., Ing. F. Zrubcovi, CSc., prof. Ing. B. Juránimu, CSc., doc. RNDr. J. Čurlíkovi, DrSc., RNDr. B. Šurinovi, prof. RNDr. P. Bielekovi, DrSc., prof. Ing. A. Praxovi, CSc., prof. Ing. J. Kobzovi, CSc., prof. Ing. J. Vilčekovi, CSc., Ing. S. Tormovi, CSc.

LITERATÚRA

- BEDRNA Z., HRAŠKO J., SOTÁKOVÁ S., 1968: *Poľnohospodárske pôdoznanectvo*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry. Bratislava
- BIELEK P., ŠURINA B., 2000: *Malý atlas pôd Slovenska*. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy. Bratislava
- ČURLÍK J., ŠURINA B., 1997: *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*. VÚPÚ. Bratislava
- FAO, 2001: *Lecture notes on the major soils of the world*. World soil resources reports. ISBN: 9251046379. FAO Corporate Document Repository, <http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1899E/Y1899E00.HTM>
- FAO, 2007: *Svetová referenčná báza pre pôdne zdroje*. Slovenský preklad. VÚPOP. Bratislava
- FIALA K. a iní, 1999: *Záväzné metódy rozborov pôd*. Čiastkový monitorovací systém – Pôda. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy. Bratislava
- FULAJTÁR E., LANGOHR R., 1994: *Excursion of the Belgian Soil Science Society to Slovakia, 23–28 May 1997*. Pedologie – Themata, 4. Belgická pôdoznanecská spoločnosť / Fakulta poľnohospodárstva a aplikovaných biologických vied. Štátna univerzita v Gente. Gent
- FULAJTÁR E., SOBOCKÁ J., SKALSKÝ R., DODOK R., SAKSA M., 2008: *Excursion 2SVK Soils with extreme texture at Zahorska Lowland*
- HORECKÁ V., VALOVIČ Š., 1991: *Atmosferické zrážky*. In: Rak J., (ed): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Zväzok 33/1 Klimatické pomery na Slovensku. Alfa. Bratislava.
- HROŠŠO F., 1958: *Pôdoznanectvo*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry. Bratislava
- KÁČER Š., a iní, 2005. *Digitálna geologická mapa Slovenskej republiky v M 1 : 50 000*, (on-line), sprístupnenie apríl 2008, posledná aktualizácia august 2013, odborný garant Hraško L., (cit. 19,11,2013), dostupné: <http://www.geology.sk/new/sk/sub/Geois/gmsr50>
- KOŽUCH O., 1951: *Praktické pôdoznanectvo*. Bratislava
- LAPIN M., FAŠKO P., MELO M., ŠŤASTNÝ P., TOMLAIN J., 2002: *Klimatické oblasti. Atlas krajiny Slovenskej republiky*. MŽP SR/SAŽP. Bratislava-Banská Bystrica
- MALÁČ B., 1962: *Hlavné pôdne typy Slovenska*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry. Bratislava
- NĚMEČEK J. a iní, 2001: *Taxonomický klasifikačný systém pôd České republiky*. ČZU Praha. Praha
- NĚMEČEK J. a iní, 1966: *Prieskum poľnohospodárskych pôd ČSSR*. Ústredný výskumný ústav rastlinnej výroby – Praha. Praha
- KOLEKTIV PRACOVNÍKŮ ODDĚLENÍ PŮDOZNALECTVÍ VÚRV A KATEDRY PŮDOZNALECTVÍ A AGROCHEMIE VŠZ V PRAZE, 1962: *Půdoznanecský průzkum ČSSR. Souborná metodika část A. Metodika terénního průzkumu půd, sestavování půdních map a doplňkových kartogramů a řešení nárhů opatření ke zvýšení půdní úrodnosti*. Ústav vědeckotechnických informací MZLVH. Praha
- PETROVIČ Š., ŠOLTÍS J., 1991: *Teplota vzduchu*. In: Rak J., (ed): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Zväzok 33/1 Klimatické pomery na Slovensku. Alfa. Bratislava.
- ŠÁLY R., BEDRNA Z., BUBLINEC E., ČURLÍK J., FULAJTÁR E., GREGOR J., HANES J., JURÁNÍ B., KUKLA J., RAČKO J., SOBOCKÁ J., ŠURINA B., 2000: *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy. Bratislava
- ŠEVČÍK L., 2010: *Ťažké pôdy Záhoria*, doktorská dizertačná práca. PRIF UK. Bratislava.
- USDA, 2010: *Keys to Soil Taxonomy*. USDA/NRCS
- ZAPLETAL, 1941: *Další příspěvek k moravským půdním typům smonice*. Zborník České akademie zemědělské

HODNOTENIE LETECKÝCH A DRUŽICOVÝCH SNÍMOK Z HĽADISKA VYUŽITELNOSTI PRE MAPOVANIE ERÓZIE PŮDY NA PRÍKLADE SKÚŠOBNÉHO ÚZEMIA V RIŠŇOVCIACH

ASSESSMENT OF AERIAL PHOTOS AND SATELITE IMAGES SUITABILITY FOR SOIL EROSION MAPPING TESTED AT RIŠŇOVCE SITE

Emil FULAJTÁR, Beata HRABOVSKÁ, Martin SAKSA, Michal SVIČEK, Ivana KOVÁČIKOVÁ, Andrej MORÁVEK

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: e.fulajtar@vupop.sk

ABSTRAKT

Cieľom predloženého príspevku je posúdiť rôzne záznamy diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) z hľadiska ich využiteľnosti pre mapovanie erodovaných pôd. Celkove bolo do hodnotenia zaradených 47 snímok (multispektrálne snímky Landsat TM 5, 7, SPOT 2, 4, 5 a IRS, panchromatické snímky SPOT PAN, čiernobiele a farebné letecké snímky). Spomedzi nich bolo vybraných 10 najvhodnejších, na nich boli vyhraničené erodované areály a vypočítaná ich rozloha. Zistené rozdiely vo výsledkoch získaných z rôznych snímok boli porovnané a dôvody rozdielov zhodnotené. Výsledkom bolo zhodnotenie vhodnosti rôznych druhov snímok pre mapovanie erodovaných pôd.

Kľúčové slová: mapovanie erózie, identifikácia erodovaných pôd, erózia pôdy, letecké snímky, družicové snímky, diaľkový prieskum Zeme.

ABSTRACT

The goal of this paper was to assess the different remote sensing media (aerial photographs, satellite images) from the point of view of erosion mapping. In total 47 media were involved in the assessment (multispectral images Landsat TM 5, 7, SPOT 2, 4, 7 and IRS, panchromatic images SPOT PAN, black and white and color aerial photographs). Among them 10 most suitable images were selected, erosion pattern was delineated by visual vectorization and the acreage of eroded areas was calculated. The results obtained from different images were compared, the reasons of differences were discussed and the suitability of tested images for eroding mapping was assessed.

Keywords: erosion mapping, identification of eroded soils, identification of erosion pattern, soil erosion, aerial photographs, satellite images, remote sensing.

ÚVOD

Mapovanie erodovaných pôd by malo patriť popri meraní intenzity erózie a modelovaní erózných procesov k hlavným cieľom erózneho výskumu. Poznanie výskytu a rozšírenia erodovaných pôd (ich presnej polohy a výmery) slúži pre viaceré účely. Je podkladom pre hodnotenie pôdy z hľadiska jej úrodnosti (a tým aj jej ceny) a určovanie dane z pôdy, pretože úrodnosť erodovaných pôd je v našich podmienkach výrazne nižšia oproti ich okoliu. Mapy erodovaných pôd vo veľkých mierkach nachádzajú uplatnenie aj pri prevádzkovaní presného poľnohospodárstva. Výskyt erodovaných plôch je však nie len prejavom pôsobenia erózie v minulosti, ale aj nepriamym ukazovateľom výskytu súčasných erózných procesov a tiež území ohrozených eróziou v budúcnosti, pretože tam, kde už erózia v minulosti pôsobila, sa bude pravdepodobne aspoň v niektorých obdobiach vyskytovať znova. Mapy erodovaných pôd sú preto nepostrádateľné aj pri zavádzaní protierózných opatrení. Vzhľadom na ich vysoké náklady, či už priame náklady na vybudovanie technických protierózných opatrení, nákup protieróznej agrotechniky (bezorbové sejačky, atď.), alebo nepriame náklady (straty zisku v dôsledku obmedzení súvisiacich s protieróznou ochranou, napríklad zmien v zastúpení plodín, prípadne nižších výmer a výnosov) je pre úspech protieróznej ochrany veľmi dôležité čo možno najpresnejšie priestorové zacielenie opatrení, tak aby zasiahli najkritickejšie plochy, ale zároveň aby ich priestorový rozsah bol čo najmenší.

Napriek tomu, že mapy erodovaných pôd majú veľkú výpovednú hodnotu a sú priamo využiteľné v riadení poľnohospodárstva a pri hospodárení na pôde, venuje sa tejto problematike veľmi málo pozornosti. Pritom teoretické a metodologické základy mapovania erodovaných pôd sú na Slovensku rozpracované už 20 rokov a mapovanie erodovaných pôd má v posledných rokoch optimálne podmienky vďaka zavedeniu GIS v 90. rokoch, vzniku oddelenia DPZ na VÚPOPe v roku 2002 a ľahšej dostupnosti čoraz širšieho výberu leteckých a družicových snímok v posledných rokoch. Na výskume súvisiacom s mapovaním erodovaných pôd sa sporadicky pokračuje, ale širšie uplatnenie získaných poznatkov v praxi a využívanie rozpracovaných metód pri rutinnom mapovaní väčších územných celkov viazne. Hoci VÚPOP sa v posledných rokoch viacej snaží aj o propagáciu pôdoznanectva a zvyšovanie povedomia verejnosti o význame pôdy a jej ochrane (napr. popularizačný projekt SONДАР, www.sondar.eu, Pôda ako indikátor povodní, 2013, Maľujeme farbami Zeme, 2013), uplatňovanie výsledkov výskumu v praxi je nepostačujúce.

Potešujúce je však aspoň to, že v poslednom období sa oživilí práce na ďalšom rozvíjaní metodiky, najmä čo sa týka spresňovania vyhraničených erózných areálov. Jednou z najdôležitejších otázok je voľba čo najvhodnejších snímok, na ktorých je rozlíšiteľnosť erodovaných areálov čo najlepšia. Značný pokrok v tejto problematike bol dosiahnutý v priebehu roka 2013, kedy bola pri príležitosti seminára Slovenskej pôdoznaneckej spoločnosti venovaného životnému jubileu doc. Ing. Z. Bedrnu, DrSc. „Antropizácia X“ nadviazaná krátkodobá spolupráca medzi VÚPOPom a Mendelovou univerzitou v Brne, v rámci ktorej bola v auguste 2013 zorganizovaná stáž ako súčasť doktorandského štúdia v rámci doktorandského programu Mendelovej univerzity. Účastníčka stáže Ing. B. Hrabovská sa zapojila na VÚPOPe do prác zameraných na

rozpracovávanie metodológie mapovania erodovaných pôd z obrazových záznamov diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Časť výsledkov tejto stáže, týkajúca sa hodnotenia a porovnávania vhodnosti širokého výberu leteckých a družicových snímok pre mapovanie erodovaných pôd je spracovaná v tomto príspevku.

Stav problematiky

Stav mapovania erodovaných pôd v zahraničí

Prehľad staršej literatúry o identifikácii erodovaných pôd pomocou DPZ od počiatkov využívania týchto metód v 60. a 70. rokoch približne do roku 2000 zhrnul FULAJTÁR (2002). Z hľadiska cieľov tohto príspevku nie je nevyhnutné venovať sa tomuto úseku rozvoja problematiky znova. Nasledujúca kapitola sa preto bude zaoberať len novšou literatúrou, ktorá bola vydaná najmä v poslednom desaťročí.

Aj v súčasnosti pokračuje trend, ktorý sa prejavoval už od počiatku výskumu erózie pomocou DPZ a ktorý spočíva v zameriavaní sa na výskum čiastkových, úzko vymedzených otázok, pričom konečný výsledok nevedie ku konkrétnemu vyhraničeniu erodovaných areálov. Svedčí o tom aj prehľad literatúry spracovaný VRIELINGOM (2006), ktorý je najvýznamnejšou syntetickou prácou o tejto problematike v poslednom období a veľmi dobre odráža súčasný stav poznatkov a zameranie výskumu. Autor preštudoval úctyhodné množstvo publikácií (takmer 200). Zo spracovaného prehľadu vyplýva, že údaje DPZ väčšinou nie sú využívané na priame mapovanie erodovaných pôd. Z celkového rozsahu tohto prehľadu literatúry (10 strán, abstrakt a zoznam literatúry nerátajúc), iba jedna krátka kapitola (1 a 1/4 strany) je venovaná mapovaniu erózných fenoménov a areálov, pričom ešte aj časť z toho zaberajú práce zaoberajúce sa mapovaním a monitoringom výmoľov a rýh. Zvyšok článku pojednáva o využití záznamov DPZ pre rôznu čiastkovú podporu výskumu erózie. Z takmer 200 uvádzaných článkov iba 37 súvisí s priamym vyhraničovaním erodovaných pôd. Ostatné boli zamerané na celý rad iných cieľov súvisiacich s výskumom erózie, napríklad na podporu modelovania erózie (identifikácia vstupných parametrov pre modely), nepriamu podporu mapovania erózie (pomocou identifikácie geografických podmienok podmieňujúcich, alebo prezrádzajúcich výskyt erózie), alebo na vyšetrenie jednotlivých pôdnych vlastností, ktoré sú využiteľné pre mapovanie pôd všeobecne a tak môžu poslúžiť aj pre odlišenie erodovaných pôd (vlhkosť pôdy, zrnitosť, obsah humusu, obsah železa). Tie práce, ktoré sú zamerané na identifikáciu erodovaných pôd sa väčšinou týkajú suchých oblastí s teplým podnebím a sú zacielené na pomerne veľké územia. Mapovanie erodovaných pôd je robené väčšinou nepriamo, prostredníctvom identifikácie poškodenia rastlinného krytu, prípadne na základe výskytu výmoľov, strží a holých plôch bez rastlínstva v oblastiach s nesúvislým suchovzdorným rastlínstvom.

Popri tomto využívaní DPZ iba nepriamo súvisiacom s mapovaním erózie však v poslednom období vznikli aj práce, ktorých hlavným cieľom je aj skutočné vyhraničovanie areálov erodovaných pôd. Podobne ako v minulosti, aj naďalej sa záznamy DPZ využívajú pri identifikácii výmoľov (VRIELING a RODRIGUES, 2004), z čoho možno dedukovať aj priestorové rozšírenie území postihnutých plošnou eróziou. Niektoré štúdie sa pokúšajú o približné vyhraničenie

rozsiahlejších regiónov silno devastovaných eróziou (anglicky *bad lands*), na základe zohľadnenia priamych aj nepriamych ukazovateľov, ako je výskyt výmoľov a strží, zmien v rastlinnom kryte a s podporou ďalších geografických (najmä topografických) znakov a vlastností, pričom je obvykle možné rozlíšiť niekoľko tried podľa miery devastácie erodovaných areálov (DWMIEDI a RAMANA, 2003, SUJATHA a iní, 2000, YULIANG and YUN, 2002).

Postupné rozširovanie erodovaných areálov študovali pomocou série snímok z viacerých časových období FADUL a iní (1999) a SUJATHA a iní (2000). Identifikáciu zosunov a erodovaných svahov na leteckých snímkach vo vysokohorských oblastiach Álp na základe deštrukcie rastlinného krytu (pričom erodované plochy ostávajú viditeľné ako holé plochy bez porastu) publikovali ALEWELL a iní (2008) a MESBURGER a iní (2010). V oboch prácach je zachytený aj vývoj v čase na snímkach z dvoch časových období. Autori však neriešili vektorizáciu areálov ani vyčíslenie ich výmery. Presné vyhraničenie erodovaných areálov pomocou vizuálnej vektorizácie sa vykonávalo v Českej republike (NOVÁK a BATYSTA, 2013, DUMBROVSKÝ, 2013), pričom aj títo autori študovali vývoj rozsahu poškodenia pôdneho krytu medzi dvoma časovými horizontmi. Iba veľmi zriedka sa využíva klasifikácia družicových snímok. Príklad identifikácie erodovaných území pomocou neriadenej klasifikácie multispektrálnej snímky SPOT HRV ponúkajú SERVENAY a PRAT (2003) a aj v tomto prípade boli rozlíšené viaceré (štyri) stupne erodovanosti. BEAULIEU and GAONAC'H (2002) identifikovali erodované územia pomocou multifraktálnej analýzy multispektrálnych snímok Landsat TM.

Pre ciele mapovania erodovaných pôd na Slovensku sú využiteľné aj práce, ktoré sa zaoberajú rozpracovaním metód hodnotenia jednotlivých pôdnych vlastností pomocou DPZ na základe farby a spektrálnej odrazivosti pôdneho povrchu. Popri dnes už klasických prácach ESCADAFALA a iní (1989) a najmä ESCADAFALA (1993), ktorý navrhol algoritmus vzťahu medzi farbami pôdy zobrazenými na záznamoch DPZ a vyjadrenými pomocou Munsellových tabuliek používaných na určovanie farieb pôdy pri terénnom prieskume, je veľmi inšpirujúca práca SINGHA a iní (2004) o vzťahu farieb zobrazovaných na snímkach a určených v teréne.

Viacerí autori identifikovali erodované pôdy z multispektrálnych snímok Landsat TM na základe farebného rozdielu medzi erodovanými a pôvodnými pôdami, ktorý vzniká v dôsledku poklesu obsahu organickej hmoty a železa, pričom použili metodické prístupy založené na *spektrálnom roztriedení* (angl. *spectral unmixing*) označované aj ako *texturálna segmentácia* a *kontextuálna klasifikácia* (DE JONG a iní, 1999, HABOUDANE a iní, 2002, HILL a SCHUTT, 2000).

Vplyv povrchových kôr, drsnosti povrchu, obsahu ílu a vlhkosti na odlišiteľnosť erodovaných areálov vyšetrovali BEN-DOR a iní (2003) a ESCEL a iní (2004). Podľa viacerých autorov využiteľnosť týchto parametrov nie je uspokojivá (WALKER a iní, 2004), pretože ich prejavy sú veľmi komplexné, napríklad vplyv vlhkosti pôdy a drsnosti pôdneho povrchu sa vzájomne ovplyvňujú a prekrývajú a je ťažké odlišiť ich aj napriek snahe hodnotiť drsnosť pomocou radarových snímok (DAVIDSON a iní, 2000).

Ďalší vývoj sa bude pravdepodobne uberať smerom k rozvoju metód založených na spektrálnom roztriedení, ktoré sú pokročilým komplexným spôsobom vyhodnocovania multispektrálnych záznamov a predstavujú nádej na lepšie zhodnotenie informácií obsiahnutých v multispektrálnych snímkach. Princípy týchto metód načrtávajú VRIELING (2006), MACHÁČOVÁ (2006), BEN-DOR a iní (2003) a ESCEL a iní (2004).

Prieskum literatúry svedčí o tom, že hoci DPZ je nástroj vhodný pre mapovanie pôd a využíva sa aj pri mapovaní erodovaných pôd, väčšinou sa záznamy DPZ využívajú len nepriamo a pre rôzne čiastkové ciele, avšak ich využitie pre priame vyhraničenie erodovaných areálov je pomerne zriedkavé. Môže sa to zdať prekvapujúce, ale dôvod je jednoduchý. Erodované pôdy sa dajú ľahko mapovať iba v oblastiach s výrazným farebným kontrastom vrchnej a spodnej časti pôdneho profilu. V takom prípade sa eróziou obnaží svetlejšie podložie, ktoré ostro kontrastuje s tmavými neerodovanými pôdami v okolí a erodované areály možno ľahko vyhraničiť.

Najvýraznejším farebným kontrastom hornej a dolnej časti profilu sa vyznačujú pôdy s tmavým a hrubým humusovým A horizontom (molickým, alebo umbrickým). Avšak takéto pôdy sú pomerne zriedkavé. Za normálnych okolností organická hmota rýchlo mineralizuje a bilancia prísunu organických látok a ich rozkladu je pomerne vyrovnaná. Nahromadenie organickej hmoty vytvárajúcej výrazný humusový A horizont je možné iba v prípade zvláštnych podmienok (zamokrenie a nedostatok vzduchu, stepné podmienky, prítomnosť karbonátov alebo alofánov stabilizujúcich organické látky, atď.). Takéto podmienky sa vyskytujú pomerne zriedkavo.

Okrem výskytu pôd s kontrastným profilom sú pre úspešné využívanie DPZ pri mapovaní erózie potrebné ešte dve podmienky. Záujmové územie musí byť intenzívne postihnuté eróziou, aby došlo k obnaženiu spodnej svetlej časti profilu a nesmie byť pokryté trvalými súvislými porastmi (les, trávne porasty). Do úvahy pripadajú teda iba orná pôda, ktorá je časť roka holá, alebo suché územia bez rastlinstva či s riedkymi nesúvislými porastmi (polopúšte). Výrazné farebne kontrastné erózne areály vytvára najmä vodná a orbová erózia. Môžu vznikáť aj pôsobením veternej erózie, ale takéto prípady sú zriedkavé, lebo veterná erózia sa prejavuje veľmi odlišne od vodnej a orbovej. Vzniká najmä na ľahkých pôdach, ktoré sú aspoň v určitom období suché. V takýchto oblastiach však väčšinou nevznikajú tmavé pôdne horizonty, takže veterná erózia zriedka vytvára farebne kontrastné areály. Navyše priestorová distribúcia veternej erózie je menej diferencovaná. Veterná erózia pôsobí v rámci postihnutej oblasti viac celoplošne, neviaže sa na určité miesta tak výrazne ako vodná a orbová erózia, takže nevytvára takú výraznú diferenciaciu. Pôsobí často v rovinatom teréne a jej priestorové rozmiestnenie závisí od okamžitého priestorového rozmiestnenia rastlinného krytu, takže tam, kde v jednom období pôsobí erózia, v druhom môže pôsobiť akumulácia.

Výskyt vodnej a orbovej erózie si vyžaduje svahovitý terén. Značná časť tmavých pôd s kontrastným podložíom sa však viaže na rovinatý terén (pôdy riečnych nív s čiernicami, depresie s tmavými vertikálnymi pôdami). Najrozsiahlejšie oblasti, kde sa vyskytujú kontrastné pôdy na svahovitom teréne a sú výrazne postihnuté eróziou sú územia s miernym kontinentálnym a subkontinentálnym podnebíom, kde sa pôdy vyvíjali pod stepnými a lesostepnými ekosystémami (černozemné a im príbuzné pôdy) na svetlých materských horninách, často sprášiach (Stredná Európa až stredná Ázia, americké prérie, argentínske pampy). Ďalšie kontrastné pôdy sú napríklad v oblastiach s andozemami na sopečných horninách, alebo rendzinami na vápencoch. Tieto pôdy majú obmedzený priestorový rozsah a keďže sa často vyskytujú v horách bývajú zväčša pokryté súvislými porastmi.

Na základe uvedeného zhodnotenia vhodnosti pedogeografických podmienok pre vyu-

žitie DPZ pri mapovaní erodovaných pôd možno Podunajskú pahorkatinu považovať za mimoriadne vhodné územie. Preto aj metodický prístup, ktorý sa pre tento účel na Slovensku vyvinul, je unikátny (ako bude demonštrované v nasledujúcej kapitole a ďalej aj v metodike), prináša v porovnaní so zahraničnými prácami veľmi dobré a presné výsledky a môže slúžiť ako vhodný príklad aj pre ďalšie krajiny, avšak jeho uplatnenie je možné iba v oblastiach s podobnými prírodnými podmienkami.

Stav rozpracovania problematiky na Slovensku

DPZ sa na Slovensku využíva na mapovanie pôd od 70. rokov a pre mapovanie erózie od 90tych rokov. Ešte pred tým, než sa pri mapovaní pôd začalo využívať DPZ, boli na rozlíšenie erodovaných pôd využívané v lesníckom pôdoznalectve pozemné snímky, ktoré sa vyhodnocovali fotogrametrickými metódami (MIDRIAK a PETRÁŠ, 1972) a tento prístup sa osvedčil aj v neskoršom období (PETRÁŠ a MIDRIAK, 1980). V lesníckom pôdoznalectve bolo pozemné snímky možné využívať, lebo v horských oblastiach so strmými svahmi možno časti územia fotograficky snímať aj z vyvýšených pozemných stanovišť. V rovinatej, alebo pahorkatinnej poľnohospodárskej krajine by pozemné snímky neboli použiteľné, lebo skreslenie by bolo pri snímaní plochého územia príliš veľké.

Prvý príspevok o využití leteckých snímok pri mapovaní pôd na Slovensku zverejnili JURANI a ŠURINA (1973). Vo väčšej miere sa však začali využívať až začiatkom 90. rokov, najmä na VÚPOPe a Geografickom ústave SAV. Pri mapovaní poľnohospodárskeho družstva Rišňovce, ktoré bolo vybrané ako jeden z modelových poľnohospodárskych podnikov pre výskumný projekt zameraný na ekologizáciu poľnohospodárstva, boli čiernobiely panchromatické letecké snímky využité ako podpora terénneho prieskumu. Erodované areály ešte neboli priamo vyhraničované zo snímky, ale boli vizuálne vyhodnocované stereoskopicky a zistené erodované pôdy neboli vyhraničované ako samostatné areály, ale mapované s určitou generalizáciou ako pôdne komplexy s rôznym zastúpením erodovaných pôd (FULAJTÁR, 1991).

V nasledujúcich rokoch sa územie Rišňoviec stalo skúšobným územím, kde boli rozpracovávané rôzne metódy vyhraničovania erodovaných pôd zo záznamov DPZ. Prvým krokom bolo ručné vykresľovanie areálov priamo zo snímky na priesvitku v období, keď ešte vo VÚPOPe nebol zavedený GIS (FULAJTÁR, 1994a). Už v tomto počiatkovom období rozvoja novej metodiky bol urobený aj prvý pokus o jej praktické využitie pri mapovaní väčších územných celkov. Prvým väčším územím, ktoré bolo mapované (na objednávku Slovenskej agentúry životného prostredia, SAŽP) sa stal okres Levice. Dva stupne erodovaných pôd boli vyhraničené z čiernobielych leteckých snímok a s pomocou topografickej mapy 1:10 000 (FULAJTÁR, 1994b) Podkladom pre mapovanie bola iba jedna sada snímok. Na tých častiach ornej pôdy, ktoré boli bez porastu boli erodované areály vyhraničené priamo. Na porastených pozemkoch bol rozsah erodovaných plôch približne odhadnutý na základe analógie so susednými parcelami s prihliadnutím na sklon a tvar svahov odhadnutých z vrstevnic topografickej mapy.

Po zavedení výpočtovej techniky a nástrojov GIS bola odskúšaná vizuálna vektorizácia erodovaných areálov z naskenovaných leteckých snímok aj z panchromatickej družicovej

snímky SPOT PAN a taktiež aj identifikácia erodovaných pôd pomocou kontrolovanej matematickej klasifikácie družicovej snímky SPOT PAN (FULAJTÁR, 1995, 1996).

V rovnakom čase sa začala venovať pozornosť mapovaniu erodovaných pôd pomocou DPZ aj na GÚ SAV. Teoretickými aspektmi využitia snímok v kombinácii s digitálnym modelom terénu sa zaoberali ŠŮRI a HOFIERKA (1994). ŠŮRI a LEHOTSÝ (1995) sa venovali metodologickým aspektom matematickej klasifikácie družicových snímok a ich využiteľnosti pri mapovaní erodovaných pôd. Prehľad literatúry o využití záznamov DPZ pri mapovaní erodovaných pôd spracoval ŠŮRI (1996).

V ďalších rokoch boli na VÚPOPe prepracovávané dovtedajšie výsledky z Rišňoviec a okresu Levice (FULAJTÁR, 1998, FULAJTÁR a JANSKÝ, 2001). Tieto práce však neprinášali nové výsledky, len dokončili spracovanie, interpretáciu a vizualizáciu predchádzajúcich výsledkov a zasadili ich do kontextu mapovania erodovaných pôd konvenčnými metódami. Zhrnutie výsledkov bolo prezentované aj na medzinárodnej úrovni (FULAJTÁR, 2002). V tomto období vznikla aj nádej, že sa výsledky rozvoja metodológie začnú presadzovať aj do praxe a rozbehne sa mapovanie väčších územných celkov. ŠVIČEK (2000) zostavil mapu erodovaných pôd Trnavskej pahorkatiny, použijúc vizuálnu vektorizáciu družicových snímok SPOT PAN. Týmito prácami sa však celá etapa rozvoja mapovania erózie skončila ako vo VÚPOP tak aj v GÚ SAV.

K ďalšiemu pokusu oživiť tému mapovania erodovaných pôd došlo až o niekoľko rokov. Iniciatíva vznikla vďaka účasti VÚPOP v medzinárodnom projekte „On – and Off-site Environmental Impacts of Runoff and Erosion (COST 634)“ v rámci programu medzinárodnej vedecko-technickej spolupráce COST. Opätovné zhrnutie starších výsledkov bolo prednesené na medzinárodnej konferencii organizovanej v rámci tohto projektu (Fulajtár a iní, 2008). Tento príspevok obsahoval aj vytýčenie cieľov pre ďalší rozvoj metodiky a nastolil viaceré nové metodologické otázky. Najdôležitejšie z nich sú otázky presnosti, reprezentatívnosti a miery subjektivity vyhraničených areálov, čiže jedným slovom celkovej hodnovernosti vyhraničených areálov. Vyhraničené areály závisia od celého radu možných činiteľov a podmienok, ktoré je potrebné vyšetriť, ako sú rozdielnosť v zobrazení erodovaných areálov na rôznych záznamoch DPZ a pri rôznej vizualizácii snímok na obrazovke (úpravy kontrastu a jas), využívanie multispektrálnych snímok (jednotlivých spektrálnych pásem a ich vhodných kombinácií), zobrazovanie erózných areálov na rovnakých typoch záznamov v rôznych ročných obdobiach, v rôznych rokoch, na plochách bez porastu a pod porastom, prípadne pod rôznymi vývojovými štádiami porastov. Ďalšími činiteľmi ovplyvňujúcimi výsledok sú schopnosti operátora, miera subjektivity vnímania erózných areálov rôznymi operátormi a zvolený postup matematickej klasifikácie (riadená, alebo neriadená klasifikácia, počet tried, ich prípadné zlučovanie, atď.).

Vyšetrovanie všetkých činiteľov a podmienok ovplyvňujúcich hodnovernosť vyhraničených areálov by bolo rozsiahlym výskumným programom pre niekoľkoročné obdobie a početnú skupinu odborníkov. Predložený príspevok je zameraný najmä na objasnenie otázky vhodnosti rôznych záznamov DPZ z hľadiska mapovania erodovaných pôd. V tomto smere predložený príspevok nadväzuje na prácu FULAJTÁRA a iní (2008) a zameriava sa na jeden z cieľov ktoré vytýčila.

MATERIÁL A METÓDY

Teoretické základy a metodologické princípy mapovania erodovaných pôd z obrazových záznamov diaľkového prieskumu Zeme

Medzinárodná literatúra ponúka viacero metodických príručiek o využití DPZ pri výskume krajiny a pôdneho krytu (MULDERS, 1987, LILLESAND a KIEFER, 1994, USTIN, 2004, HORNING a iní, 2010, PELTON a iní, 2013) a viaceré príručky sú dostupné aj na internete (LEVIN, 1999, US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003, WARNER a iní, 2009). Väčšina z nich má široký záber od základov teórie elektromagnetického žiarenia, cez charakteristiku satelitov, senzorov, spôsobov zaznamenávania a spracovania snímok až po aplikácie DPZ v životnom prostredí a geovedných disciplínach, pričom vo viacerých príručkách sa nájdu aj zmienky o využití DPZ v pôdoznalectve. Najvhodnejšia je v tomto smere, hoci už veľmi stará, kniha MULDERSA (1987) a z najnovších práca CAMPBELLA (2009). Na Slovensku spracovali svoje mnohoročné skúsenosti s využitím DPZ v geografii a poľnohospodárstve FERANEC a iní (2010). Teoretické základy a metodologické princípy mapovania erózie pomocou DPZ boli v krátkosti načrtnuté vo viacerých prácach a naposledy a najúplnejšie ich uvádzajú FULAJTÁR a JANSKÝ (2001) a FULAJTÁR (2002). Vzhľadom na to, že tieto publikácie vyšli už pred viac ako desaťročím je vhodné zhrnúť ich odznova.

Správanie elektromagnetického žiarenia, ktoré dopadá na povrch Zeme závisí od rôznych vlastností zemského povrchu. Časť žiarenia (rôzne spektrálne pásma) je pohltaná a časť sa odráža, resp. sa rozptýli. To platí rovnako pre viditeľnú časť spektra (svetlo), ako aj pre ďalšie časti (ultrafialové, infračervené žiarenie, atď.) a tiež pre žiarenie vysielané človekom (*mikrovlnné žiarenie*). Viditeľná časť spektra sa na obrazových záznamoch DPZ prejavuje prirodzenými farbami tak ako ju vníma ľudské oko (farebné snímky), alebo je záznam zachytený v čiernobielej škále (čiernobiele panchromatické snímky). Iné časti spektra sú zachytávané snímačmi, ktoré sú citlivé na rôzne pásma elektromagnetického spektra a sú zobrazované v sériách obsahujúcich niekoľko spektrálnych pásiem, najčastejšie 3, 5 alebo 7 pásiem (multispektrálne snímky, napr. Landsat TM, SPOT), pričom sa pre zobrazovanie jednotlivých pásiem využívajú ľubovoľne zvolené farby priradované jednotlivým pásmam podľa zaužívaných kľúčov, alebo rozhodnutia pozorovateľa. Podľa rôzneho charakteru elektromagnetickej odrazivosti zemského povrchu možno rozlíšiť rôzne krajinné prvky. Prirodzeným spôsobom vidieť rôznofarebné objekty na farebných a čiernobielych snímkach. Mnohé krajinné prvky sa veľmi výrazne prejavujú v iných častiach spektra neviditeľných voľným okom. Ako príklad stačí uviesť rastlinný kryt a vodné telesá, ktoré sa prejavujú veľmi charakteristickým spôsobom najmä v blízkom infračervenom pásme spektra – NIR (angl. *near infrared*), pričom rastlinstvo je na multispektrálnych snímkach vyjadrované purpurovou farbou a vodné plochy tmavou až čiernou farbou.

Najjednoduchšou úlohou DPZ je hodnotenie krajinej pokrývky (angl. *land cover*) alebo využitia Zeme (angl. *land use*), pričom ide o rozlišovanie základných krajinných prvkov ako sú lesy, poľnohospodárska pôda a jednotlivé poľnohospodárske kultúry (orná pôda, trávne porasty, trvalé kultúry – sady a vinice), vodné plochy, zastavané plochy, líniová infraštruktúra, atď. Omnoho náročnejšie je štúdium vlastností jednej skupiny povrchových prvkov, napríklad hod-

notenie kvality alebo zloženia rastlinného krytu (druhovú skladbu lesných porastov, zdravotný stav lesov a výskyt škodcov, identifikácia jednotlivých poľnohospodárskych plodín, predpovedanie úrod). Pri týchto úlohách sa využívajú multispektrálne snímky. Veľký význam má najmä infračervené pásmo, alebo jeho časť NIR. Ešte náročnejší je výskum podpovrchových javov, napríklad geologický prieskum, vyhľadávanie ložísk nerastných surovín, vodných zdrojov, identifikácia archeologických lokalít. Pri týchto úlohách sú nápomocné radarové snímače reagujúce na človekom vysielané mikrovlnné žiarenie.

Mapovanie pôd patrí hádam k najťažším úlohám DPZ. Napriek značnému úsiliu sa v tomto smere dosahujú len skromné úspechy a mapovanie pôd je akoby na hranici technologických možností DPZ. Nie je to prekvapujúce, keďže pri mapovaní pôd je dôležitá najmä detekcia podpovrchových javov, pričom pôdy sú za normálnych okolností zakryté rastlinstvom a aj keď nie sú, väčšina diagnostických horizontov, ktoré sú základom klasifikácie pôd je podpovrchová. Klasifikácia pôd sa zakladá na celom rade rôznych vlastností určených chemickým zložením a morfológickou stavbou pôd, z ktorých mnohé nemajú žiadny vplyv na odrazivosť elektromagnetického žiarenia. Niektoré vlastnosti pôd však na snímkach možno identifikovať, najmä pokiaľ ide o ornú pôdu bez porastu. Pomerne ľahko možno identifikovať najmä farbu povrchového horizontu, ktorá sa prejavuje veľmi výrazne a umožňuje odlíšiť tmavé horizonty od svetlých (napríklad molické alebo umbrické A horizonty od ochrických). Do určitej miery sa darí identifikovať aj ďalšie vlastnosti, napríklad už pred viac ako dvomi desaťročiami sa darilo rozlišovať rozdiely vo vlhkosti pôdy, výskyt zrnitosti extrémnych (piesočnatých a ílovitých pôd) a zvýšené koncentrácie hlavných pigmentačných činiteľov – humusu a oxidovaného železa (DAWIS a SWAIN, 1983, MULDER, 1987, IRONS a iní, 1989). Celkovú úrodnosť a rozdiely vo vlhkosti sa často dajú identifikovať aj nepriamo, na základe hustoty rastlinného krytu, čo súvisí s rôznymi praktickými aplikáciami, napríklad s odhadovaním úrod (FERANEC a iní, 2010). Výsledky získané z DPZ však majú obmedzenú využiteľnosť, lebo sa darí identifikácia len niekoľkých výrazných vlastností, ktoré nie sú dostatočné pre identifikáciu taxonomických jednotiek.

Na rozdiel od obmedzenej využiteľnosti DPZ pri mapovaní pôd vo všeobecnosti, patrí rozlíšenie erodovaných pôd k technicky najľahším úlohám v rámci mapovania pôd, pretože je založené najmä na rozdieloch vo farbe povrchového horizontu a taktiež možno pre ich identifikáciu využiť aj výskyt líniových foriem erózie ako sú výmole a ryhy (pretože v okolí líniových foriem erózie sa vždy vyskytujú aj areály devastované plošnou eróziou) a viacero nepriamych ukazovateľov (rozdiely v úrodnosti, vlhkosti a tým aj v hustote rastlinného krytu). Avšak, ako už bolo povedané v prehľade literatúry, ľahko identifikovateľné sú iba silno erodované pôdy v oblastiach s prevahou tmavých a úrodných pôd, kde erózia spôsobuje veľký rozdiel vo farbe A horizontu a veľký pokles úrodnosti. V oblastiach s málo úrodnými pôdami so slabou vyvinutými bledými A horizontmi sú erodované pôdy omnoho ťažšie identifikovateľné a ich presné mapovanie väčšinou nie je možné. V takýchto oblastiach je však mapovanie erodovaných pôd menej dôležité. Ak sa erodované pôdy nevyznačujú rozdielnymi vlastnosťami voči pôvodným pôdam, poznanie ich priestorového rozšírenia nie je také dôležité. V takýchto oblastiach je dôležitejšie študovať vonkajšie dôsledky erózie (mimo postihnutú plochu) a na to je potrebné poznať zdrojové oblasti sedimentov a teda priestorové rozšírenie aktuálneho pôsobenia

erózneho procesu, čo sa nemusí vždy zhodovať s priestorovým rozšírením erodovaných pôd. Z hľadiska praktického využitia poznatkov o výskyte erodovaných pôd je preto rozhodujúce, že ich mapovanie je možné v oblastiach s dobre vyvinutými, tmavými a úrodnými pôdami.

Výber a charakteristika skúšobného územia

Vzhľadom na cieľ tejto štúdie, ktorá je zameraná na odskúšavanie a rozvoj metodológie mapovania erodovaných pôd bolo vybrané len veľmi malé územie, aby bolo možné minimalizovať objem rutínnej práce a sústrediť sa čo najviac na metodologické otázky. Hlavnými požiadavkami pri výbere územia bol pôdny kryt s výrazne kontrastným pôdnym profilom (tmavý hrubý A horizont a svetlá materská hornina) a výrazné postihnutie územia eróziou. Vzhľadom na predošlé práce, bolo vybrané študované územie v Rišňovciach, v rámci skupiny polí severne od obce, kde prebiehalo testovanie metód mapovania už v minulosti. Vybrané bolo pole s rozlohou 75,7 ha, ktoré je z morfológie hľadiska pre vyhraničovanie erodovaných pôd veľmi výhodné. Ide o strednú a hornú časť mimoriadne rozsiahlej suchej periglaciálnej úvaliny, ktorá je v najvrchnejšej časti vejárovite rozvetvená. Niekoľko malých úvalín sa zvažuje zo širokého plochého chrbta pahorku a spája sa do mohutnej úvaliny ústiacej do doliny potoka Andač.

Materskú horninu tvorí súvislý hrubý pokrov spraší. Reliéf tvorí mierne zvlnená pahorkatina s nadmorskou výškou od 174 do 218 m n. m. Sklony svahov dosahujú väčšinou 4–6 stupňov, na juhovýchodnom okraji poľa 7 až 10 stupňov, sklon údolnice hlavnej úvaliny v južnej časti poľa je 1 až 2 stupne a sklony prispievajúcich vetiev v severnej časti poľa sú 2 až 3 stupne. Dĺžky svahov dosahujú 150–200 m v severných prispievajúcich vetvách úvalín a 400 až 600 m v hlavnej úvaline v južnej časti poľa. Pôdny kryt tvoria černoze hneдозemné kultizemné, ktoré boli na svahoch pretvorené eróziou na regozeme karbonátové kultizemné a na dnách úvalín na hlboké koluviálne pôdy. V zastúpení poľnohospodárskych plodín prevažuje ozimná pšenica, kukurica, jarný jačmeň, repka olejná a slnečnica. Zriedkavo sa pestuje aj lucerna a hrach, prípadne miešané krmoviny.

Výber záznamov DPZ a metodika vyhraničenia erodovaných areálov

Pre hodnotenie využiteľnosti záznamov DPZ z hľadiska mapovania erodovaných pôd bolo vybraných celkovo 47 rôznych záznamov (multispektrálnych družicových snímok Landsat, SPOT a IRS, panchromatických čiernobielych družicových snímok SPOT PAN, farebných a čiernobielych leteckých snímok).

Rozlíšiteľnosť krajinných prvkov na snímkach závisí do značnej miery od kontrastu a jasnosti snímok, ktorý sa môže veľmi líšiť nie len podľa snímacieho zariadenia a spektrálneho rozsahu snímaného elektromagnetického žiarenia, ale aj podľa atmosferických podmienok. Najvýznamnejšou prekážkou sú oblaky, ale významný vplyv má aj ročné a denné obdobie, počasie, koncentrácia aerosolov a ďalšie faktory, ktoré určujú intenzitu dopadajúceho žiarenia a jeho pohlcovanie, odraz a rozptyl. Tieto činitele majú veľký význam najmä pri družicových snímkach, ktoré sú snímané z veľkej diaľky a sú ovplyvnené rušivými vplyvmi vo väčšej miere, preto je jas a kontrast neupravených snímok v pôvodnom stave, v akom ich snímacie za-

riadenie zaznamenaná, často veľmi nízky, čo platí najmä pre multispektrálne snímky s menším rozlíšením (Landsat TM5). Tieto snímky si vyžadujú vždy prípravné práce, najmä úpravu jasů a kontrastu (strečing). Jas snímok možno na obrazovke podľa potreby upraviť (zväčša ho treba zvýšiť) a kontrast možno upravovať rôznymi spôsobmi, väčšinou ho treba rozťahnuť do väčšieho rozsahu odtieňov. Na to existuje celý rad algoritmov, založených na rôznych štatistických vzťahoch. Vzhľadom na to, že hlavnou témou bolo porovnávanie snímok rôzneho typu, aby sa eliminoval vplyv rôznych metód úpravy kontrastu, bola úprava na všetkých multispektrálnych snímkach Landsat aj SPOT urobená metódou smerodajnej odchýlky, ktorá je funkciou použitého programu GIS).

Pripravené snímky boli vizuálne vyhodnotené z hľadiska rozlíšiteľnosti erodovaných areálov, pričom bol tabuľkovou formou spracovaný prehľad ich základných vlastností (čas snímania, rozlíšenie, počet spektrálnych pásiem), aktuálny rastlinný kryt a rozlíšiteľnosť erodovaných areálov.

Následne boli spomedzi vyhodnotených záznamov DPZ vybrané tie, na ktorých boli erodované plochy pomerne dobre rozlíšiteľné a na týchto snímkach boli erodované areály vyhraničené vizuálnou vektorizáciou. Odlíšenie erodovaných areálov bolo založené na farebnom kontraste povrchových horizontov erodovaných a zachovaných pôd. Tento rozdiel je veľmi výrazný, vzhľadom na to, že erózia pretvorila pôvodné černoze hnedozemné kultizemné s 50 cm hrubým tmavým molickým humusovým A horizontom a 20 cm hrubým kambickým Bv horizontom na regozeme karbonátové kultizemné so svetlým a tenkým (30 cm) ochrickým humusovým A horizontom, ktorého farba je bledšia preto, že sa doň prioráva spráš (Obr. 1). Pôdy s takýmto rozdielom v horizontácii vytvárajú výrazne kontrastné areály, dobre viditeľné v teréne aj na snímkach, ako ukazuje príklad dvoch výrazne erodovaných úvalín pri Veľkom Záluží (Obr. 2).

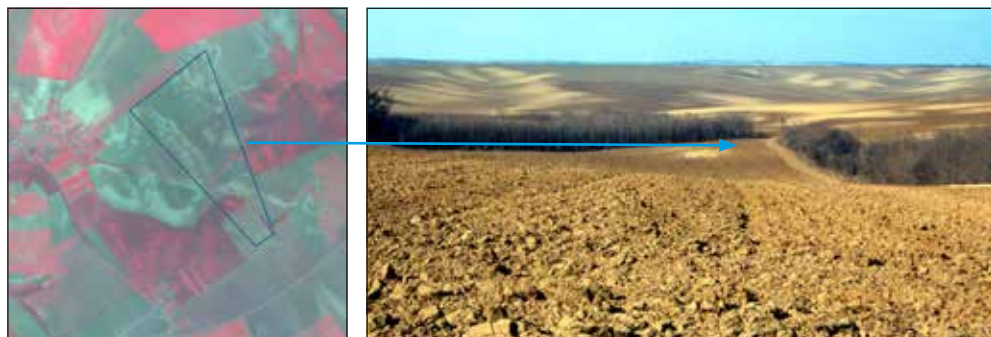
Ďalším krokom bolo porovnanie erodovaných areálov vyhraničených na vybraných snímkach a porovnanie ich rozlohy. Posledným krokom bolo zhodnotenie vhodnosti jednotlivých snímok pre praktické využitie pri mapovaní erózie a odhad presnosti vytvorenej mapy.

Obr. 1 Porovnanie profilu zachovanej černoze hnedozemnej a silno erodovanej regozeme karbonátovej.

a) Černoze hnedozemná kultizemná

b) Regozem karbonátová kultizemná



Obr. 2 Farebne kontrastné areály erodovaných pôd (Veľké Zálužie, Nitrianska pahorkatina)

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vhodnosť jednotlivých druhov snímok

Prehľad použitých snímok, ich základné vlastnosti, stav porastu a rozlíšiteľnosť erodovaných areálov podáva tabuľka 1. Celkovo bolo vyhodnotených 47 snímok. Väčšinu z tohto súboru tvorili multispektrálne satelitné snímky Landsat TM (22 snímok Landsat TM 5 a jedna snímka Landsat TM 7), SPOT (7 snímok SPOT 5, 4 snímky SPOT 4 a dve snímky SPOT 2) a 1 snímka IRS. Ďalej boli vyhodnotené panchromatické čiernobiely družicové snímky SPOT (2 snímky SPOT 5 PAN a jedna snímka SPOT 2 PAN), 4 farebné letecké snímky a 1 čiernobiela letecká snímka. Podľa pôvodného predpokladu bol tento súbor dostatočne početný, aby obsahoval mnoho možností vyhraničovať erodované plochy z rôznych snímok, porovnať ich tvar a rozlohu a zhodnotiť vhodnosť jednotlivých druhov snímok.

Tab. 1 Prehľad a hodnotenie záznamov DPZ z hľadiska využiteľnosti pre mapovanie erodovaných pôd

druh snímky	dátum	rozlíšenie	počet pásiem	použiteľnosť snímky (celková)	rastlinný kryt (skúšobné pole)	rozlíšiteľnosť erózných areálov (skúšobné pole)
S2	21. 7. 2004	20 × 20	3	nie	súvislý suchý	nepostačujúca
S2	7. 4. 2006	20 × 20	3	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
S2	30. 3. 2008	20 × 20	3	áno	žiadny	dobrá
S2	30. 6. 2009	20 × 20	3	nie	súvislý zelený, začína vysychať	nepostačujúca
S4	8. 6. 2004	20 × 20	4	nie	súvislý zelený začína vysychať	nepostačujúca
S4	17. 7. 2006	20 × 20	4	nie	súvislý suchý	nepostačujúca
S4	18. 8. 2006	20 × 20	4	áno	súvislý zelený, začína vysychať	nepostačujúca
S4	14. 8. 2011	20 × 20	4	áno	mimo snímky	mimo snímky
S5	22. 4. 2004	10 × 10	4	áno	žiadny	dobrá
S5	25. 4. 2006	10 × 10	4	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
S5	10. 7. 2006	10 × 10	4	nie	súvislý suchý	nepostačujúca
S5	2. 9. 2006	10 × 10	4	áno	súvislý zelený	čistočná

druh snímky	dátum	rozlíšenie	počet pásiem	použitelnosť snímky (celková)	rastlinný kryt (skúšobné pole)	rozlíšiteľnosť erózných areálov (skúšobné pole)
S5	29. 7. 2008	10 × 10	4	nie	súvislý zelený	nepostačujúca
S5	21. 3. 2009	10 × 10	4	áno	žiadny	dobrá
S5	19. 4. 2009	10 × 10	4	áno	žiadny	dobrá
LM5	30. 4. 2004	30 × 30	8	áno	žiadny	dobrá
LM5	2. 4. 2005	30 × 30	7	áno	čiasočný zelený	dobrá
LM5	27. 4. 2005	30 × 30	7	áno	takmer súvislý zelený	čiasočná
LM5	13. 5. 2005	30 × 30	7	áno	takmer súvislý zelený	čiasočná
LM5	20. 5. 2005	30 × 30	7	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	21. 4. 2006	30 × 30	7	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	26. 7. 2006	30 × 30	7	nie	súvislý suchý	nepostačujúca
LM5	12. 9. 2006	30 × 30	7	nie,	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	14. 10. 2006	30 × 30	7	áno	žiadny	dobrá
LM5	8. 4. 2007	30 × 30	7	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	17. 4. 2007	36 × 36	7	áno	súvislý zelený	čiasočná
LM5	11. 6. 2007	30 × 30	7	nie	súvislý zelený začína vysychať	nepostačujúca
LM5	26. 4. 2008	30 × 30	7	nie	žiadny	dobrá
LM5	29. 6. 2008	30 × 30	7	nie	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	21. 4. 2009	30 × 30	7	nie, porucha	žiadny	nepostačujúca
LM5	7. 5. 2009	30 × 30	7	nie, porucha	nezistený	nepostačujúca
LM5	20. 9. 2009	30 × 30	7	áno	čiasočný zelený	nepostačujúca
LM5	25. 4. 2010	30 × 30	7	áno	žiadny	čiasočná
LM5	12. 6. 2010	30 × 30	7	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	28. 6. 2010	30 × 30	7	nie	súvislý zelený	nepostačujúca
LM5	14. 7. 2010	30 × 30	7	nie	žiadny	nepostačujúca
LM5	21. 7. 2010	30 × 30	7	nie, oblaky	žiadny	nepostačujúca, oblaky
LM7	30. 4. 2003	15 × 15	3	áno	žiadny	dobrá
IRS	12. 6. 2010	20 × 20	4	nie	čiasočný zelený	čiasočná
S2 PAN	1993	10 × 10	1	áno	žiadny	dobrá
S5 PAN	4. 8. 2004	3 × 3	1	áno	mimo snímky	mimo snímky
S5 PAN	9. 8. 2004	3 × 3	1	áno	žiadny	oblaky
LS ČB	24. 8. 1985	1,5 × 1,5	1	áno	žiadny	dobrá
LS F	1. pol. júla 2002	0,5 × 0,5	3	áno	súvislý zelený	nepostačujúca
LS F	1. pol. júla 2005	0,5 × 0,5	3	áno	súvislý suchý	nepostačujúca
LS F	2. pol. júla – 1. pol. augusta 2008	0,5 × 0,5	3	áno	súvislý suchý	nepostačujúca
LS F	1. pol. augusta 2011	0,5 × 0,5	3	áno	žiadny	dobrá

Vysvetlivky: Druh snímok: LM5 – S2 – SPOT 2, S4 – SPOT 4, S – SPOT 5, Landsat 5, LM7 – Landsat 7, IRS – Indian remote sensing, S2 PAN – SPOT 2 panchromatický, S PAN – SPOT 5 panchromatický, LS ČB - letecká snímka čiernobiela, LS F – letecká snímka farebná. Snímky vybrané na vektorizáciu sú zvýraznené poltučným fontom.

Prvým predpokladom k hodnoteniu snímok bolo posúdenie rozlíšiteľnosti erózie v rôznych spektrálnych pásmach multispektrálnych snímok a v ich rôznych kombináciách (najmä kombináciách pásiem viditeľného svetla a blízkeho infračerveného pásma). Porovnanie viditeľnosti erodovaných areálov na multispektrálnych snímkach Landsat a SPOT ukázalo, že erodované areály najlepšie vidieť vo viditeľnom svetle a infračervené ani termálne pásma nie sú pre mapovanie erodovaných pôd obzvlášť užitočné. Toto zistenie nie je prekvapujúce vzhľadom na to, že rozlíšenie erodovaných areálov je založené na farebnom kontraste.

V budúcnosti je možné podrobnejšie rozpracovanie tejto problematiky prostredníctvom samostatnej štúdie. Výsledky niektorých doterajších štúdií svedčia o tom, že niektoré jednotlivé pásma multispektrálnych snímok a ich kombinácie sú využiteľné pre vyhraničenie erodovaných pôd. Napríklad PICKUP a NELSON (1984) rozlíšili na snímkach Landsat TM erodované, stabilné a akumulované plochy pomocou pomerov pásiem 4/6 (zelená/blízka infračervená) a 5/6 (červená/blízka infračervená). PRICE (1993) zistil dobrú koreláciu medzi 4. pásmom snímky Landsat TM (blízke infračervené pásmo) a eróziou. Ide tu však o nepriamu detekciu prostredníctvom rastlinstva, takže nie je prekvapivé, že sa dalo využiť infračervené pásmo, ktoré je výhodné pre štúdium vegetácie. Tieto štúdie sa však vzťahujú na suché a teplé oblasti, kde sa erodované pôdy nevyznačujú výrazným farebným kontrastom ako v študovanom území. Niektorí autori naopak nenašli výraznejšie uplatnenie multispektrálnych pásem pre rozlišovanie erodovaných pôd. Napríklad Bocco a Valenzuela (1988) porovnával výsledky hodnotenia erodovaných pôd a rastlinného krytu pomocou klasifikácie multispektrálnych snímok Landsat TM a SPOT HRV. Pri klasifikácii rastlinstva dosiahli lepšie výsledky s Landsatom, lebo má viac spektrálnych pásiem, avšak pri klasifikácii erodovaných pôd priniesol lepšie výsledky SPOT a to napriek menšiemu počtu pásiem, lebo má väčšie rozlíšenie. Po vyriešení otázok týkajúcich sa čo najúčinnejšieho využitia multispektrálnych snímok bolo možné pristúpiť k samotnému vyhodnoteniu využiteľnosti snímok.

Vyhodnotenie pozostávalo z dvoch krokov. Cieľom prvého kroku bolo posúdenie snímky ako celku. Vhodnosť snímok bola hodnotená vizuálne a za vhodné boli považované tie, na ktorých bola spektrálna odrazivosť polí bez rastlinného krytu dostatočne kontrastná, aby na nej bolo možné rozlíšiť erodované areály. Hodnotenie rozlišovalo dve kategórie – vhodné snímky (na ktorých je možné rozlíšenie erodovaných areálov na poliach, ktoré nie sú pod porastom) a nevhodné snímky (na ktorých sa nedajú erodované plochy rozlíšiť). Hoci ako bolo uvedené v metodike, všetky multispektrálne snímky boli upravené pomocou metódy smerodajnej odchýlky, je jas a kontrast jednotlivých snímok rozdielny. Jedným z dôvodov je to, že pri úprave kontrastu, bez ohľadu na to, ktorá štatistická metóda je použitá, výsledok závisí od pôvodných hodnôt, ktoré sa môžu veľmi líšiť. Sú ovplyvňované najmä prítomnosťou krajinných prvkov s extrémnou elektromagnetickou odrazivosťou a veľkou rozlohou ako sú oblaky, sneh, vodné plochy, lesy ihličnaté či listnaté, ale vplyv má aj vzájomné zastúpenie bežných krajinných prvkov ako sú výskyt porastov (holé polia alebo polia s porastmi), stav porastov (vzchádzajúce ešte nezapojené porasty, zapojené zelené porasty, vyschnuté porasty pred žatvou) vlhkosť pôdneho povrchu (suchá, alebo vlhká pôda), drsnosť povrchu (po sejbe a valcovaní, strnisko, po podmietke, po čerstvej hlbokoj orbe, po zimnom rozmraznutí orby), atď.

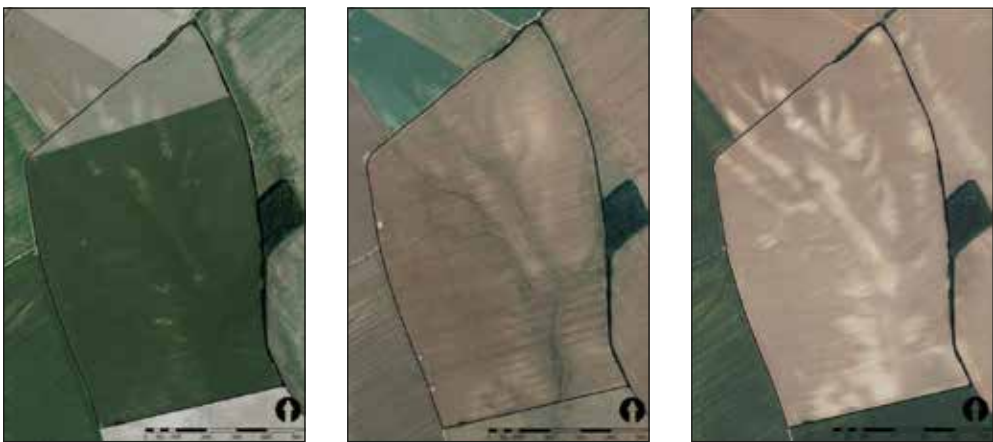
Podľa výsledku hodnotenia bolo z celkového počtu 47 hodnotených snímok vhodných

28 (59 %) a nevhodných 19 (41%). Väčšina nevhodných (14) snímok bola nevhodná kvôli tomu, že erodované areály neboli viditeľné kvôli hustým zapojeným porastom. Išlo tu výhradne o letné snímky (jún, júl), kedy vrcholí vegetačná sezóna. Menšia časť (5 snímok, 11 %) bolo nevhodných z iných dôvodov, 3 kvôli nevyhovujúcemu kontrastu, alebo oblakom a 2 kvôli technickej poruche snímača, pričom všetky nevhodné snímky boli snímky Landsat 5.

V druhom kroku bola hodnotená rozlíšiteľnosť erodovaných areálov na vybranom poli. Bola ohodnotená tromi stupňami – dobrá, čiastočná a nevyhovujúca, pričom zo 45 hodnotených snímok bola rozlíšiteľnosť vybraného poľa dobrá na 12 snímkach, čo je 27 % (2 snímky z celkového súboru 47 hodnotených snímok nezaberali celý kataster Rišňoviec a práve vybrané pole nepokrývali). Na vybranom poli neboli erodované areály rozlíšiteľné okrem 19 celkove nevhodných snímok ani na ďalších 14 snímkach, na ktorých bola vybraná parcela porastená aj v jarnom alebo jesennom období. Príklady vhodných a nevhodných snímok pre záujmovú parcelu ukazuje obrázok 3.

Obr. 3 Porovnanie odlišiteľnosti erodovaných pôd v závislosti od rastlinného krytu na troch farebných leteckých snímkach

a) Nedostatočná odlišiteľnosť na pôde so zeleným porastom b) Nedostatočná odlišiteľnosť na pôde s vyschnutým porastom c) Dobrá odlišiteľnosť na pôde bez porastu.



Dodatočnou otázkou bola viditeľnosť erodovaných areálov pod porastmi. Hoci porasty výrazne znižujú rozlíšiteľnosť erodovaných pôd, niekedy sú viditeľné aj pod porastmi, najmä ak porasty nie sú úplne rozvinuté a zapojené, alebo ak nižšia úrodnosť a nižšia zásoba vlhky erodovaných pôd spôsobuje nižšiu vitalitu porastov. V takých prípadoch sú potom erodované pôdy aspoň čiastočne identifikovateľné aj pod porastmi, zväčša však omnoho horšie ako na holej pôde. Z 31 snímok, na ktorých bolo vybrané pole pod porastom, boli erózne areály čiastočne rozlíšiteľné na 5 snímkach (16 %), ale dobre rozlíšiteľné neboli na žiadnej snímke.

Presnosť erodovaných areálov vyhraničených na pôde bez porastov

Z hodnotených snímok bolo napokon vybraných 10 najvhodnejších, z nich boli vizuálnou vektorizáciou vyhraničené erodované areály a bolo tak získaných 10 variantov mapy erodova-

ných pôd záujmového poľa (Obr. 4). Pre každý variant bola vypočítaná výmera erodovaných areálov (Tab. 2) a získané výsledky boli navzájom porovnané.

Tab. 2. Výmery erodovaných areálov vyhraničených na vybraných snímkach

č.	typ snímky	dátum	ha	%
1	LM5	3. apríl 2004	23,0	30,4
2	LM5	2. apríl 2005	21,8	28,9
3	LM5	14. október 2006	22,9	30,2
4	LM7	30. apríl 2003	20,8	27,5
5	S5	22. apríl 2004	21,9	28,9
6	S5	marec 2009	21,1	27,9
7	S5	apríl 2009	18,7	24,7
8	SPOT PAN	1993	22,6	29,8
9	LS ČB	24. august 1985	23,3	30,8
10	LS F	august 2012	20,2	26,6
štatistické vyhodnotenie				
výmera celého poľa			75,7	100,0
priemerná výmera erodovaných areálov			21,6	28,6
smerodajná odchýlka			1,5	1,9

Celková výmera hodnoteného poľa je 75,7 ha. Rozlohy erodovaných plôch vyhraničených z jednotlivých snímkov sa pohybujú od 18,7 ha do 23,3 ha, čo predstavuje 24,7 až 30,8% rozlohy poľa. Ide teda o výrazne erodované územie, kde viac ako štvrtina celkovej rozlohy pôdy bola degradovaná eróziou do takej miery, že sa černoze pretvorili na regozeme. Pri obvyklej hrúbke molického A horizontu to znamená, že bola odstránená prinajmenšom 40 cm hrubá vrstva pôdy. Okrem toho zaberajú ďalšiu značnú časť výmery poľa slabo až stredne erodované pôdy, ktoré sa ešte neprejavujú bledšou farbou, ale ich úrodnosť už je čiastočne znížená. Vzhľadom na to, že popri pôdach na nivách Dunaja a jeho prítokov je sprašová Podunajská pahorkatina druhou najvýznamnejšou obilnicou Slovenska a vybrané pole má svahovitú typickú pre sprašové pahorkatiny, je miera erodovanosti alarmujúca a škody spôsobené na pôdnom fonde možno považovať za veľmi závažné. V súčasných podmienkach poľnohospodárskeho trhu jednostranne zameraného na krátkodobý zisk je hospodársky výsledok často blízky nule a aj malý rozdiel v úrodnosti, nákladoch a výnosoch môže rozhodovať o tom, či pestovateľ dosiahne zisk, alebo stratu.

Priemerná výmera vyhraničených erodovaných areálov predstavuje 21,6 ha (28,6 %) a smerodajná odchýlka 1,5 (1,9). Vzhľadom na to, že objektívne existujúce erodované areály, ktoré by bolo možné zdefinovať určitými vlastnosťami, z hľadiska DPZ v prvom rade farbou, sa na každej snímke javia trochu inak, je zrejme, že snímky sa líšia svojou schopnosťou zobrazovať rozdiely vo farebných odtieňoch a treba hľadať odpoveď na otázku, ktoré snímky (a prečo) zobrazujú erodované areály presnejšie.

Pri porovnávaní jednotlivých výsledkov možno vybadať medzi výsledkami získanými

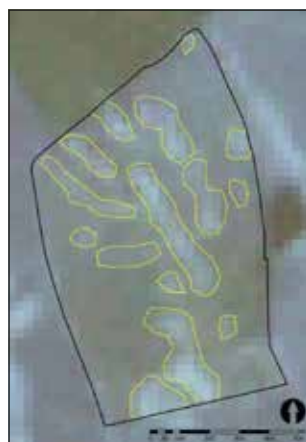
z rôznych snímok určité vzťahy. Možno badať vplyv dvoch činiteľov, ktoré ovplyvňujú zobrazovanie areálov – spektrálny rozsah (a spôsob zobrazenia elektromagnetického žiarenia, ktoré jednotlivé druhy snímok zachytávajú) a rozlíšenie (veľkosť pixla). Vplyv rozlíšenia je jednoduchý. Na snímkach Landsat TM 5 majú erodované areály väčšiu rozlohu (21,8–23,0 ha, priemer 22,6 ha) ako na snímkach SPOT 5 (18,7–21,9 ha, priemer 20,6 ha), pričom snímka Landsat TM 7 spadá do rozpätia zisteného pre snímky SPOT 5 a takisto aj farebná letecká snímka dáva podobnú hodnotu 20,2 ha. Dôvodom je pravdepodobne menšie rozlíšenie snímok Landsat 5 (veľkosť pixla 30 × 30 m), oproti ostatným snímkam (Landsat TM 7 má 15 × 15 m, SPOT 5 10 × 10 m a farebná letecká snímka 0,5 × 0,5 m).

Vplyv odrazivosti elektromagnetického žiarenia je zložitejší a preto dôkladné vyšetrenie vplyvu spektrálneho rozsahu si bude vyžadovať ďalšiu prácu. Nápadný je však fakt, že erodované areály sú na oboch čiernobielych snímkach patria k najväčším (23,3 ha na fotochemicky vyhotovenej leteckej snímke a 22,6 ha na elektronickom zázname družicovej snímky SPOT PAN. Zrejme pri prevode farebného viditeľného žiarenia do čiernobieleho módu je rozsah areálov skreslený tým, že časť poltónov sa transformuje na bledé odtiene šedej a časť na tmavé, čím čiernobiele zobrazenie zvyšuje kontrast, takže časť prechodných odtieňov sa javí ako súčasť erodovaného areálu. Závisí to aj od druhotných technických faktorov, ako je dĺžka expozície a vyvolávania u chemickej fotografie, alebo úprava jasu a kontrastu, nastavenie obrazovky, prípadne tlače pri elektronickom zobrazení panchromatickej snímky SPOT PAN. Avšak vzhľadom na to, že išlo len o dve snímky, nemožno vylúčiť, že ide o nejaký iný dôvod, respektíve o náhodu, takže hodnotenie čiernobieleho módu nemožno zovšeobecňovať.

Najpresnejšie sú erodované areály zobrazené na farebnej leteckej snímke. To bolo v prvom okamihu prekvapením, pretože na základe výsledkov predošlých prác (FULAJTÁR 1998, 2002, FULAJTÁR a iní, 2008) bol predpoklad, že najvhodnejšie sú vzhľadom na farebný kontrast povrchovej vrstvy pôdy a materskej horniny čiernobiele snímky (letecké, ale aj družicové ako je SPOT PAN), pretože čiernobiely mód zväčšuje tento kontrast. Ukazuje sa však, že použitie rôznych spektrálnych pásiem u multispektrálnych snímok alebo panchromatické zobrazovanie nemajú na rozlíšiteľnosť erodovaných pôd rozhodujúci význam. Omnoho väčší význam má rozlíšenie. Použitá farebná letecká snímka (digitálna fotografia) dáva lepší výsledok preto, lebo má omnoho väčšie rozlíšenie (deklarované rozlíšenie 0,5 m, výška letu 4000 m) ako je rozlíšenie porovnávaných čiernobielych snímok, ktoré je 10 m pre SPOT PAN a približne 1–2 m pre čiernobiele letecké snímky zhotovené fotochemicky (originálne pozitívy zodpovedajú mierke približne 1:29 000).

Obr. 4 Erodované pôdy vyhraničené vizuálnou vektorizáciou z vybraných snímok

d) Landsat TM 5 (3. apríl 2004) e) Landsat TM 5 (2. apríl 2005)

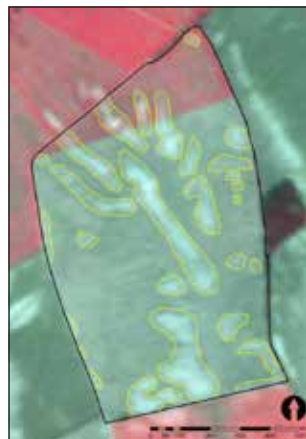


c) Landsat TM 5 (3. apríl 2004) d) Landsat TM 7 (30. apríl 2003)

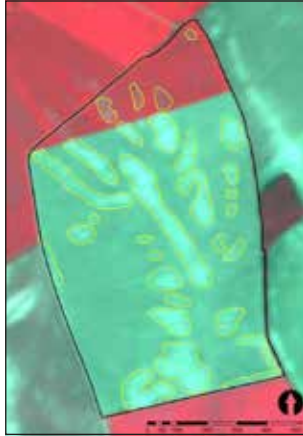


e) SPOT 5 (22. apríl 2004)

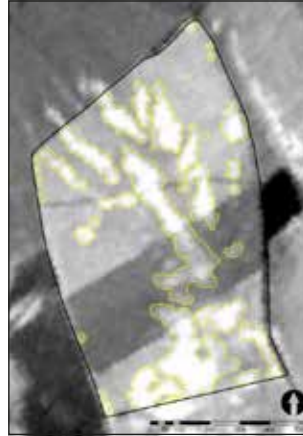
f) SPOT 5 (21. marec 2009)



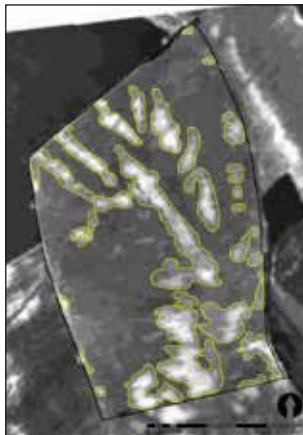
g) SPOT 5 (19. apríl 2009)



h) SPOT PAN (1993)



i) Čiernobiela letecká snímka (24. august 1985)



j) Farebná letecká snímka (august 2011)



Rozlíšenie erodovaných pôd pod rastlinným krytom

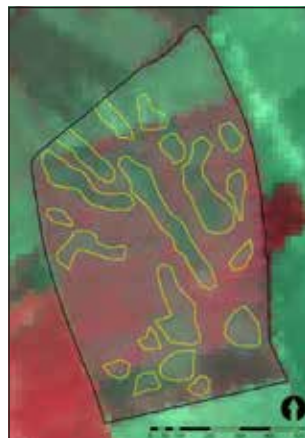
Ak ide o praktické mapovanie väčších územných celkov, vo väčšine prípadov nie sú k dispozícii snímky, na ktorých by bolo celé záujmové územie bez porastu. V takom prípade je možné aspoň čiastočné rozlíšenie erodovaných pôd aj pod rastlinným krytom. Identifikovanie erodovaných pôd pod rastlinným krytom bolo skúšané pri zostavovaní Mapy erodovaných pôd okresu Levice (FULAJTÁR, 1994b, FULAJTÁR a JANSKÝ, 2001). Išlo o pomerne rozsiahle územie (1 551,14 km²), ktoré bolo mapované iba z jednej sady čiernobielych leteckých snímok, pričom bola samozrejme značná časť územia pod porastmi. Na niektorých porastených parcelách výskyt erodovaných pôd indikovala znížená kvalita (hustota, zapojenosť) porastov, pričom súvislosť takýchto areálov s eróziou bola overovaná na základe ich väzby na strmé svahy

a konvexné formy reliéfu z topografickej mapy. Na niektorých parcelách s porastom nebolo erodované areály vidno vôbec. V takých prípadoch bol ich výskyt len veľmi približne odhadnutý na základe sklonov a tvarov svahov a analógie s okolitými parcelami. Ďalším príkladom identifikácie erodovaných pôd pod porastom je už viac krát spomínané skúšobné územie v Rišňovciach (FULAJTÁR, 1998, 2002). Súčasťou skupiny polí tvoriacich toto skúšobné územie boli aj dve polia s pozberovými zvyškami a jedno pole s porastom.

Tieto skúsenosti ukázali, že odlišiteľnosť erodovaných pôd pod porastom umožňujú rozdiely v hustote a vitalite rastlinného krytu spôsobené rozdielmi v úrodnosti pôdy, množstve živín a vlahy. Porasty bývajú na erodovaných plochách redšie, niekde chýbajú úplne. Dôležité je uvedomiť si, že na rozdiel od trvalých porastov (lesy, trávne porasty, sady, vinice), porasty jednoročných poľnohospodárskych plodín kryjú pôdu súvisle len pomerne krátke obdobie. Od sejby prejde dovtedy kým vznikne hustý zapojený porast obvykle niekoľko mesiacov a po žatve je pôda opäť obnažená. Celkove trvá obdobie, kedy je porast súvislý a hustý iba približne 4 mesiace. Erodované areály môžu byť pomerne zreteľne viditeľné v počiatocnom období vegetačnej sezóny, kedy je porast mladý a nie je celkom zapojený a v pozberovom období (pod strniskom), a to najmä pokiaľ ide o širokoriadkové plodiny. To predstavuje značný potenciál pre rozšírenie plôch, ktoré je možné mapovať, pretože veľký podiel poľnohospodárskej pôdy je osiaty širokoriadkovými plodinami a mladé nie úplne zapojené porasty a pozberové zvyšky sú v krajine prítomné často a pomerne dlho.

Obr. 5 Vyhraňovanie erodovaných areálov pod rastlinným krytom

- e) SPOT 5 (25. apríl 2006): vyhraničené areály zníženej vitality porastu nezodpovedajúce erodovaným pôdam
- f) SPOT 4 (18. august 2006): vyhraničené areály zníženej vitality porastu podmienené nižšou úrodnosťou erodovaných pôd



Popri hodnotení vhodnosti rôznych druhov snímok, ktoré bolo hlavným cieľom tejto štúdie, bola časť pozornosti venovaná aj odlišiteľnosti erodovaných pôd pod rastlinným kry-

tom. Bolo identifikovaných viacero polí na rôznych snímkach, kde boli erodované pôdy viditeľné aj pod porastmi. Ich odlišiteľnosť je však omnoho horšia ako na holej pôde a presnosť vyhraničenia je omnoho menšia. Okrem toho, pri vyhľadávaní erodovaných pôd pod porastmi treba brať do úvahy aj to, že hustotu a vitalitu porastov ovplyvňuje množstvo činiteľov, medzi iným aj kvalita a homogenita agrotechnických úkonov, takže treba pozorne rozlišovať medzi areálmi zníženej kvality porastov podmienenými eróziou a inými činiteľmi. Najlepšou pomôckou pri ich rozlišovaní je návaznosť na reliéfové formy, ktoré sú typické pre výskyt erózie (strmé svahy, vypuklé časti svahov). Obrázok 5 znázorňuje dva príklady vizuálnej vektorizácie areálov viditeľných na multispektrálnych snímkach SPOT na ploche s porastom. Prvý príklad znázorňuje areály vyhraničené na základe vitality porastu, ktoré vôbec nesúvisia s eróziou (a zrejme ani s úrodnosťou pôdy všeobecne), ale s kvalitou agrotechniky, o čom svedčí prevažne navzájom rovnobežné usporiadanie vyhraničených areálov, ktoré je aj vo vzťahu k tvaru poľa (rovnobežné s južným a severným okrajom poľa a kolmé na západný a východný okraj). Tieto areály zodpovedajú smeru vykonávania agrotechnických úkonov a indikujú nerovnomernosť v agrotechnike a nie eróziu. Druhý príklad predstavuje vyhraničené areály, ktoré majú priestorovú vzorku viažucu sa na svahy úvalín a konvexné chrbáty medzi nimi typickú pre priestorové rozloženie erózie, z čoho možno jednoznačne vyvodiť, že ide o areály erodovaných pôd.

ZÁVER

Vyhodnotenie početného súboru údajov DPZ potvrdilo, že najpresnejšie možno mapovať erodované pôdy z leteckých snímok, vhodné sú aj panchromatické snímky SPOT PAN. Menej vhodné sú multispektrálne snímky SPOT 5 a Landsat TM 7 a najmenej vhodné sú multispektrálne snímky Landsat TM 5. Je to dané najmä veľkosťou pixla, ktorá čím je väčšia, tým častejšie dochádza k zmiešavaniu elektromagnetickej odrazivosti viacerých objektov, ktoré sú menšie ako rozmer pixla. No aj snímky Landsat TM 5, ktoré majú nízke rozlíšenie, sa dajú využiť aspoň pre rýchle predbežné mapovanie alebo mapovanie v menších mierkach. Využitelnosť snímok Landsat TM je veľmi dôležitá. Vzhľadom na svoju ľahkú dostupnosť tieto snímky umožňujú minimalizovať finančné náklady, čo má veľký význam pri mapovaní rozsiahlejších území a najmä pri mapovaní v rozvojových krajinách.

Pre rozlíšenie erodovaných areálov je najvhodnejšie viditeľné svetlo. Multispektrálne snímky (ani jednotlivé spektrálne pásma a ani ich kombinácie) neprispievajú k zlepšeniu presnosti získaných máp.

Z desiatich snímok vybraných pre vizuálnu vektorizáciu a porovnanie rozsahu a rozmiestnenia erodovaných areálov bola vypočítaná priemerná výmera a rozsah variability. Rozloha erodovanej časti pozemku sa na jednotlivých snímkach pohybuje od 24,7 do 30,8 % celkovej výmery a priemer je 26,6 %. Smerodajná odchýlka súboru je 1,9. Najpresnejšie sú areály vymapované z farebných leteckých snímok, čo je dané najmä ich mimoriadne vysokým rozlíšením oproti ostatným snímkam (0,5×0,5 m). V tomto zmysle ide o značný pokrok oproti

predošlým výsledkom získaným z fotochemických čiernobielych leteckých snímok a panchromatických družicových snímok SPOT PAN.

Získané výsledky prispeli k rozvoju metodiky mapovania erodovaných pôd zo záznamov DPZ a umožnili urobiť si predstavu o presnosti a reprezentatívosti získaných máp a taktiež poskytli návod na možný výber snímok. Metodiku treba ďalej rozvíjať. Treba sa zamerať na nasledujúce ciele:

- dôkladnejšie vyšetrovanie rozlíšiteľnosti erodovaných pôd na multispektrálnych snímkach pomocou ich jednotlivých pásiem a kombinácií,
- vyhodnotenie vplyvu subjektivity operátora na základe porovnania výsledkov vektorizácie rovnakého územia viacerými operátormi,
- podrobnejšie vyhodnotenie rozdielov prejavov veľkosti a tvarov jednotlivých areálov erodovaných pôd na rôznych snímkach, vrátane verifikácie v teréne a identifikácie príčin rozdielného zobrazovania,
- odskúšanie snímok s vysokým rozlíšením (BirdsEye, Ikonos),
- hodnotenie rozšírenia erodovaných areálov v závislosti od reliéfu (s využitím digitálneho modelu reliéfu).

POĎAKOVANIE

Príprava a spracovanie tohto článku bola podporovaná aj z rozpočtu projektu CZ.1.07/2.3.00/20.005 "The excellence of Ph.D. studies at FA MENDELU for the following scientific European career"

LITERATÚRA

- ALEWELL, C., MEUSBURGER, K., BRODBECK, M., BÄNNINGER, D. 2008. *Methods to describe and predict soil erosion in mountain regions*. Landscape and Urban Planning 88, s. 46–53.
- BEAULIEU, A., GAONAC'H, H. 2002. *Scaling of differentially eroded surfaces in the drainage network of the Ethiopian Plateau*. In Remote Sensing of Environment 82 (1), s. 111–122.
- BEN-DOR, E., GOLDSHLEGER, N., BENYAMINI, Y., AGASSI, M., BLUMBERG, D. G. 2003. *The spectral reflectance properties of soil structural crusts in the 1.2- to 2.5- μ m spectral region*. In Soil Science Society of America Journal 67 (1), s. 289–299.
- BOCCO G., VALENZULA C. R. 1988. *Integration of GIS and Image Processing in Soil Erosion Studies Using ILWIS*. In ITC Journal, 4.
- CAMPBELL, J. B., 2009. *Chapter 24: Remote Sensing of Soils*, In: Warner, T. A., Nellis, M. D., Foody, G. M. The SAGE Handbook of Remote Sensing SAGE Publications Ltd, 568 s. <http://dx.doi.org/10.4135/9780857021052>
- DAVIDSON, M. W. J., LE TOAN, T., MATTIA, F., SATALINO, G., MANNINEN, T., BORGEAUD, M. 2000. *On the characterization of agricultural soil roughness for radar remote sensing studies*. In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38 (2), s. 630–640.
- DAVIS, S. M., SWAIN, P. H., 1983. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*, (Ruský preklad) Nedra, Moskva.
- DE JONG, S. M., PARACCHINI, M. L., BERTOLO, F., FOLVING, S., MEGIER, J., DE ROO, A. P. J. 1999. *Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data*. In Catena 37 (3–4), s. 291–308.
- DUMBROVSKÝ, M., 2013. *Rešenie odtokových pomerů na príkladu studie v Nové Lhotě*, prednáška Informačné stretnutie združenia ELSA pre predstaviteľov obcí, 6. 6. 2013, Nová Lhota.
- DWIVEDI, R. S., RAMANA, K. V., 2003. *The delineation of reclamation groups of ravines in the Indo-Gangetic alluvial plains using IRS-1D LISS-III data*. International Journal of Remote Sensing 24 (22), 4347–4355.
- ESCADAFAL, R. 1993. *Remote sensing of soil colour: principles and applications*, Remote sensing reviews 7.
- ESCADAFAL, R., GIRAND, M.C., COURAULT, D., 1989. *Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of Landsat MSS and TM data*. Rem. Sensing Environ. 27, s. 37–46.
- ESCEL, G., LEVY, G. J., SINGER, M. J. 2004. *Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination*. In Soil Science Society of America Journal 68 (6), s. 1982–1991.

- FADUL, H. M., SALIH, A. A., ALI, I. A., INANAGA, S. 1999. *Use of remote sensing to map gully erosion along the Atbara River, Sudan*. In International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 1 (3–4), s. 175–180.
- FERANEC, J., BUCHA, T., CSAPLÁR, J., HEFTY, J., JURAŠEK, M., KAŇÁK, J., KUDELA, K., MACHKOVÁ, N., SVIČEK, M., VOJTKO, R., SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M., SZOCZOVÁ, I., RAŠI R., VLADOVIČ, J., REICHWALDER, P., ZEMAN, M., FINDO, S., 2010. *Slovensko očami satelitov*, VEDA, Bratislava, 263 s.
- FULAJTÁR, E. 1991. *Pôdna mapa poľnohospodárskeho družstva Rišňovce (1:10 000)*. VÚPÚ, Bratislava.
- FULAJTÁR, E. 1994a. *Zhodnotenie rozšírenia erodovaných pôd na území PD Rišňovce s využitím panchromatických čiernobielych leteckých snímok*. In Vedecké práce VÚPÚ 18, Bratislava.
- FULAJTÁR, E. 1994b. *Mapa erodovaných pôd okresu Levice (1:50 000)*. VÚPÚ, Bratislava.
- FULAJTÁR, E. 1995. *Príspevok k poznaniu intenzity vodnej erózie a erodovaných pôd na pahorkatinách Západného Slovenska*. In Zborník abstraktov referátov zo seminára „Problémy Geografického výskumu Západného Slovenska“ v Brezovej pod Bradlom, SAV, Bratislava.
- FULAJTÁR, E. 1996. *The temporal and spatial variability of erosion in the eolian areas of Slovakia*. Poster Report Booklet. Int. Symp. of IAHS „Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives“, Exeter.
- FULAJTÁR, E. 1998. *Identification of severely eroded soils from remote sensing data tested in Rišňovce and Levice Pilot Areas*. In Vedecké práce VÚPÚ 21, Bratislava.
- FULAJTÁR, E., 2002. *Identification of severely eroded soils from remote sensing data tested in Rišňovce, Slovakia*. In Stott D.E., Mohtar R.H., Steinardt G.C. (eds): *Sustaining the Global Farm, Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organisation Meeting in West Lafayette, ISCO-USDA-NSERL-PU, 1999*, s. 1075-1082.
- FULAJTÁR, E., JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia a protierózna ochrana*. VÚPOP, Bratislava, 308 s.
- FULAJTÁR, E., SVIČEK, M., SZÖCSOVÁ, I. 2008. *Identification of eroded soils from remote sensing data, GIS, erosion models and fallout radionuclide methods in Slovakia*. Prednáška na Konferencii Projektu č. 634 programu COST “Off-site and on-site effects of soil erosion”, máj 2008, Samos.
- HABOUDANE, D., BONN, F., ROYER, A., SOMMER, S., MEHL, W. 2002. *Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes*. In International Journal of Remote Sensing 23 (18), s. 3795–3820.
- HILL, J., SCHUTT, B. 2000. *Mapping complex patterns of erosion and stability in dry Mediterranean ecosystems*. In Remote Sensing of Environment 74 (3), s. 557–569.
- HORNING, N., ROBINSON, J. E., STERLING, E. J., TURNER, W., SPECTOR S., 2010. *Remote Sensing for Ecology and Conservation: A Handbook for Techniques*, Oxford University Press, 448 s.
- IRONS, J. R., WEISMILLER, R. A., PETERSEN, G. W. 1989. *Soil reflectance*. p. 66-106. In G. Asrar (ed.) *Theory and applications of optical remote sensing*. Wiley and Sons, New York.
- JURÁNI B., ŠURINA B., 1973. *Využitie fotointerpretácie pre pôdne mapovanie v podmienkach Slovenska*, Vedecké práce VÚPÚ 6, Bratislava.
- LEVIN N., 1999, *Fundamentals of Remote Sensing, Course handbook*, 1st Hydrographic Data Management course, International Maritime Academy, Trieste – Remote Sensing Laboratory, Geography Department, Tel Aviv University, <http://geography.huji.ac.il/personal/Noam%20Levin/1999-fundamentals-of-remote-sensing.pdf>
- LILLESAND, T. M., KIEFER R. W., 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore, 750 s.
- MACHÁČOVÁ, A. 2006. *Hyperspektrálne metódy*, seminárna práca, Katedra geoinformatiky, Fakulta životného prostredia, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, http://gis.fzp.ujep.cz/files/0604_Hyperspektralni.pdf
- Malujeme farbami zeme*, 2013, propagačná brožúra o projekte SONДАР, VV š.p. – VÚPOP, Bratislava.
- MEUSBURGER K., KONZ, N., SCHAUB, M., ALEWELL, C., 2010. *Soil erosion modelled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation*. In International Journal of Applied Earth Observation and parameters in an alpine catchment, Geoinformation 12, s. 208–215.
- MIDRIAK, R., PETRÁŠ, J., 1972. *Mapovanie a skúmanie deštrukcie a ochrany pôdy nad hornou hranicou lesa fotogrametrickými metódami*. In Lesnícky časopis 18, 3.
- MULDERS, M. A., 1987. *Remote sensing in soil science*. Elsevier, Amsterdam, 379 s.
- NOVÁK, P., BATYSTA M., 2013. *Vývoj krajiny a pôdneho pokryvu v dôsledku dlhodobé eroze*, vedecký seminár Antropizácia X. „Pozitívna a negatívna antropizácia pôdy“ pri príležitosti životného jubilea Doc. Ing. Zoltána Bedrnu, DrSc., 7.-8. marec 2013, Bratislava, SPS-VÚPOP, Bratislava.
- PELTON, J. N., MADRY, S., CAMACHO-LARA, S. (eds.), 2013. *Handbook of Satellite Applications*, Springer, New York, 532 s.
- PETRÁŠ, J., MIDRIAK, R. 1980. *Využitie fotogrametrických metód pri sledovaní erózných procesov*. In Protierózna ochrana pôdy, Zborník PS ČSVTS, Trnava.
- PICKUP, G., NELSON, J. 1984. *Use of Landsat radiance parameters to distinguish soil erosion, stability, and deposition in arid Central Australia*. In Remote Sensing of Environment 16 (3), s. 195–209.
- Pôda ako indikátor povodní*, 2013. Praktická príručka, projekt SONДАР, VV š.p. – VÚPOP, Bratislava.
- PRICE, K. P. 1993. *Detection of soil erosion within pinyon-juniper woodlands using Thematic Mapper (TM) data*. In Remote Sensing of Environment 45 (3), s. 233–248.
- SERVENAY, A., PRAT, C. 2003. *Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis*. In Geoderma 117 (3–4), s. 367–375.
- SINGH, D., HERLIN, I., BERROIR, J. P., SILVA, E. F., MEIRELLES, M. S., 2004. *An approach to correlate NDVI with soil color for erosion process using NOAA/AVHRR data*. In Advances in Space Research 33 (3), s. 328–332.

- SUJATHA, G., DWIVEDI, R. S., SREENIVAS, K., VENKATARATNAM, L., 2000. *Mapping and monitoring of degraded lands in part of Jaunpur district of Uttar Pradesh using temporal spaceborne multispectral data*. In International Journal of Remote Sensing 21 (3), s. 519– 531.
- SVIČEK M., 2000. *Detekcia erózie pomocou metódy DPZ*, poster, Agrokomplex. VÚPOP, Nitra.
- ŠÚRI M. 1996. *Analýza a hodnotenie možností využitia diaľkového prieskumu Zeme vo výskume erózie pôdy* In Geografický časopis 48/1.
- ŠÚRI M., HOFIERKA J., 1994. *Soil water erosion identification using satellite and dtm data*. In Proceedings of EGIS/MARI Conference, Paris.
- ŠÚRI M., LEHOTSKÝ M., 1995. *Identifikácia erózie pôdy z údajov družice SPOT*. In Geographica Slovaca 10.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003. *Remote sensing, Engineer Manual*, Manual no. 1110-2-2907, Washington, http://webbooks.net/freestuff/Remote_Sensing.pdf
- USTIN, S., 2004. *Manual of Remote Sensing, Volume 4, Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring*, 3rd Edition, Wiley, New York. ISBN: 978-0-471-31793-7, 768 s.
- VRIELING, A., RODRIGUES, S. C. 2004. *Erosion assessment in the Brazilian Cerrados using multi-temporal SAR imagery*. In Proceedings of the 2004 Envisat & ERS Symposium, SP-572, ESA, Salzburg, Austria.
- VRIELING, A. 2006. *Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review*. In Catena 65, s. 2 – 18.
- WALKER, J. P., HOUSER, P. R., WILLGOOSE, G. R. 2004. *Active microwave remote sensing for soil moisture measurement: a field evaluation using ERS-2*. In Hydrological Processes 18 (11), s. 1975– 1997.
- WARNER, T. A., NELLIS, M. D., FOODY, G. M., 2009. *The SAGE Handbook of Remote Sensing*, SAGE Publications Ltd, <http://dx.doi.org/10.4135/9780857021052>, 568 s.
- YULIANG, Q., YUN, Q. 2002. *Fast soil erosion investigation and dynamic analysis in the Loess Plateau of China by using information composite technique*, Advances in Space Research 29 (1), s. 85–88.
-

HODNOCENÍ ČASOVÝCH ZMĚN PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ NA PODKLADĚ DATOVÝCH SOUBORŮ VÝBĚROVÝCH A SPECIÁLNÍCH SOND KOMPLEXNÍHO PRŮZKUMU PŮD ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLIKY

THE EVALUATION OF TEMPORAL SOIL CHANGES BASED ON SELECTIVE AND SPECIAL PROBES DATA SETS OF THE GENERAL SOIL SURVEY IN CZECH AND SLOVAK REPUBLIC

Ondřej HOLUBÍK¹, Rastislav SKALSKÝ², Jan VOPRAVIL¹, Ján HALAS², Pavel
NOVÁK¹, Martin SAKSA², Ivana PÍRKOVÁ¹, Jozef KOREŇ², Ivan NOVOTNÝ¹,
Rastislav DODOK², Lenka ŠOŠOVIČKOVÁ²

¹Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav,
holubik.ondrej@vumop.cz

²Výzkumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava

Abstrakt

Pro komplexní řešení řady výzkumných aktivit je zcela zásadní využití znalostí, zkušeností a v neposlední řadě i datových podkladů předešlé výzkumné činnosti. K jakékoliv relevantní predikci časové změny půdních vlastností je důležité především hodnotit co největší penzum datových podkladů. Velkou devízou České a Slovenské republiky potažmo pověřených institucí (VÚMOP v.v.i., Praha, a VÚPOP, Bratislava) jsou databáze vzniklé na podkladě půdních sond odebraných při Komplexním průzkumu půd (KPP). Jedná se především o využití kompletního informačního systému o půdách, jeho grafické a numerické části a možnosti zpracování výstupů v GIS. Numerická část obsahuje chemické a fyzikální údaje o půdních sondách z doby provádění Komplexního průzkumu půd (1961 – 1970). Tato data jsou při zachování původních analytických metod plynule doplňována novými údaji z aktuálně odebíraných půdních vzorků na místech předchozích sond tak, že lze objektivně sledovat časový trend zkoumaných půdních vlastností. Tyto zdroje jsou následně využity při statistickém zpracování výsledků analýz půdních vzorků. V tomto příspěvku jsou srovnávány a vzájemně porovnávány techniky zpracování historických dat a jejich využití ke konkrétnímu zpracování výzkumných aktivit obou zúčastněných institucí.

Klíčová slova: Komplexní průzkum zemědělských půd (KPP), digitalizace KPP, analytické metody KPP, metodika odběru půdních vzorků, acidifikace, dehumifikace

Abstract

For a number of research activities is the use of previous research knowledge, experience and especially data materials crucial advantage. For any relevant prediction of temporal

soil changes is important to evaluate the maximum of a data available. The databases created on the basis of the soil probes of The General Soil Survey are a great asset for Czech and Slovak Republic or for authorized institutions (VÚMOP v.v.i., Prague, and VÚPOP, Bratislava). This is essentially about of use a complete soils information system, its graphical and numerical part and GIS outputs processing. The numerical part contains data of soil chemical and physical properties of soil probes from the time of The General Soil Survey (1961 – 1970) realization. These data are continuously updated keeping original analytical methods with a new soil samples data collected from the sampling sites on the place of previous probes, so that you can objectively observe the time trend of soil properties. These resources are then used in the statistical results processing of soil samples. In this paper are compared a techniques of a historical data processing and their use for specific research activities of both interested institutions.

Keywords: the General Soil Survey (GSS), GSS digitization, GSS analytical methods, soil sampling methods, acidification, dehumidification

ÚVOD

V letech 1961 – 1970 probíhal v na území bývalého Československa Komplexní průzkum zemědělských půd (dále KPP). Tato akce vznikla na podkladě vládního usnesení č. 11 z roku 1961 o provedení Komplexního průzkumu půd, kterou vydalo Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství skrze vyhlášku č. 47/1961, která určuje účel a pojem tohoto průzkumu. Vypracování celého projektu bylo rozplánováno na 10 let. V průběhu akce bylo otevřeno přes 700 000 kopaných sond a bylo provedeno více než 2 miliony rozborů odebraných půdních vzorků. V době půdního průzkumu byla hlavní pozornost věnovaná identifikaci přírodních limitů a potenciálu zemědělské výroby. Pro potřeby praxe byly vypracovány v rámci průzkumu *i)* průvodní zprávy, *ii)* základní půdní mapy, *iii)* kartogramy zrnitosti, skeletovitosti a zamokření a *iv)* kartogramy návrhů opatření ke zvýšení půdní úrodnosti.

Veškeré mapové materiály byly zpracovány pro zemědělské podniky v měřítku 1 : 5 000 nebo 1 : 10 000. Zmíněné materiály doplňuje okresní průvodní zpráva, do níž byly zařazeny i další doplňkové mapy a kartogramy okresů v měřítku 1 : 50 000 (NOVOTNÝ, 2007). Pro klasifikaci půd byla použita tehdejší Geneticko-agronomická klasifikace půd (NĚMEČEK a iní, 1967).

Výsledkem tohoto snažení je rozsáhlé dílo (datové zdroje KPP) s mnoha exaktními výstupy. Celá akce probíhala v určitém logistickém dualizmu. V první řadě se jednalo o „Terénní průzkum půd“, jehož výstupy se budeme dále zabývat a na druhé straně o „Agrochemické zkoušení ornice“, která jakožto samostatná akce probíhala a probíhá v 5letých cyklech dodnes (PRAX, 2007). Podrobnější informace jsou obsaženy v publikacích (NĚMEČEK a iní., 1967, DAMAŠKA a kol. 1967, ŠIROVÝ a kol. 1967).

V rámci Terénního průzkumu KPP byly hloubeny a klasifikovány tři typy sond, ke kterým přísluší definovaný rozsah laboratorních analýz:

Základní sondy (Z): zrnitostní rozbor, obsah karbonátů, pH(H₂O)

Výběrové sondy (V): totéž co u Z sondy, plus pH (KCl), obsah uhlíku (Cox), kationtová výměnná kapacita (KVK), obsahy živin (P_2O_5 , K_2O)

Speciální sondy (S): totéž co u V sondy, plus speciální analýzy například i frakcionace organické hmoty, určení jílových minerálů (Cca 2500 vzorků „S“ sond je dodnes deponováno ve VUMOP)

V rámci realizace KPP se začalo rovněž s rozsáhlými úpravami vodního režimu půd především formou meliorací zamokřených, později i erozně ohrožených půd i půd s deficitem vláhy. Na Slovensku se věnovala pozornost i melioracím zasolených půd. V rámci Hydro-pedologického průzkumu půd bylo jen v Českých zemích popsáno více jak 1 milion ha zemědělských půd a vykopáno více jak 300 000 půdních sond (PRAX, 2007).

V tomto příspěvku jsou vybrány a hodnoceny textové (numerické) výstupy datových souborů výběrových a speciálních sond a to pouze z Terénního průzkumu půd KPP. Konkrétně se jedná o datové soubory výběrových a speciálních sond KPP na území České a Slovenské republiky. Na dvou příkladech vybraných zájmových území Železná (Česká republika) a Selice (Slovensko) jsou srovnávány a vzájemně porovnávány techniky geostatistického zpracování nově odebíraných sond na místech lokalizovaných (S a V) sond KPP.

MATERIÁL A METÓDY

Datové zdroje KPP

Výsledkem KPP je celý soubor mapových a popisných výstupů. V České republice (VÚMOP) jsou i dnes data KPP plynule doplňována novými odběry půdních sond. V současnosti je v databázi (KPP) spravované oddělením pedologie a ochrany půdy VÚMOP, v. v. i.: v „archivní části KPP“ cca. 1500 S-sond a cca. 5000 V-sond, v „nové části“ (sond vyhloubených po roce 2000) je cca 400 sond.

Na VÚMOP jsou nově odebrané půdní sondy odbírány technikou kopané sondy na místě lokalizace předchozí (S a V sondy KPP) při zachování konzistence původních analytických metod s relativním ověřením lokalizace pomocí cca 10 „vpichovaných“ sond v těsném okolí lokalizované sondy.

Na Slovensku v současnosti neprobíhá systematická aktualizace půdních vlastností sond KPP. Vývoj půd se sleduje samostatně v rámci národního monitoringu zemědělských půd. V rámci řešených dílčích výzkumných úkolů (VÚPOP) však probíhá hodnocení vybraných půdních vlastností na podkladech výběrových (V) sond KPP s exaktními výstupy. Na Slovensku bylo vzhledem k rovinné povaze území přistoupeno k technice odběru 5 sond v okolí lokalizované sondy KPP.

Takto lze relativně objektivně sledovat časový trend zkoumaných půdních vlastností.

Hodnocení časových změn na podkladech KPP

K relevantní predikci časové změny je nutné využít co největší penzum dat. Takovýmto zdrojem může být soubor datových listů (opisů) průvodních zpráv KPP. Jedná se především

o soubory S a V sond, které svým rozsahem (souborem analytických stanovení) představují značný datový potenciál k získání relevantní informace o časové změně půdních vlastností na konkrétním území. Otázkou je, jak kvalitní informaci nám ve skutečnosti tyto údaje poskytují a do jaké míry můžeme jednotlivé úskalí práce s těmito daty ovlivnit či relativně porovnávat.

Hlavní faktory ovlivňující kvalitu hodnocených údajů na podkladech sond KPP jsou:

- 1. Lokalizace sondy:** významným činitelem určité disturbance a nekonzistence hodnocených údajů je problematika zaměření polohy sondy, především pak její zápis (zákres) do pracovního formuláře. Z tohoto důvodu je nutné brát umístění sondy v mapovém výstupu jako relativní údaj. V rovinném terénu se odhaduje přesnost zákresu cca ± 50 m, v členitém terénu je přesnější.
- 2. Heterogenita území:** charakter půdních vlastností je výrazně ovlivňován podmínkami stanoviště, proto je nutné při značné heterogenitě prostředí zvolit systém odběru okolních sond na místě původně lokalizované a tyto charakteristiky statisticky vyhodnotit a omezit tak chybu při zápisu lokalizace sondy. Při nižší proměnlivosti okolních podmínek je možné využít techniku vpichovaných sond, kterými lze najít relativně podobné stanoviště, které bylo hodnoceno při KPP (porovnávacím údajem může být mocnost svrchních horizontů či zrnitostní složení půd konkrétního stanoviště).
- 3. Načasování odběru vzorků:** je možné odebrat vzorky půd přesně v den odběrů KPP, ale nelze přesně zajistit totožný stav půdního prostředí (např.: vlhkost půdy, kvalitativní složení půdní organické složky, srovnatelnou aktivitu mikrobiální složky půdy, půdní pokryv či růstovou fázi a průběh vegetace plodiny atd. ...).
- 4. Analytické metody:** co můžeme při zpracování historických údajů ovlivnit, je zajištění analytického zpracování půdních vzorků při zachování původních metod, které vycházejí z metodiky KPP (SÍROVÝ a iní, 1967). Datové výstupy mají v rámci srovnání relativně nízkou chybu, tudíž vysokou přesnost stanovení. Velkou nevýhodou je však časová i materiálová náročnost toho zpracování, což samotný výzkum značně prodražuje. Určitou cestou by bylo využití nových metod laboratorního stanovení (Např.: DTGA (diferenční termogravimetrické analýzy), SIMS-MS (hmotnostní spektroskopie sekundárních iontů), FTIR (fourierova transformace infračervené spektroskopie), HPLC (vysokoučinná kapalinová chromatografie), EDXS (energicky disperzní rentgenová spektroskopie), CPMAS13C-NMR (nukleární magnetická rezonance pro 13C) atd. ...) a jejich konfrontace (korelační vazba) s metodami KPP.
- 5. Politicko-ekonomický vývoj území:** mezi tyto faktory se dají začlenit vlastnosti, které jsou výsledným hybatelem časové změny půdních vlastností, proto je důležité veškeré tyto informace správně pochopit a interpretovat. Mezi politicko-ekonomické faktory můžeme zařadit např.: vztahy a změny ve využití půdního fondu (les, orná půda, travní porosty, opuštěná půda atd.), organizace zemědělského půdního fondu; osídlení a jeho vliv na krajinu; degradace půd (erozi, zamokřením, vojenskou činností, spontánním zalesňováním); obnovování půdního krytu a vegetace spontánním vývojem po ukončení destrukčních aktivit člověka; změny půd a změny složení

a struktury půdního pokryvu jako důsledku antropických zásahů a vlivů (Novák a iní, 2008).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Modelová lokalita ŽELEZNÁ okres Domažlice (ČR)

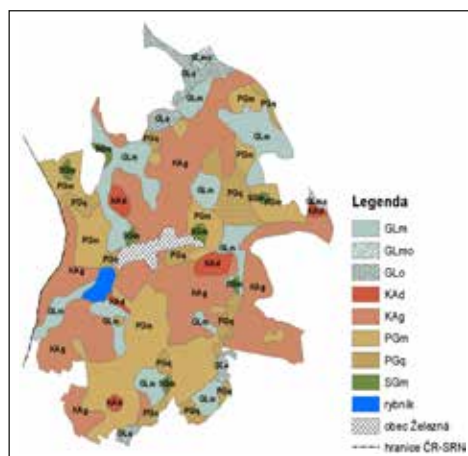
Cílem zde prezentované výzkumné činnosti na modelovém území Železná (ČR) bylo zhodnocení vlivu odvodnění na vybrané půdní charakteristiky (např. acidifikace, pufrční schopnosti půdy a vlastnosti sorpčního komplexu).

Modelové území Železná (cca. 360 ha) se nachází v těsné blízkosti státních hranic s Německem, lokální geograficko-geologické podmínky jsou spolu s vymezením půdních typů uvedeny na obrázcích 1 a 2.

Obr. 1 Lokální podmínky modelové lokality Železná

Lokální podmínky ŽELEZNÁ:	
	moldanubikum Českého lesa
	dominující horninou – cordieritická rula
	půdní pokryv rozmanitý
	40 % kambizeme dystrikové slabě oglejené
	25 % pseudogleje modální
	18 % gleje modální
	9 % pseudogleje glejové
	klimatický region 8 (mírně chladné a vlhké klima)
	průměrná nadmorská výška: 530 m. n. m
	průměrná roční teplota: 6,1 °C
	průměrný roční srážkový úhrn: 753 mm

Obr. 2 Soubor půdních typů modelové lokality Železná



V rámci hodnocení změny půdních podmínek po odvodnění na lokalitě Železná byla vybrána sada půdních charakteristik (soubor „starých a nových“ sond), která byla následně statisticky zpracována (Tab. 1 a 2).

Tab. 1: Základní popisná statistika: souboru „starých“ sond KPP 2000

Proměnná	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Medián	Směrodatná odchylka	Mezikvart rozpětí	Koeficient variace	Šikmost	Špičatost
Humus	19	3,52	1,31	9,63	2,42	2,089	2,025	59,371	1,435	4,396
pH (H ₂ O)	15	5,41	4,6	6,7	5,5	0,543	0,5	10,045	0,485	2,961
pH (KCl)	19	4,15	3,4	5,5	4,1	0,575	0,9	13,842	0,487	2,427
Schem.	17	9,19	2,5	13,7	9,5	3,16	4,1	34,37	-0,484	2,409

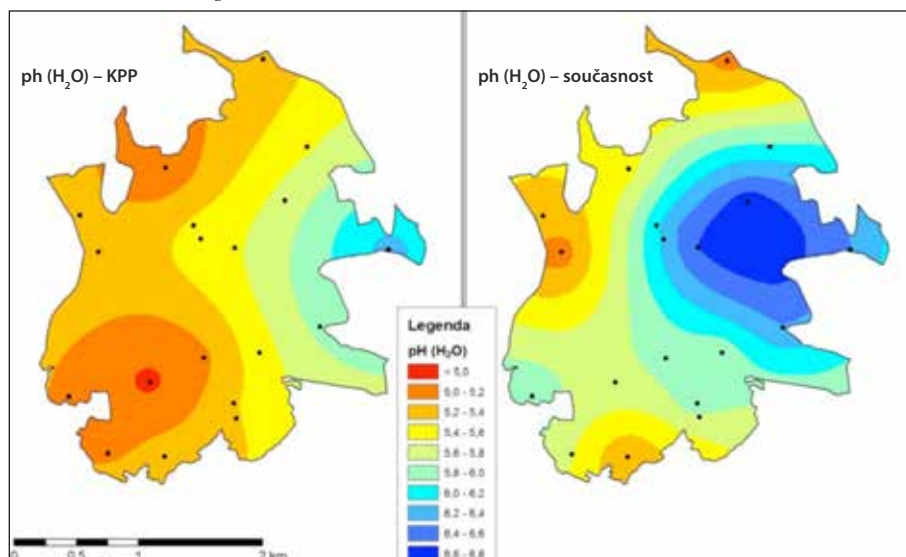
Proměnná	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Medián	Směrodatná odchylka	Mezikvart rozpětí	Koeficient variace	Šikmost	Špičatost
T (KVK)	17	28,13	13	42,6	26,9	9,14	12,3	32,491	-0,037	1,65
V	17	34,56	15,6	75,8	28,9	15,099	9,5	43,69	1,245	3,856
OHR	15	1,15	0,52	1,73	1,18	0,302	0,34	26,225	-0,168	2,577
ρz	15	2,53	2,33	2,76	2,5	0,122	0,165	4,826	0,213	1,819
P	15	54,92	35,7	76,7	53,2	10,057	9	18,311	0,254	2,754

Tab. 2: Základní popisná statistika: souboru nových“ sond odebraných po roce 2000

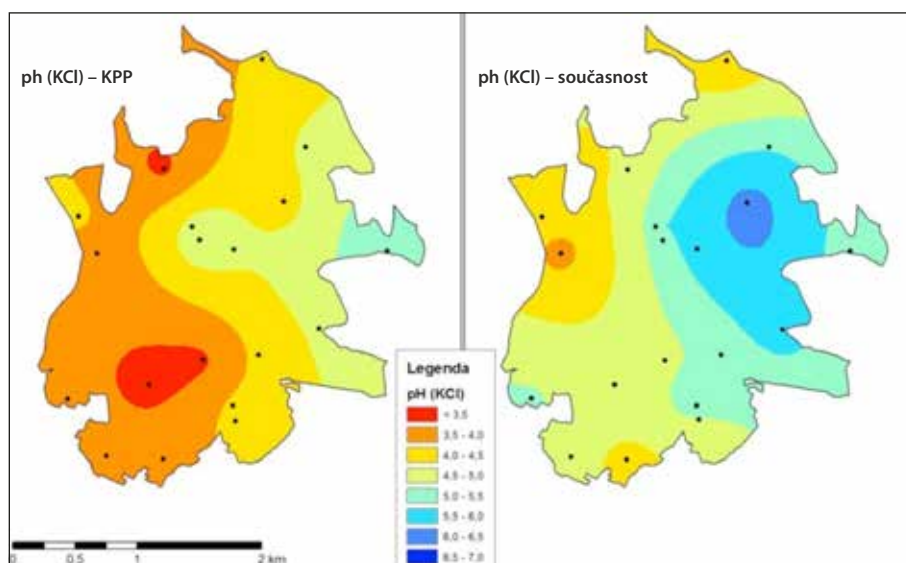
Proměnná	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Medián	Směrodatná odchylka	Mezikvart rozpětí	Koeficient variace	Šikmost	Špičatost
Humus	19	4,32	2,03	10,6	4,07	2,225	1,735	51,467	1,66	5,045
pH (H ₂ O)	19	5,88	4,97	6,79	5,87	0,523	0,73	8,89	-0,086	1,92
pH (KCl)	19	5,01	3,83	6,16	5,04	0,602	0,695	12,023	-0,109	2,225
Schem.	17	9,12	1,3	22,5	8,1	4,983	5,8	54,652	0,922	3,761
T (KVK)	17	17,5	11,3	31,8	15,2	5,746	4,1	32,836	1,524	4,192
V	17	55	30	82	60	18,918	36	34,396	-0,113	1,334
OHR	19	1,23	0,73	1,47	1,26	0,174	0,165	14,079	-1,195	4,333
ρz	19	2,57	2,32	2,66	2,58	0,087	0,065	3,397	-1,558	4,832
P	19	52,02	44,6	67,2	51,3	5,543	5,4	10,655	1,022	3,668

Výsledky prostorové interpolace změny pH na území 40 let po odvodnění krajiny byly hodnoceny pomocí geostatistických metod v gridu 10 m (Obr. 3 a 4). Vyhodnocení prostorové struktury dat bylo provedeno na základě semivariogramů v programu GS+ 9 (Gamma Design Software) pro data byla použita interpolační metoda Inverse Distance Weighting (IDW), která odvozuje odhad proměnné v bodě pomocí lineární kombinace vstupních hodnot.

Obr. 3 Změna pH (H_2O) za 40 let po odvodnění (Železná)



Obr. 4 Změna pH (KCl) za 40 let po odvodnění (Železná)



Na lokalitě Železná došlo 40 let po odvodnění území k výraznému zvýšení hodnoty pH (neboli snížení aktivity hydroxoniových iontů v půdním roztoku), což může být důsledek kombinace vlivů přirozených či antropických faktorů. Mezi antropické faktory můžeme zařadit především změny hydrického charakteru půd (odvodnění) a vysokou dávku melioračního vápnění, která byla při výstavbě odvodnění do půdy aplikována.

V rámci tohoto srovnání došlo k zhodnocení předchozího a nynějšího stavu půdní reakce na odvodněném území. Jelikož odvodnění na mnoha místech již neplní svou funkci, je proto docela možné, že vývoj půdní reakce již kulminoval a nyní se půdní podmínky postupně vrací k přirozenému stavu. Ačkoliv došlo na většině území k celkovému zvýšení pH (H_2O), došlo zároveň během 40 let k degradaci půdního prostředí z pohledu jejich sorpčních schopností (T – KVK), což je zjištění alarmující (Tab. 1 a 2).

Modelová lokalita SELICE okres Šaľa (SR)

Hlavním cílem experimentu realizovaného na modelovém území Agrodivize Selice s.r.o. bylo posoudit trend hospodaření s půdní organickou hmotou (POH) na podkladě historických údajů (KPP) a současných údajů o obsahu Cox (při zachování původních analytických metod stanovení Cox podle Ťurina). Výsledky byly použity pro kontrolu správnosti modelování (POH) v modelu RothC. Lokální podmínky modelové lokality (geograficko-geologické poměry) jsou spolu s vymezením půdních typů uvedeny na obrázcích 5 a 6.

Na lokalitě Agrodivize Selice s.r.o. došlo k srovnání hodnot vybraných půdních parametrů (POC a obsahu jílové složky půd) výběrových sond KPP (rok 1964) a současných (rok 2006). Jednotlivé parametry odběrných sond jsou uvedeny v tabulce 3 a výsledné stavy Cox jsou zpracovány do grafu 1.

Obr. 5 Lokální podmínky modelové lokality Selice

Lokální podmínky SELICE:
území je součástí Podunajské nížiny
nachází se v aluvii Váhu
nejteplejší velmi teplá oblast
průměrná roční teplota: 10 °C
průměrný roční srážkový úhrn: 550 mm
Dominantním půdním typem je fluvizem glejová, modální, psefická, s přechodem v černice
průměrná roční teplota: 10 °C
průměrný roční srážkový úhrn: 550 mm

Obr. 6 Soubor půdních typů modelové lokality Selice

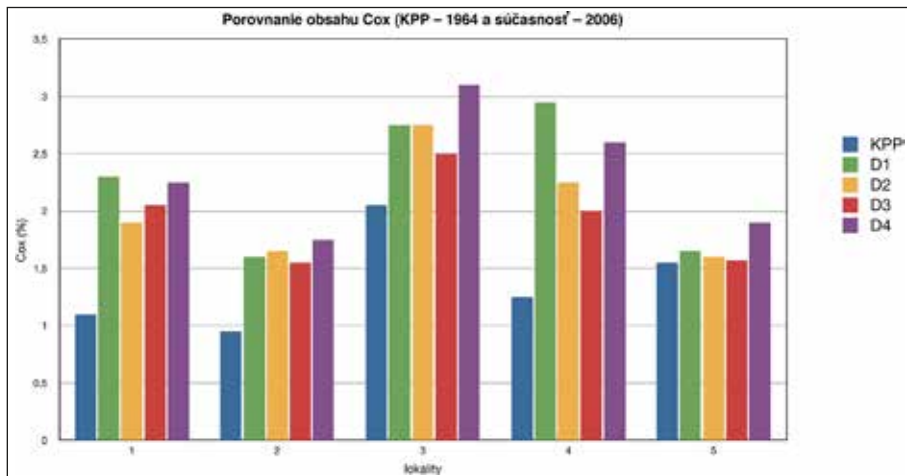


Tab. 3 Porovnání hodnot vybraných parametrů (KPP – 1964 a současnost – 2006)

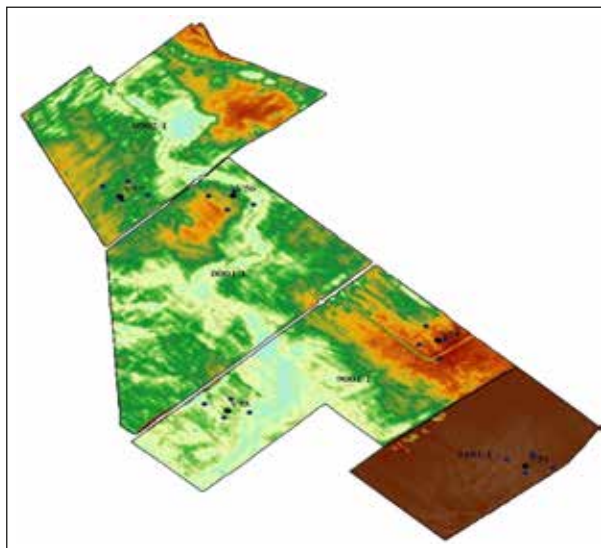
Označení VS KPP půdní typ	KPP		Súčasnosť							
	POC (%)	íl (%)	POC (%)	íl (%)	POC (%)	íl (%)	POC (%)	íl (%)	POC (%)	íl (%)
V51	1,13	19,9	46 m		87,5 m		105 m		129 m	
NPk			2,31	16,4	1,84	16,24	2,09	23,44	2,24	17,75
V53	0,94	14,4	46 m		85 m		111 m		121 m	
NPc			1,62	15,64	1,7	9,72	1,58	11,36	1,8	14,16
V54	2,04	43,0	37 m		95 m		114 m		120 m	
LPk			2,79	47,48	2,79	40,54	2,54	31,99	3,12	44,69
V56	1,28	18,8	29,5 m		101,5 m		117,5 m		121 m	
NPk			2,96	22,43	2,31	23,60	2,04	23,34	2,57	19,05
V57	1,56	17,8	22 m		111,5 m		112,5 m		132,5 m	
LPc			1,78	27,19	1,69	23,35	1,63	20,18	1,93	19,35

Vyhodnocení prostorové variability Cox (POC) v produkčních jednotkách pomocí geostatistických metod prostorové interpolace v ArcGISTM Geostatistical analyst z bodových údajů s následným exportem do rastru s prostorovým rozlišením 3 m je spočteno a uvedeno výsledným zobrazením na obrázku 7.

Graf 1 Porovnání obsahu POC (KPP – 1964 a současnost – 2006)



Obr. 7 Výsledná prostorová interpolace modelového území Selice (v gridu 3 m)



Výsledkem porovnání obsahů POC z 5 výběrových sond KPP a údajů obsahu POH ze 4 „nových“ míst odběrů v okolí V-sond konstatujeme diferencovaný trend zvyšování obsahu POC.

Nárůst obsahu POC je primárně odrazem uplatňovaného systému půdo-ochranných technologií hospodaření (minimalizační technologie striktně zavedeny od roku 1992). Při hodnocení faktoru půdního typu je tempo růstu obsahu POC rychlejší na fluvizemích vůči černicím.

ZÁVĚR

Velkou devízou České a Slovenské republiky potažmo pověřených institucí (VÚMOP v. v. i., Praha, a VÚPOP, Bratislava) jsou databáze vzniklé na podkladě půdních sond odebraných při KPP. Je zřejmé, že datový potenciál výstupů KPP je vysoký. Otázkou je, do jaké míry se nám podaří tento potenciál, při zachování věrohodnosti presentovaných údajů, využít.

Systematický monitoring půd v rozsahu KPP s využitím pokročilejších technologií především zaměření polohy pomocí GPS či s využitím instrumentálních metod stanovení, asi nelze v nejbližší budoucnosti očekávat. Proto je řešení výstupů na podkladech KPP stále aktuální téma a je třeba se jím neustále zabývat.

Vzájemná spolupráce půdoznaleckých ústavů ČR a SR (VÚMOP a VÚPOP) při řešení digitalizace, informatizace a metodiky využití výstupů KPP, může do budoucna přispět k řešení projektů v rámci integrace evropského a celosvětového prostoru.

Poděkování

Tato práce byla podporovaná Agenturou na podporu výzkumu a vývoje Slovenské republiky na základě smlouvy č. SK-CZ-0183 – 11 a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci programu MOBILITY MŠMT na základě smlouvy č. 2955/2012 – 36.

Datové výstupy z modelového území v ČR vznikly za podpory Výzkumného záměru Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova (2009 – 2013) MZE0002704902 (ČR).

LITERATURA

- DAMAŠKA, J., NĚMEČEK, J., ŠIMEK, J., RYGLEVITZ J., MATTAUSCHOVÁ, E., HARUDA, F., 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR – Souborná metodika, díl druhý*, Metodika agronomické interpretace výsledků průzkumu půd. Ministerstvo Zemědělství a výživy, PRAHA, 132 pp.
- NĚMEČEK J., DAMAŠKA J., HRAŠKO J., BEDRNA Z., ZUSKA V., TOMÁŠEK M., KALENDA M., 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR. 1. díl: Metodika terénního průzkumu*. Min. Zem. a výž., Praha, 246 pp.
- NOVÁK P., OBRŠLÍK J., VORPAVIL J., ČERMÁKOVÁ M., 2008. *Impact of Political and Socio Economic Changes in the Czech Republic on Long-term Development of Sheet Water Erosion*. In: Dazzi C., Costantini E. *The Soils of Tomorrow. Soils Changing in a Changing World*. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 2008, s.621 – 647. ISBN 978-3-923381-56-2 US ISBN 1 – 59326-249–3.
- NOVOTNÝ I., 2007. *Informatizace a zpřístupňování rozsáhlých odborných databází Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy*, v.v.i. Webový archiv dat komplexního průzkumu půd (WA KPP). Praha, VÚMOP, 2007 – 2013. zdroj: <http://wakpp.sowac-gis.cz>.
- PRAX A. 2007. *Význam komplexního průzkumu zemědělských půd v bývalém Československu a rozpracování jeho výsledků*. Půda v moderní informační společnosti, Sborník příspěvků. Bratislava: VÚPOP, 2008. ISBN 978-80-89128-44-0.
- SIROVÝ V., FACEK Z., POSPÍŠIL, F., KULÍKOVÁ, A., JAVORSKÝ, P., KALAŠ, V., 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR*. 3. díl: Metodika laboratorních rozborů a principy jejich hodnocení. Ministerstvo zemědělství a výživy., Praha.

TVORBA DIGITÁLNEHO MODELU TERÉNU Z PODKLADOV LETECKEJ FOTOGRAMETRIE PRE POTREBY PRIESTOROVÉHO MODELOVANIA

CREATION OF DIGITAL TERRAIN MODEL FROM THE PHOTOGRAMMETRY SOURCE FOR THE NEEDS OF SPATIAL MODELING

Vladimír HUTÁR, Martin SAKSA

Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, v.hutár@vupop.sk

Abstrakt

Tvorba digitálneho modelu terénu (DMT) z fotogrametrických údajov firmy Eurosense, s. r. o. poskytnutých v rámci projektu SONDAR (Spolupráca na ochrane pôdy v regióne Podunajsko: Dolné Rakúsko a západné Slovensko ako príklad dobrej praxe pre región Podunajsko), prebiehala s použitím geoštatistickej metódy (ordinary kriging) a deterministickej metódy (radial basis function, CRS completely regularized spline). Na hodnotenie zvolenej metódy priestorovej interpolácie boli použité charakteristiky štatistiky chýb interpolovaného povrchu a kontrolného vstupného bodového poľa. Ako príklad modelovania boli generované odvodené charakteristiky DMT akými sú vyčlenenie povodia, akumulácie odtoku a vzdialenosti prúdenia.

Kľúčové slová: digitálny model terénu, fotogrametria, priestorové modelovanie, interpoláčnne metódy

Abstract

Generation of digital terrain model (DTM) from the photogrammetry sources (provided by Eurosense, s. r. o within the project SONDAR – cooperation on soil protection in the Danube region: Lower Austria and west Slovakia as an example of good practice for the Danube region) was performed with utilization of geostatistical method (ordinary kriging) and deterministic method (radial basis function, completely regularized spline). For the validation, statistics of error between interpolated surface and control points was used. As an example, derived characteristics of DTM such as hydrological basin, flow accumulation and flow length were generated for spatial modeling.

Keywords: digital terrain model, photogrammetry, spatial modeling, interpolation methods

ÚVOD

Zemský povrch vytvorený prírodnými silami (prípadne antropogénnymi) bez objektov a javov na ňom alebo pod ním tvorí georeliéf. Priebeh georeliéfu v mape nie je možné zobraziť so všetkými jeho podrobnosťami a zobrazuje sa iba priebeh náhradnej generalizovanej plochy, ktorá sa k reálnej čo najviac približuje. Táto generalizovaná plocha (KRCHO, 2001) sa nazýva topografická plocha georeliéfu a je vyjadrená funkciou dvoch premenných $z=f(x,y)$ v karteziánskej súradnicovej sústave $\langle 0, x, y, z \rangle$ tvorená množinou bodov $ERF = \{A_1(x_i, y_i, z_i)\}_i$, kde konkrétny analytický tvar funkcie $z = f(x, y)$ nie je známy. Táto funkcia je v každom DMT vždy nahradená určitou j -tou interpolačnou funkciou dvoch premenných x, y vhodných vlastností. Potom na základe reprezentatívneho konečne veľkého vstupného súboru bodov $A_1(x_i, y_i, z_i)$, je touto interpolačnou funkciou možné vypočítať podrobné rozloženie nadmorských výšok (z) a vytvorenie výškového modelu v rastrovej forme (digitálneho modelu terénu). DMT predstavuje jeden zo základných vstupných údajov na modelovanie priestorových veličín. Spolu s ostatnými vstupnými údajmi (environmentálne tematické údaje vektorového alebo rastrového charakteru, diaľkového prieskumu Zeme a. i.) tak napomáha vylepšovať kvalitu, konzistenciu a spoľahlivosť priestorových údajov nielen samotného pôdneho krytu ale aj procesov v ňom prebiehajúcich (HUTÁR, BALKOVIČ, SAKSA 2011). Z pohľadu európskej (smernica INSPIRE) a národnej (zákon č. 3/2010 Z.z.) infraštruktúry pre priestorové informácie je problematika DMT zaradená v prílohe II, - téma 1. Výška, ktorej špecifikácie popisuje zatiaľ návrh pokynov „data specification on elevation“, dostupný na internete <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>.

Študované územie predstavuje plochu 25,2 km², štvorcového tvaru o rozmeroch cca 5 × 5 km. Nachádza sa na pohraničnom území Angern an der March a Záhorskej Vsi, ktoré predstavujú dva typy nížinnej krajiny. Na rakúskej strane reliéf stúpa do systému nižších až stredných riečnych terás, na slovenskej strane ide o typickú lužnú krajinu s horizontálne členeným reliéfom na sústavu depresí mŕtvych ramien, plochého reliéfu aluviálnej nivy a elevácií pleistocénnych viatych pieskov. V záujmovom území dominujú nasledovné pôdne typy: fluvizeme kultizemné (FMa) a čiernice kultizemné (ČAa) viažuce sa na plochý reliéf aluviálnej nivy Moravy, ďalej ich glejové subtypy (FMG, ČA_g), ktoré sú viac ovplyvňované podzemnou vodou, gleje modálne (GLm) v depresných formách reliéfu a nakoniec regozeme kultizemné (RMa) viažuce sa na vyvýšené formy reliéfu dún viatych pieskov.

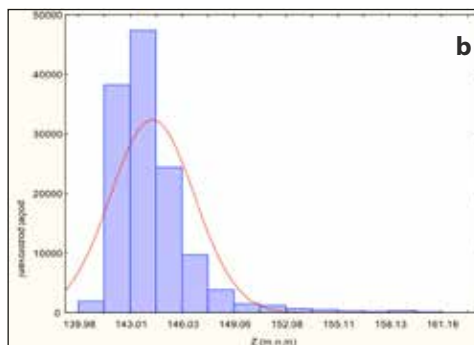
MATERIÁL A METÓDY

Príprava a analýza vstupného bodového poľa

Vstupné údaje na tvorbu DMT predstavovali priestorové bodové údaje (Obr. 1) získané fotogrametrickým vyhodnotením leteckých meračských snímok poskytnutých firmou Eurosense s. r. o., pre projekt SONDAR. Vstupné bodové pole tvoriace výškové body (59 557 bodov pokrývajúce prevažne kataster Záhorskej Vsi) s deklarovanou presnosťou 25 cm (polohová, výšková)

a lomové body terénnych hrán s atribútom nadmorskej výšky (71 141 bodov) boli definované v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK) a výškovom systéme Balt po vyrovnaní (Bpv) v prostredí ArcGIS.

Obr. 1 a) Vstupné bodové pole na tvorbu DMT b) histogram premennej nadmorská výška a jeho popisná štatistika (aritmetický priemer, minimálna hodnota, maximálna hodnota, smerodajná odchýlka, šikmost, strmost)



	Počet N	Priemer	Min.	Max.	Sm. odch.	Šikm.	Strm.
Z	130698	144.27	139.98	162.66	2.433	2.67	10.98

Priestorová interpolácia a tvorba digitálneho modelu terénu, analýza chýb

Interpolácia predstavuje metódu tvorby nových údajov vo všetkých miestach (neznámych) z hodnôt údajov vo vybraných miestach (známych), kde miesta sú najčastejšie body. Na odhad vlastností neznámych bodov je treba poznať hodnoty známych susedov, pričom sa využívajú znalosti o a) priestorovej variabilite sledovaných vlastností (stochastické metódy priestorovej interpolácie), b) optimalizácie parametrov sady polynómov (deterministické metódy typu radiálnych funkcií).

Analýza výškovej presnosti predstavuje štatistické spracovanie chýb, pričom chyba (diskrepancia) medzi hodnotou interpolovaného povrchu a kontrolnou hodnotou je daná vzťahom $\Delta Z = Z_{DMT} - Z_K$, kde Z_{DMT} predstavuje hodnotu interpolovaného povrchu a Z_K hodnotu kontrolného bodového poľa.

Odvođené premenné DTM: povodie, akumulácia odtoku a vzdialenosť prúdenia

Odvođené hydrologické premenné (povodie, akumulácia odtoku a vzdialenosť prúdenia) DMT boli generované pomocou nástroja Hydrology v prostredí ArcGIS Spatial Analyst, pričom uvedené hydrologické funkcie sú navrhnuté na modelovanie toku cez prirodzený terénny povrch. To predpokladá existenciu DMT na determináciu cesty prúdenia. Ako hydrologické premenné boli modelované nasledovné charakteristiky: i) povodie (BASIN) analyzuje smer prú-

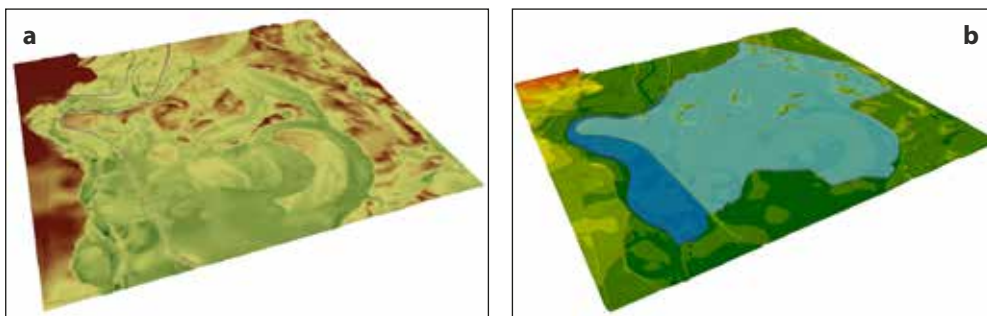
denia, pričom spája všetky bunky rastra DMT, ktoré patria do rovnakého povodia, *ii*) akumulácia odtoku (FLW – *flow accumulation*) predstavuje vykreslenie odtoku vody (akumuláciou rastra DMT v smere ústia každej bunky rastra), *iii*) vzdialenosť prúdenia (flow length) vykresľujúca dĺžku dráhy prietoku.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na hodnotenie výsledného DMT bolo vstupné bodové pole (duplicitné body boli odstránené) rozdelené v pomere 70% (85 436 bodov) a 30% (36 616 bodov) na vzorkovaciu sadu a testovaciu sadu. Testovacia sada bola použitá na validáciu tvorby DMT formou tzv. pravej validácie, kde sa testovacie body nepodieľajú na samotnej interpolácii (JOHNSTON, K., VERHOEF, J.M., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N. 2001).

Ako príklad stochastickej metódy bol použitý obyčajný (*ordinary*) kriging bez logaritmickej transformácie vstupných údajov a bez definovania lokálneho trendu vo vstupných údajov. Vzhľadom na množstvo použitých údajov sa charakteristiky histogramu (šíkmosť, strmosť) výrazne nemenia ani po použití logaritmickej (prípadne box-cox) transformácie. Vo vstupných údajoch nebol pozorovaný ani výrazný lokálny trend (v smere osí X a Y). Použité parametre sférického modelu autorizovaného variogramu boli: nugget (chybový rozptyl) 0.6, sill (maximálna hodnota ohraničeného modelu semivariancie) 3.4, range (hodnota vzdialenosti, na ktorej bol dosiahnutý sill) 600. Ako príklad deterministickej metódy bol použitý modul CRS z radiálnych funkcií, kde vzdialenosť bodov vstupujúcich do interpolácie bola stanovená na 600 s následnou optimalizáciou parametra funkcie. V obidvoch prípadoch interpolácie bol výsledný DMT generovaný ako rastrový model s veľkosťou bunky 15 m. Vizualizovaný DMT v rastrovom formáte je na obrázku 2.

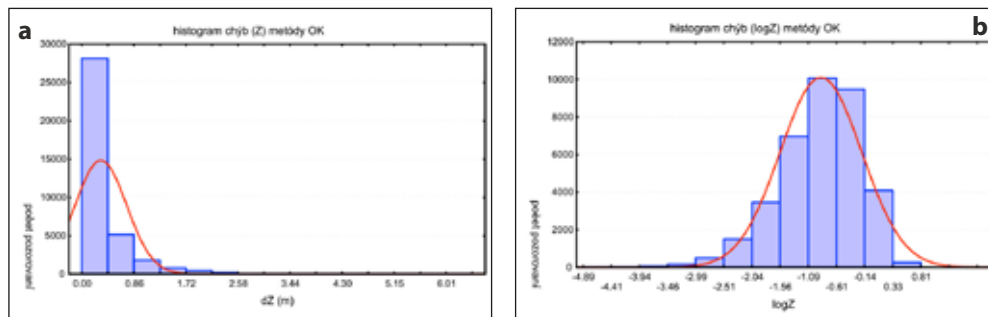
Obr. 2 a) 3D vizualizácia DMT hypsometriou b) 3D vizualizácia DMT spolu s charakteristikou zaplavovaných oblastí pri rôznych povodňových udalostiach



Pri analýze výškovej presnosti bola hodnotená premenná Z ako jednorozmerná náhodná premenná. Tá dosahuje kladné (v prípade, že modelovaný povrch nadhodnocuje skutočné výšky) a záporné hodnoty (v prípade, že modelovaný povrch podhodnocuje skutočné výšky). Absolútne hodnoty chýb (diskrepancií) predstavuje základný štatistický súbor, na základe ktorého bol stanovený odhad strednej hodnoty a disperzie vertikálnych chýb DMT. Keďže takýto

základný súbor sa vyznačuje výraznou ľavostrannou asymetriou (Obr. 3a), pre správny odhad strednej hodnoty a disperzie bola použitá logaritmická transformácia tohto štatistického súboru (Obr. 3b). Takáto logaritmická transformácia nadobúda rozdelenie blízke normálnemu rozdeleniu a preto (po od logaritmovaní) je možné stanoviť odhad strednej hodnoty (aritmetický priemer) a disperzie (smerodajnej odchýlky) vertikálnych chýb interpolovaného povrchu.

Obr. 3 a) ukážka ľavostrannej asymetrie rozdelenia početností (histogramu) absolútnych vertikálnych chýb DMT generovaného interpolačnou metódou ordinary kriging (OK), b) histogram logaritmických transformácií týchto chýb

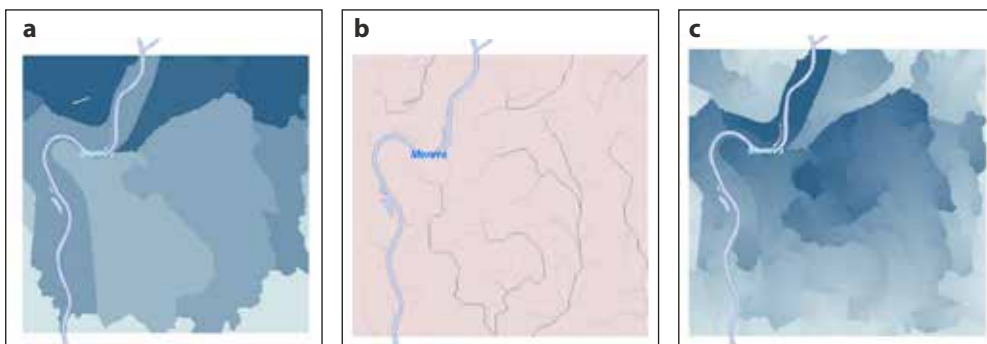


Výsledný odhad strednej chyby a disperzie absolútnych vertikálnych chýb stochastickej interpolačnej metódy ordinary kriging (OK) je $0,13 \text{ m} \pm 4,85$, deterministickej metódy radiálnych funkcií (CMR) je $0,14 \text{ m} \pm 4,79$. Výsledky kontroly kvality možno považovať za prvotný odhad, keďže na hĺbkovú kontrolu kvality je potrebná analýza výškovej presnosti ako trojrozmernej veličiny. Takisto je účelné sledovať vertikálnu chybovosť vzhľadom na členitosť reliéfu, krajinnú pokrývku a pod.

Ako vidieť z obrázku 3, výsledky generovania hydrologických premenných vzájomne súvisia a jednoznačne vyčleňujú oblasť na a) inundačné územie rieky Moravy medzi jej ochrannými hrádzami, b) územia za hrádzou. Inundačné územie (tvorené fluvizemami glejovými a glejmi) je periodicky zaplavované povrchovou vodou Moravy, zatiaľ čo územia za ochrannou hrádzou (tvorené čiernicami glejovými, lokálne regozemami a glejmi) sú ovplyvňované predovšetkým zvýšenou hladinou podzemnej vody počas povodňových stavov v kombinácii s nahromadenou dažďovou vodou. Pri analýze výsledkov hydrologických premenných (akumulácia odtoku, vzdialenosť prúdenia) s aktuálnou ortofotosnímkou možno konštatovať vzájomnú zhodu hlavných akumuláčnych odtokov generovaných z DMT a súčasných depresí mŕtvych ramien, konkávných foriem reliéfu s blízkou hladinou podzemnej vody mimo inundačného územia rieky Moravy. Pri výskyte povodňovej udalosti (definovanej ako povodňový prietok $Q_{30'}$, Q_{100}) možno potom riešiť jednotlivé varianty týchto udalostí (pri zachovaní ochrannej hrádzy a bez zachovania ochrannej hrádzy). Vzhľadom na relatívne nízke prevýšenia (140 m n. m., 162 m n. m.) možno konštatovať pri porušení ochrannej hrádzy zatopenie s malými výnimkami prakticky celého modelovaného územia. Smery pritekajúcej povodňovej vlny by s najväčšou pravdepodobnosťou kopírovali reliéf depresí mŕtvych ramien a konkávných foriem reliéfu (definovaných akumuláciou odtoku) spolu s rozlievaním sa do priľahlých území (modelovaných vzdialenosťou prúdenia).

Uvedené výsledky vychádzajú aj keď z detailného, ale predsa len priestorovo lokalizovaného územia. Pri podrobnejšej analýze je nutné riešiť vplyv rieky Moravy komplexnejšie, aj keď iba v menej detailnom rozlíšení.

Obr. 3 Hydrologické premenné generované z DMT pomocou nástroja Hydrology (ArcGIS Spatial Analyst): a) povodie (Basin), b) akumulácia odtoku (Flow Accumulation), c) vzdialenosť prúdenia (Flow Length)



ZÁVER

Využitie geoštatistických metód (*ordinary kriging*) sa ukázala ako vhodnejšia metóda pre interpoláciu digitálneho terénneho modelu z uvedených vstupných údajov v danom rozsahu a na danej rozlišovacej úrovni. Na kvalite výsledného produktu sa podieľa viacero faktorov, pričom vzhľadom od použitej metódy je potrebné poznať kvalitu vstupného bodového poľa (presnosť údajov, distribúciu v priestore, lokálne trendy a distribučnú hodnotu premennej). Nastavením vhodných parametrov interpolačnej metódy je potom možné docieľiť výsledný model terénu s požadovanými charakteristikami kvality (minimálna stredná hodnota, smerodajná odchýlka vertikálnych chýb) na jeho použitie v pôdoznaleckom a krajinnom modelovaní.

Povodie, akumulácia odtoku a vzdialenosť prúdenia patria k základným hydrologickým charakteristikám odvodeným z digitálneho modelu terénu. Spolu s charakteristikami o pôdnom kryte (retenčná vodná kapacita, hĺbka pôdy a i.), type vegetácie (lesný porast, typ plodiny na ornej pôde) a v neposlednom prípade aj spôsobe obrábania (hlboká orba, orba po vrstevniciach) je možné modelovať povrchový odtok pri rôznych povodňových udalostiach.

LITERATÚRA

- FENCÍK R., HUDEC P., 2008: *Analýza výškovej presnosti digitálneho modelu reliéfu územia Medzibodrožie*. Aktivity v kartografii 2008, Bratislava. Zborník referátov zo seminára. Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky, 2008, s.40–47
- HUTÁR V., BALKOVIČ J., SAKSA M. 2011: *Využitie globálneho navigačného systému (GNSS) pre tvorbu digitálneho terénneho modelu (DTM) a komplexných gradientov reliéfu ako prediktorov digitálneho pôdneho mapovania*. Vedecké práce výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave č. 33, Bratislava: VÚPOP, 2011, s. 78–85.

- Inspire, Infrastructure for spatial information in the European community.* [online],[cit. 2013–9-9] Dostupné na internete: <<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>>
- JOHNSTON, K., VERHOEF, J. M., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N. 2001. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Redlans: ESRI, 2001. 316 p. ISBN 978–1-589–48006-3.
- KRCHO, J., 2001: *Modelovanie georeliéfu a jeho geometrickej štruktúry pomocou DTM. (Polohová a numerická presnosť)*. 2001, 335 s. ISBN 80–85401-92–4
- Zákon z 2. decembra 2009 o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie, č. 3/2012 Z.z.
-

PÔDNE POMERY POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINY PIENIN A ZAMAGURIA – ICH AKTUÁLNY STAV A VÝVOJ

SOIL COVER OF AGRICULTURAL LAND OF PIENINY AND ZAMAGURIE REGIONS – ITS ACTUAL STATE AND DEVELOPMENT

Jozef KOBZA

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

Abstrakt

V predložennom príspevku je hodnotený aktuálny stav pôdných pomerov a vývoja základných vlastností pôd poľnohospodárskej krajiny v oblasti Pienin a Zamaguria. V práci boli použité stabilné monitorovacie lokality v rámci monitorovacej siete pôd Slovenska. Jednotlivé analytické postupy boli realizované podľa Jednotných pracovných postupov rozborov pôd (KOLEKTÍV, 2011). Prevládajúcim pôdnym typom je tu kambizem na flyši, na území bradlového pásma Pienin a jeho bezprostredného okolia (najmä medzi Veľkým Lipníkom a Lesnicou) sa nachádzajú rendziny a najmä pozdĺž rieky Dunajec na jeho fluvialných sedimentoch sa vyskytujú fluvizeme, fluvizeme glejové a gleje. Hodnotené územie nebolo ani v minulosti ovplyvnené výraznejšou intenzifikáciou poľnohospodárskej výroby (prevládal a prevláda súkromný sektor), čomu zodpovedajú aj hodnoty základných pôdných vlastností. Pôdna reakcia je prevažne veľmi kyslá (pH/KCl < 5,5) s nízkym obsahom prístupných živín, najmä fosforu (3,07 – 3,72 mg.kg⁻¹), jedine pôdy, ktoré sa v nedávnej minulosti využívali ako orné, je obsah prístupných živín vyšší (vyhovujúci až dobrý) – KOBZA, GÁBORÍK, 2008. Obsah organického uhlíka je charakteristický pre pôdy prevažne pod trvalými trávnyimi porastami (Cox 2,15 – 4,02 %). Vývoj vlastností pôd za takmer posledné 2 dekády je bez výraznejších zmien, výraznejší je len pokles obsahu prístupných živín na pôdach, ktoré sa v minulosti využívali ako orné. Zraniteľnosť poľnohospodárskej krajiny je tu limitovaná geologickým podložím flyša - súvrstvia pieskovcov a ílovcov, ktoré vytvárajú dobré sklzné plochy pre tvorbu zosuvov najmä na svahovitejších pozemkoch hlavne po privalových dažďoch, a to aj na pôdach pod trvalými trávnyimi porastami hlavne tam, kde došlo k narušeniu pôdneho pokryvu častým spásaním, ako aj ťažkými mechanizmami najmä pri zväžaní dreva.

Kľúčové slová: Pieninský národný park, Zamagurie, pôdny pokryv, vlastnosti pôd a ich vývoj

Abstract

Actual state and development of soil properties on agricultural land in Pieniny and Zamagurie regions is evaluated in this contribution. The stable monitoring sites of soil moni-

toring network in Slovakia were used in this work. Analytical procedures have been realized according to work publicated by KOLEKTIV, 2011. Predominant soil type in evaluated region is Cambisol on flysch, on the part of Pieniny klippen belt (mostly between Velky Lipnik and Lesnica villages) occur Rendzic Leptosols. In addition, along a Dunajec river are situated Fluvisols, Gleyic Fluvisols and Gleysols. Evaluated region was not influenced by intensive agriculture in the past, predominate is private agriculture, mostly grassland management. The obtained values of basic soil properties are in relation to former land use and also at present. On the basis of obtained results, soil reaction is mostly very acid ($\text{pH/KCl} < 5.5$) with low content of available nutrients – mostly phosphorus ($3.07 - 3.72 \text{ mg.kg}^{-1}$), on the former arable soils is content of available nutrients higher (sufficient to good) – Kobza, Gáborík, 2008. Content of organic carbon is characteristic for the soils under grassland (Cox $2.15 - 4.02 \%$). Development of soil properties is without significant change except former arable soils during last 2 decades. The vulnerability of agricultural land is limited by geology (flysch – layers of sandstones and clays-tones), slope of field and possibility of landslides after strong rainfalls also on the soils under grassland where the the soil cover was damaged by permanent grazing and heavy machines using especially at forest wood transport.

Keywords: Pieniny National Park, Zamagurie region, soil cover, soil properties and their development

ÚVOD

Pieninský národný park sa vyznačuje pestrou litologickou skladbou, ktorá je zároveň odrazom zložitého vývoja územia. Strieda sa tu vnútrokarpatský paleogén (flyšové pásmo reprezentované súvrstviami pieskovcov a ílovcov), haligovská jednotka (predstavuje vlastne zvyšky tzv. pieninskej geosynklinály, ktorej sedimentačný priestor sa začal vytvárať už na začiatku mezozoika na mohutnej poruchovej zóne v zemskej kôre), ako aj bradlové pásmo, ktoré je z geologického hľadiska veľmi charakteristickým prvkom Západných Karpát. Tiahne sa dolinou Váhu a cez Poľsko oblúkom sa vracia na územie Slovenska práve v Pieninách a pokračuje ďalej na východ až do Zakarpatskej Ukrajiny. Bradlové pásmo sa vyznačuje značne komplikovanou stavbou, pretože sa v ňom uplatnili takmer všetky horotvorné pochody, pričom vytvára pásmo z mezozoických a paleogénnych súvrství široké asi $1,3 - 4,7 \text{ km}$ a pokrýva prakticky celé územie národného parku (Voľoščuk a iní, 1992). Kvartér je tu reprezentovaný prevažne mladopleistocénnymi až holocénnymi sedimentami, ktoré sa rozprestierajú na danom území nerovnomerne. Jedná sa prevažne o fluviálne sedimenty, ktoré sú akumulované pozdĺž vodných tokov, najmä však Dunajca.

Takáto pestrá litologická stavba sa odráža aj v pomerne heterogénnom pôdnom pokryve, kde mierne modelovaný reliéf paleogénneho flyša je striedaný s členitým bradlovým pásmom s prevažne plytkými pôdami na stredných a vysokých terasách.

Cieľom tohto príspevku je poznanie štruktúry pôdneho pokryvu a jeho vývoja v zmenených spoločensko-ekonomických podmienkach po roku 1990.

Základné črty poľnohospodárskej výroby

Rozsah poľnohospodárskej výroby v záujmovom území ovplyvňovali a ovplyvňujú 3 základné faktory:

1. Pôdne pomery, ktoré sú prevažne reprezentované plytkými až stredne hlbokými pôdami najmä v oblasti flyšového pásma
2. Často nepriaznivá prístupnosť pozemkov bola limitujúcim faktorom intenzifikácie poľnohospodárskej výroby v tejto oblasti aj v minulosti
3. Vlastnícko-užívateľské vzťahy, ktoré do polovice 20. storočia boli založené na súkromnom vlastníctve a obhospodarovaní úzkych parciel. Až neskôr pri scelovaní pozemkov počas kolektívizácie došlo k značnému narušeniu krajiny spojenému s odstraňovaním medzí.

Keďže prevažná časť poľnohospodárskej krajiny je rozšírená v oblasti flyšového pásma, ktoré je charakteristické prevažne stredne hlbokými až plytkými pôdami, kde súvrstvia pieskovcov a ílovcov vytvárajú sklzné plochy pre tvorbu zosuvov o to viac, keďže sa často jedná o svahovité pozemky. Z uvedených príčin je preto prevažná časť poľnohospodárskeho pôdneho fondu využívaná ako lúky a pasienky.

Orné pôdy tu vytvárajú len pomerne úzke pásy pozemkov popri hlavných komunikáciách, ktorých výmera sa v poslednom období znižuje, čo súvisí aj s migráciou miestneho obyvateľstva. Dominantnými pestovanými plodinami sú stále zemiaky a z obilnín jarný jačmeň a ovos. Vzhľadom na úbytok pracovných síl, problémom zostávajú najmä vzdialenejšie a menej prístupné pozemky, kde na opustenej poľnohospodárskej pôde dochádza k samonáletom krovín a drevín, a tým sa mení aj charakter poľnohospodárskej krajiny. Tento je často navyše nepriaznivo pozmeňovaný až devastovaný aj nepoľnohospodárskou činnosťou, ktorá využíva pozemky na prejazd ťažkých mechanizmov (napr. z lesa pri zväžaní dreva), čím sa vytvárajú často hlboké kolaje a podporuje sa vznik vodnej erózie a tvorba zosuvov. Tým sa krajina stáva zraniteľnejšou, čo je vážnym momentom pre ochranu a zachovanie tejto krajiny v budúcnosti aj pre ďalšie generácie. I keď sme už v súvislosti s poľnohospodárskymi pôdami daného regiónu zaoberali v niektorých prácach aj v minulosti (KOBZA, 1999, KOBZA, 2002, LINKES a iní, 1997), v tomto príspevku sme sa zamerali na aktuálny stav pôdnych pomerov poľnohospodárskej krajiny Pienin a okolia aj s ohľadom na ich súčasný vývoj.

Tab. 1 Prehľad kultúr v Pieninskom národnom parku (v ha)

	Orná pôda	Záhrada	Ovoc. sad	TTP	Les	Vod. pl	Zast. pl	Ost. pl	Celkom
okr. Kežmarok	49,01	0,60	0	64,80	262,70	40,90	4,90	14,70	437,61
okr. Stará Ľubovňa	432,60	7,20	0,90	1499,20	1114,40	53,50	16,50	187,70	33312
Spolu	481,61	7,80	0,90	1564,00	1377,10	94,40	21,40	202,40	3749,61
Zdroj: Pieninský národný park, Spišská Stará Ves									

MATERIÁL A METÓDY

V príspevku sme vychádzali z podkladov peramanentného systému monitorovania pôd na Slovensku, ktorý sa u nás realizuje od roku 1993. Boli využité tie monitorovacie lokality, ktoré sa nachádzajú na území Pienin a Zamaguria. Zahnuté sú tu lokality pod trvalými trávnyimi porastami, ktoré sú v hodnotenom regióne dominantné, ako aj orné pôdy. Zamerali sme sa na hodnotenie základných vlastností pôd, ako je pôdna reakcia, obsah organického uhlíka a obsah prístupných živín – fosforu a draslíka. Chemické analýzy boli vykonané na pracovisku laboratórnych činností pri Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP) v Bratislave podľa Jednotných pracovných postupov rozborov pôd (KOLEKTÍV, 2011). Pôdne pomery boli spracované na základe podkladov VÚPOP a priestorovo zobrazené v prostredí GIS. Dosiahnuté výsledky boli spracované podľa zaužívaných štatistických postupov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Poľnohospodársky pôdny pokryv a jeho hlavné jednotky

Konkrétne pôdne predstavitelky na poľnohospodárskych pôdach sú znázornené na nasledovnej pôdnej mape (Mapa 1). Jednotky poľnohospodárskeho pôdneho pokryvu opisujeme vo forme polypedonov v charakteristických pôdnych asociáciách, ktoré majú svoje opodstatnenie v príbuznosti pôdnych vlastností (KOBZA, 1999). Bol použitý Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska (2000).

Kambizeme modálne

Sú hlavným pôdnym predstaviteľom popisovaného územia. Zaberajú predovšetkým oblasť flyšového pásma najmä priľahlej časti Spišskej Magury. Viazu sa na mierne modelovaný reliéf paleogénneho flyša, ktoré sa vytvorili na súvrstviach pieskovcov a ílovcov. To určuje aj ich textúru (zrnitostné zloženie) s prevahou zastúpenia hlinitých až piesčito-hlinitých druhov pôd. Sú to pôdy prevažne stredne hlboké až plytké so zastúpením skeletu 20–50%, ale aj viac. Pôdna reakcia (pH/KCl) je často nižšia ako 5,0. Obsah pôdneho humusu v povrchovom horizonte sa pohybuje prevažne v rozpätí 2,6% až 5,3%, sú to prevažne pôdy pod trvalými trávnyimi porastami (KOBZA a iní, 2009). Obsah prístupných živín je nízky, pri fosfore je často nižší ako 20 mg.kg⁻¹ (stanovený podľa Mehlicha III.) a pri draslíku jeho hodnoty len zriedka prevyšujú hodnotu 200 mg.kg⁻¹ (stanovený podľa Mehlicha III.). Treba podotknúť, že sa jedná prevažne o extenzívne využívané pôdy bez intenzívneho hnojenia, na čo poukazuje i nárast pozemkov bez kultivácie, ich zarastanie samonáletom kríkov a lesných drevín po migrácii obyvateľstva. Sú to pôdy prevažne svahovité nad 12°, v minulosti však boli terasované s úzkymi pruhmi drobných políček súkromne hospodáriacich roľníkov.

Mapa 1 Pôdny pokryv Pienin a okolia – Zamagurie (poľnohospodárske pôdy)

Základná konfigurácia pôdnych horizontov opisovaných pôd je: $A_0 - B_v - C$. Humusový horizont je ochrický, svetlejšej farby (prevažne 10YR 4/4 až 5/4), pomerne plytký (0–15 cm, max. do 20 cm). Len na pôdach, ktoré sa v minulosti orali, resp. sa i teraz orú, v ornici môže byť zaoraná i časť horizontu B_v , takéto orníčné horizonty sú svetlejšie (10YR 4/6 až 5/6). V podloží týchto pôd sú súvrstvia pieskovcov a ílovcov, ktoré najmä pri intenzívnych dažďových zrážkach vytvárajú pomerne dobré sklzné plochy pre zosuvy pôd najmä na exponovanejších polohách, ktoré sú časté v oblasti Zamaguria.

Obr. 1 Súvrstvia pieskovcov a ilovcov (flyš)**Obr. 2** Zosuv na flyši (Jezerko, rok 2013)**Obr. 3 a 4** Pôdne profily kambizeme modálnej na flyši (Spišská Stará Ves a hrebeň Spišskej Magury)**Kambizeme pseudoglejové**

Tieto pôdy sa vyskytujú prakticky v jednej asociácii s predchádzajúcou skupinou pôd kambizemí modálnych, avšak tieto sú viazané skôr na terénne depresie a nerovnosti s menej priepustným podložím, kde dochádza k povrchovému zamokreniu pôd. Ich plošné rozšírenie je menšie oproti kambizemiam modálnym. Sú to prevažne pôdy pôd trvalými trávnyimi porastami s dominanciou hydrofilných rastlinných spoločenstiev. Pôdne vlastnosti sú podobné ako pri kambizemiach modálnych, o niečo vyšší v priemere je obsah humusu (>4%) vplyvom výraznejších procesov povrchového zamokrenia (pseudoglejenia). Tieto sú viazané na málo priepustné podložie (najmä vodorovné bridlice ilovcov a pieskovcov), zrnitostne ťažšie skupiny (väčšie zastúpenie frakcie ílu), vyšší úhrn zrážok a nižšiu evaporáciu. Prevažne ide o pôdy hlboké až stredne hlboké, v humusovom horizonte piesčitohlinité až ílovitohlinité, v hlbších častiach pôdneho profilu ílovitohlinité až ílovité.

Pôdny profil má nasledovnú konfiguráciu pôdnych horizontov: A0 – Bvg – Cg.

Obr. 6 Pôdny profil kambizeme pseudoglejovej na flyši (Osturňa)

Obr. 5 Charakteristický reliéf flyšovej oblasti (Osturňa)



Rendziny modálne a rendziny kambizemné

Rendziny modálne a rendziny kambizemné sa vyskytujú v jednej asociácii predovšetkým pozdĺž Dunajca a v okolí Lesnice a Haligoviec. Zaberajú širšie územie v severovýchodnej časti Pieninského národného parku. Viazané sú na karbonátové horniny najmä mezozoické horniny spodnej až vrchnej kriedy, ktoré reprezentujú prechod od vápencového podložia až po výskyt piesčitých vápencov medzi Veľkým Lipníkom a Lesnicou (Voľoščuk a iní, 1992). Chemické, ale aj fyzikálne vlastnosti sú ovplyvnené vysokým obsahom dvojmocných katiónov, najmä Ca^{2+} . Jedná sa o pôdy sorpčne nasýtené, neutrálne. Vplyv vysokého obsahu Ca^{2+} vplýva aj na tvorbu priaznivej, drobnohrudkovitej až hrudkovitej štruktúry. Rendziny vo svojom typickom vývoji (rendziny modálne) sú pôdy dvojhorizontové: Amc – Cc. Prevláda molický humusový horizont s prevahou humínových kyselín. Pri modálnych rendzinách je humusový horizont hrubší ako 10 cm, prevažne dosahuje hrúbku do 20 až 25 cm, pod ktorým sa nachádza zvetralina karbonátovej horniny. Prevažne teda ide o pôdy plytké až stredne hlboké. Na niektorých polohách s vyšším úhrnom zrážok, ale aj vplyvom laterálneho zmyvu dochádza k postupnému vyplavovaniu karbonátov, pričom dochádza k intenzívnejšiemu zvetrávaniu, hndnutiu a tvorbe ílu. Z rendzín modálnych tak postupne vznikajú rendziny kambizemné s náznakmi kambického Bv horizontu za prítomnosti uhličitanov (na rozdiel od kambizemí rendzinových). Tieto pôdy sú prevažne hlbšie (ide o trojhorizontové pôdy Amc – (Bv)c – Cc) ako rendziny modálne (dvojhorizontové pôdy Amc – Cc). Rendziny kambizemné sa odlišujú od rendzín modálnych i svojím chemizmom, kde vplyvom vyluhovania karbonátov došlo k postupnému okyslovaní vrchných častí pôdneho profilu. Zvetrávajúci horizont je pri rendzinách kambizemných výraznejšie vyvinutý, dostáva nahrdzavelú farbu. Rendziny kambizemné sú prevažne stredne hlboké pôdy a vyskytujú sa hlavne v okolí Lesnice, Stráňan, Kamienky až Starej Ľubovne.

Rendziny modálne aj kambizemné sú pôdy značne skeletnaté (vplyv blízkosti pôdotvorného substrátu), často svahovité pod trvalými trávnyimi porastami, ktoré sa v minulosti intenzívnejšie kosili a spásali.

Obr. 8 Pôdny profil rendziny (Lesnica)**Obr. 7** Výskyt rendzín v PIENAPe

Fluvizeme modálne

Vývojovo ich zaraďujeme medzi najmladšie pôdy, ktoré nachádzame v súvislejších, alebo v prerušovaných plochách najmä pozdĺž vodného toku Dunajca a jeho prítokov. Ich výskyt je viazaný na územia, ktoré sú pod vplyvom denudačnej činnosti príslušného vodného toku. Sú to pôdy so značným kolísaním hladiny podzemnej vody, táto však pri týchto pôdach len zriedka kulminuje v hĺbke do 50 cm od povrchu pôdy. Sú to pôdy s ochrickým humusovým horizontom, ktorého hrúbka sa pohybuje prevažne v rozpätí 10–17 cm, často s vyšším obsahom skeletu (25–50 %, ale aj viac). Textúra fluvizemí je pomerne pestrá a jednotlivé pôdne horizonty sú od seba často veľmi odlišné, čo je závislé najmä na šírke alúvia, rýchlosti toku a kvality transportovaného pôdno-sedimentárneho materiálu. Tieto pôdy v oblasti PIENAPu sú prevažne plytké až stredne hlboké. Zrnitosť ide o pôdy piesčito-hlinité až hlinité s dobrou infiltračnou schopnosťou. Pre tvorbu pôdnej organickej hmoty je charakteristická akumulácia humusu ovplyvňovaná denudačnou činnosťou príslušného vodného toku. Obsah humusu v povrchovom humusovom horizonte popisovaných pôd sa pohybuje v rozpätí 2–4 %, vyššie hodnoty sa nachádzajú pod trvalými trávnyimi porastami, tu sa hodnoty obsahu humusu v A horizonte pohybujú prevažne okolo 5 %, ale i viac. Pod humusovým horizontom sa vyskytuje pôdotvorný substrát, ktorým sú fluvialne sedimenty. Jedná sa prevažne o mierne kyslé až neutrálne pôdy.

Obr. 10 Pôdny profil fluvizeme**Obr. 9** Výskyt fluvizemí v okolí Dunajca

Fluvizeme glejové a gleje

Areál rozšírenia fluvizemí glejových a glejov je totožný s výskytom fluvizemí modálnych, avšak tieto zaberajú len úzke aluviá a slabo drénované depresie. V dôsledku vyššej hladiny podzemnej vody dochádza k intenzívnym glejovým procesom. V pôdnom profile sa tak vytvára glejový horizont (v hĺbke 50–100 cm, pri glejoch nad 50 cm) s charakteristickým zastúpením sivej farby v matrici (Chroma < 2) v rozsahu 10–90% s vysokou kontrastnosťou oproti hydratovaným oxidom Fe, ktoré tvoria hrdzavé difúzne povlaky, alebo výplne v medziagregátovom priestore. Vplyvom hydromorfizmu sú tieto pôdy oproti predchádzajúcej skupine charakteristické vyšším obsahom humusu (3,5–5,5%), ale aj viac najmä pod trvalými trávnyimi porastami. Pôdna reakcia je mierne kyslá až neutrálna (pH/KCl dosahuje priemernú hodnotu 6,36). Ich najväčšie rozšírenie je v okolí Dunajca. Nevytvárajú však súvislejšie plochy, ich výskyt je skôr ostrovčekovitý. Gleje sa vyskytujú v spoločnej asociácii s fluvizemiami glejovými v depresných polohách a vysokou hladinou podzemnej vody (nad 50 cm).

Obr. 11 a 12 Pôdne profily pôd ovplyvnené zvýšenou hladinou podzemnej vody

Všetka fotodokumentácia bola spracovaná autorom.

Aktuálny stav a vývoj vlastností pôd uvedeného regiónu

Pri hodnotení aktuálneho stavu a vývoja vlastností pôd sme vychádzali zo základnej monitorovacej siete poľnohospodárskych pôd Slovenska, ktorá zahŕňa svojimi monitorovacími lokalitami aj hodnotené územie. Aktuálny stav vybraných vlastností pôd je uvedený v tabuľke 2.

Tab. 2 Aktuálny stav základných vlastností pôd na monitorovacích lokalitách

Lokalita (pôda) vlastnosti	Reľov (KMm)	Jezerko (KMm)	Osturňa (KMg)	Spišská Stará Ves (KMa)	Červený Kláštor (FMa)
pH/KCl	3,62	4,16	4,21	5,01	5,99
Cox (%)	4,02	3,97	2,81	2,15	2,35
P (mg.kg ⁻¹)	3,50	3,07	3,72	119,00	158,00
K (mg.kg ⁻¹)	104,00	189,00	234,00	147,00	171,00

KMm – kambizem modálna, KMg – kambizem pseudoglejová, KMa – kambizem kultizemná, FMa – fluvizem kultizemná, prístupné makroživiny P a K (Mehlich III.), Cox – organický uhlík

Jedná sa prevažne o kambizeme modálne až kultizemné, ktoré sú najrozšírenejším pôdnym predstaviteľom hodnoteného územia, menej fluvizeme, ktoré sú lokalizované najmä pozdĺž rieky Dunajec a jeho prítokov.

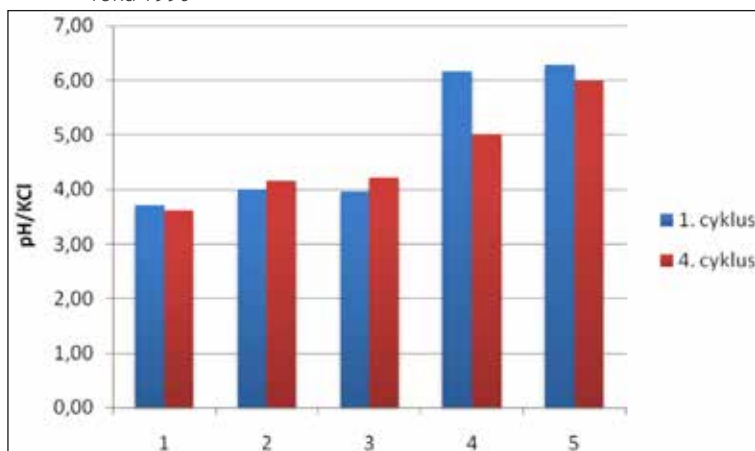
Na základe nami dosiahnutých výsledkov (Tab. 2) sa jedná o pôdy prevažne veľmi kyslé (pH/KCl < 5,5), čo je podmienené kyslým pôdotvorným substrátom (paleogénny flyš, ktorý je tu reprezentovaný súvrstviami pieskovcov a ílovcov). Napokon aj v minulosti sa tu jednalo prevažne o extenzívne pozemky, kde sa len minimálne, alebo vôbec nevápnilo. Obsah organického uhlíka (Cox) sa tu pohybuje priemerne v rozpätí 2 – 4 %, jedná sa prevažne o pôdy pod

trvalými trávnymi porastami. Napokon aj niektoré pôdy, ktoré sa v nedávnej minulosti ešte orali (lokality Spišská Stará Ves a Červený Kláštor) sú v súčasnosti už zatrávnené. Najvyššiu hodnotu Cox zo sledovaných lokalít sme zistili na lokalite Rešov (hrebeň Spišskej Magury – 944 m.n.m.)

Obsah prístupných živín – fosforu a draslíka zodpovedá ich prirodzenej nízkej zásobenosti v poľnohospodárskych pôdach na daných pôdotvorných substrátoch. Najmä obsah prístupného fosforu je veľmi nízky, len na pôdach, ktoré sa v nedávnej minulosti orali (lokality Spišská Stará Ves a Červený Kláštor) je jeho obsah dobrý až vysoký. Obsah prístupného draslíka sa tu pohybuje v rozpätí 104 – 234 mg. kg⁻¹, čo je obsah nízky až vyhovujúci (KOBZA, GÁBORÍK, 2008).

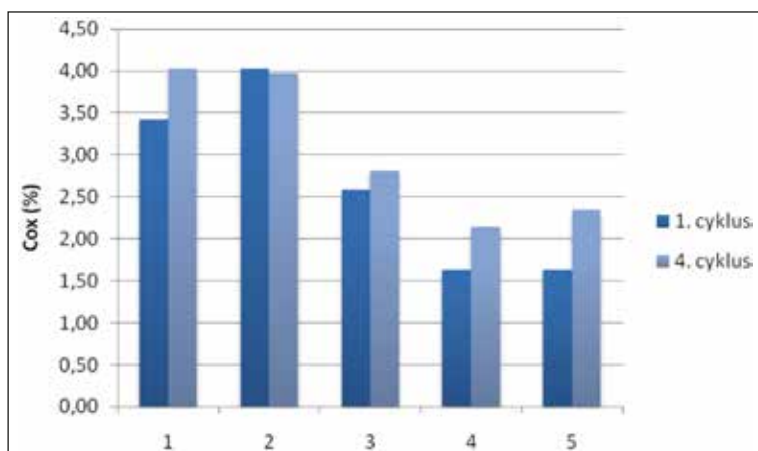
Keďže po zmenených spoločensko-ekonomických podmienkach po roku 1990 sme začali realizovať (od roku 1993) komplexný monitoring poľnohospodárskych pôd Slovenska, v nasledovnej časti uvádzame vývoj základných vlastností pôd od uvedeného obdobia po súčasnosť (Obr. 13 – 16).

Obr. 13 Vývoj pôdnej reakcie (pH/KCl) v poľnohospodárskych pôdach po roku 1990



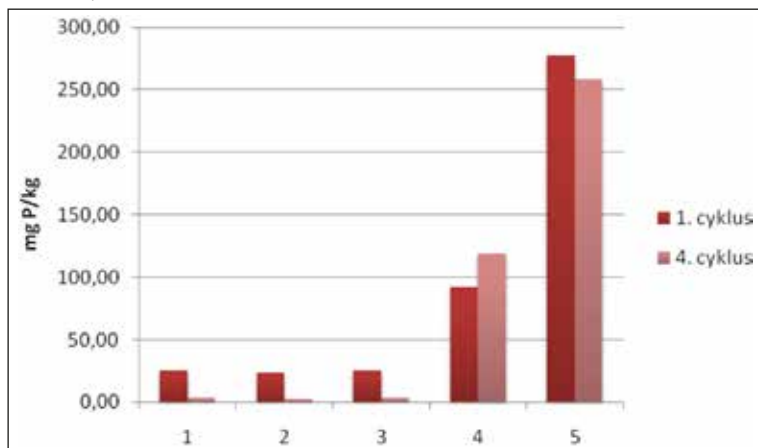
1 – Rešov (KMm), 2 – Jezersko (KMm), 3 – Osturňa (KMm), 4 – Spišská Stará Ves (KMa), 5 – Červený Kláštor (FMa)

Obr. 14 Vývoj organického uhlíka (Cox) v poľnohospodárskych pôdach po roku 1990



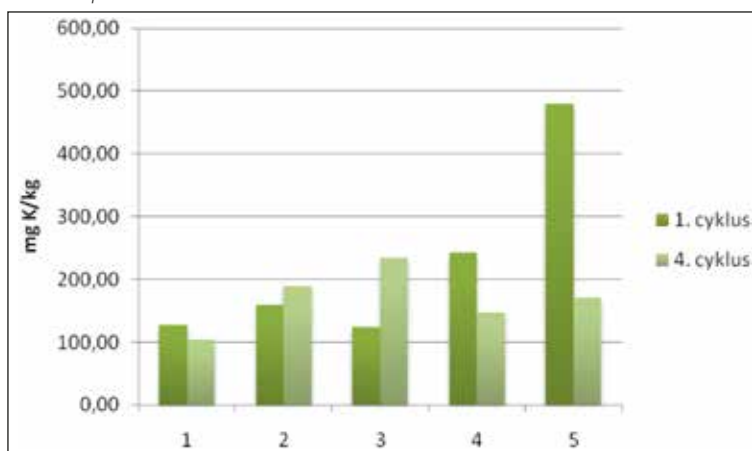
1 – Reľov (KMm), 2 – Jezersko (KMm), 3 – Osturňa (KMm), 4 – Spišská Stará Ves (KMa), 5 – Červený Kláštor (FMa)

Obr. 15 Vývoj obsahu prístupného fosforu v poľnohospodárskych pôdach po roku 1990



1 – Reľov (KMm), 2 – Jezersko (KMm), 3 – Osturňa (KMm), 4 – Spišská Stará Ves (KMa), 5 – Červený Kláštor (FMa)

Obr. 16 Vývoj obsahu prístupného draslíka v poľnohospodárskych pôdach po roku 1990



1 – Relov (KMm), 2 – Jezersko (KMm), 3 – Osturňa (KMm), 4 – Spišská Stará Ves (KMa), 5 – Červený Kláštor (FMa)

Vývoj pôdnej reakcie (Obr. 13) sa pohybuje v rozpätí prirodzenej variability. Výraznejšie zníženie hodnôt pH bolo len na lokalite Spišská Stará Ves (v minulosti intenzívne využívaná orná pôda družstevným sektorom, kde zrejme dochádzalo aj k vápneniu, v súčasnosti už zatrávnený a zaburinený pozemok).

Vývoj obsahu organického uhlíka (Obr. 14) je relevantný pôdam pod trvalými trávnyimi porastami prevažne s jeho miernym nárastom, čo súvisí s výraznejším prekorenением a postupným nárastom pôdnej organickej hmoty. Opticky výraznejší nárast Cox sa prejavuje na pôdach, ktoré sa v minulosti orali a v súčasnosti sa jedná prevažne o opustené a zaburinené pozemky (lokality Spišská Stará Ves a Červený Kláštor).

Poľnohospodárske pôdy daného regiónu sa ani v minulosti intenzívne nehnojili priemyselnými hnojivami (prevažoval súkromný sektor), čomu zodpovedá aj celkovo nízky obsah prístupných živín – fosforu a draslíka. Za sledované obdobie má obsah prístupných živín prevažne klesajúcu tendenciu a zodpovedá súčasnej úrovni využívania pôd a poľnohospodárskej krajiny Pienin a Zamaguria.

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že zistené aktuálne vlastnosti pôd zodpovedajú prirodzenej charakteristike tu rozšírených pôd, pričom ani v časovom horizonte po roku 1990 tu nedošlo k ich výraznejším zmenám. Je to napokon logické, pretože daná oblasť nebola ani v minulosti výraznejšie postihnutá kolektivizáciou (dominantný tu bol stále súkromný sektor). Súčasný fenomény poľnohospodárskej krajiny Pienin a Zamaguria sa

prejavujú skôr v smere jej pustnutia vplyvom stárnutia obyvateľstva a odlivom mladých ľudí do iných oblastí, keďže tu nenachádzajú zamestnanie. Zraniteľnosť poľnohospodárskej krajiny sa prejavuje v možnosti častého výskytu zosuvov najmä po intenzívnych privalových dažďoch v poslednom období, pričom i tohto roku (2013) bolo výrazne postihnuté Jezersko (Obr. 2) limitované geologickým podložím flyša (bridlice a lavice ílovcov a pieskocov), ako aj svahovitou, pričom s jej väčším sklonom sú takéto pôdy náchylnejšie na eróziu a zosuvy, a to aj na pôdach pod trvalými trávnyimi porastami, najmä keď dochádza k ich deštrukcii ťažkými mechanizmami (napr. pri zväžaní dreva), ale aj intenzívnym spásaním ovcami a mladým hovädzím dobytkom.

LITERATÚRA

- KOBZA, J. 1999. *Environmental properties of soil cover in the Pieniny National Park*. Króscienko n/D, Poland. In: Proceedings: Badania Naukowe v Pieninach '99. Przewodnik po sesji posterowej, s. 5–6.
- KOBZA, J. 2002. *Environmental properties of soils in the Pieniny National Park of Slovakia*. In: Zborník ref. Pieniny – przyroda i czlowiek. Pieninski Park Narodowy, Kroskienko n. Dunajcem, Poland, 7:97–98, 2002, ISSN 1230–4751.
- KOBZA, J., GÁBORÍK, Š. 2008. *Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 2008. 58 s. ISBN 978–80-89128–47-1.
- KOBZA, J., BARANČIKOVÁ, G., ČUMOVÁ, L., DODOK, R., HRIVŇÁKOVÁ, K., MAKOVNÍKOVÁ, J., NÁČINIÁKOVÁ – BEZÁKOVÁ, Z., PÁLKA, B., PAVLENDÁ, P., SCHLOSSEROVÁ, J., 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: VÚPOP, 2009. 200 s. ISBN 978–80-89128–54-9.
- KOLEKTÍV, 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VÚPOP, 2011. 136 s. ISBN 978–80-89128–89-1.
- LINKEŠ, V., KOBZA, J., MAKOVNÍKOVÁ, J. 1997. *Kontaminácia pôd Pieninského národného parku*. Červený Kláštor, 9–11.6. 1997. Zborník ref. Príroda Pienin v premenách. Monograf. štúdiá, s. 32–37.
- ŠÁLY, R., SOBOCKÁ, J., ŠURINA, B. a iní 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. (Morphogenetic soil classification system of Slovakia). Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava: VÚPOP, 2000. 76 s. ISBN 80–85361-70–1.
- Vološčuk, I. a iní 1992. *Pieninský národný park*. Monografia. Vyd. AKCENT press service Banská Bystrica pre Správu TANAP-u v Tatranskej Lomnici. 382 s. ISBN 80–900447-5–1.

ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA ALGINITU

BASIC CHARACTERISTIC OF ALGINIT

Tadeáš LITAVEC, Gabriela BARANČÍKOVÁ

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Prešov, Raymannova 1, 08001 Prešov, e-mail: t.litavec@vupop.sk

Abstrakt

Alginit¹ je prírodná organicko-minerálna hornina, ktorá vo všetkých ohľadoch spĺňa nároky čistého, revitalizačného materiálu. Disponuje vynikajúcimi sorpčnými vlastnosťami, má vysoký obsah živín, značný obsah organického uhlíka a je netoxický. V článku je uvedená základná charakteristika ložiska alginitu a stanovené vybrané chemické parametre (pH, % organického uhlíka, uhličitanov a celkový dusík). Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať značnú heterogenitu obsahu organického uhlíka a celkového dusíka ložiska alginitu. Ďalšia podrobná charakteristika alginitu, potvrdzuje pomerne vysoké zastúpenie biogénnych (N, P, K, Ca, Mg), ale aj stopových (Cu, Mn) prvkov a nízke koncentrácie ťažkých kovov. Napriek relatívne značnému množstvu organického uhlíka (OC = 5,5%), alginit obsahuje pomerne málo humifikovanej organickej hmoty. V jeho frakčnom zložení prevládajú fulvokyseliny (FK) nad humínovými kyselinami (HK), čo indikuje nízka hodnota pomeru uhlíka HK a FK ($C_{HK}/C_{FK} = 0,47$). Prevládanie alifatických reťazcov nad aromatickými, v chemickej štruktúre humifikovanej organickej hmoty alginitu, indikuje aj vysoká hodnota optického parametra ($Q_6^4 = 6,8$). Je to jasne viditeľné z ¹³C NMR spektra izolovanej HK a potvrdzuje to aj nízky humifikačný stupeň ($\alpha = 24,5\%$) organickej hmoty alginitu.

Kľúčové slová: alginit, organická hmota, sorpcia, živiny

Abstract

Alginit is natural organo-mineral substance, which in all respects meets the demands of clean and environmentally friendly revitalization material. This non-toxic material has excellent sorption properties, high nutrients content and considerable amount of organic carbon. The article gives a basic characteristic of alginit deposit and selected chemical parameters (pH, organic carbon, nitrogen and carbonate content) were determined. On the base obtained results it can be concluded considerable heterogeneity of organic carbon and nitrogen content of alginit deposit. Detail characteristic of alginit sample confirms relatively high amount of (N, P, K, Ca, Mg) nutrients, trace elements (Cu, Mn) and low content of heavy metals. Despite of relatively high amount of organic carbon (OC = 5.5%), alginit contents relatively small amount of humificated organic matter. In alginit fractional composition of organic matter higher amount of fulvic acids (FA) in comparison to humic acids (HA) was found. This statement confirms low value of HA and FA ratio ($CHA/CFA = 0.47$). Higher content of aliphatic and lower content of

¹Názov je odvodený od fosílnnej riasy (lat. *Algae*).

aromatic chains in chemical structure of alginite organic matter indicates also high value of optical parameter ($Q_6^4 = 6.8$). This is clear from ^{13}C NMR spektrum of isolated humic acid and it is confirmed also by low humification degree ($\alpha = 24.5\%$) of alginite organic matter.

Key words: alginite, organic matter, sorption, nutrients

ÚVOD

Intenzifikácia poľnohospodárstva a využívanie ťažkej techniky postupne poškodili granulovú štruktúru pôdy a jej sorpčné schopnosti. Menšia pórovitosť a zhutňovanie sa tak výraznou mierou podieľajú na zhoršenej pufrovacej schopnosti pôdy, látkovej premene, či filtrácii a detoxikácii. Poškodená pôda má problém hospodáriť s vodou v čase, keď ku koncu tohto storočia sa očakáva ďalší pokles priemerného ročného úhrnu zrážok (TAKÁČ a iní, 2010).

V súvislosti s celkovou chemizáciou životného prostredia sa do pôdy dostávajú chemikálie, u ktorých celkom dobre nepoznáme dlhodobé účinky, ani spôsob ich odbúravania. Prírodné zdroje sú navyše kontaminované exhalátmi a vedľajšími produktmi priemyselnej výroby.

Ani zásoba a kvalita humusu v pôde nie je uspokojivá. Je to samozrejme tiež dôsledok intenzifikácie poľnohospodárskej výroby. Výrazne straty organického uhlíka v pôde predstavujú vážnu hrozbu pre krajiny EÚ (BARANČÍKOVÁ a iní, 2009). Nahradiť tento úbytok nie je jednoduché. Primárne zdroje humusotvorného materiálu ako sú pozberové a koreňové zvyšky, slama, zelená fytomasa, či priemyselné komposty nepostačujú. Maštalný hnoj a hnojovica zasa chýbajú kvôli klesajúcemu objemu živočíšnej výroby. Revitalizovať poškodenú pôdu rýchlo a bez škodlivých následkov nie je jednoduché. Nádejou do budúcnosti sa ukazuje implementácia vhodných prírodných materiálov, ktoré sú netoxické, nedevasťčné a ich účinok sa prejaví takmer okamžite po aplikácii. Jedným z takých materiálov je Alginit.

Ide o sivú až sivo-čiernu organicko-minerálnu vrstevnatú horninu, ktorá vznikala zhruba pred šiestimi miliónmi rokov z fosílnych rias v priestore dnešnej Panónskej panvy. More ustúpilo v dôsledku celkového zdvihu Karpát a v oblasti prebiehala freatomagmatická vulkanická činnosť. Explózie rodiacich sa sopiek vytvárali sopečné krátery kruhového, alebo eliptického tvaru. Niektoré z nich zamrzli a vznikli tak široké, no zároveň plytké krátery – maary², obkolesené tufitickým valom – maarovým ringom. Po skončení vulkanickej činnosti boli maary zaplnené pravdepodobne meteorickou vodou. Tufové valy boli rozrušované oxidáciou a jemný erodovaný materiál postupne sedimentoval na dno. Súčasne s tým teplá voda s rozpustenými minerálmi vytvárala ideálne podmienky pre rozmnožovanie a rast prevažne žltozelených rias *Botryococcus braunii* Kütz., s vysokým obsahom tuku a oleja (VASS a iní, 1997). Riasy sa rozmnožovali blízko hladiny, v zóne bohatej na kyslík a snečné žiarenie. Odumreté zvyšky klesali na dno, kde bol chlad a anaerobné podmienky. Biologicky neaktívne prostredie spôsobené deficitom kyslíka a studenou vodou pri dne, zabránili biodegradácii organického materiálu. Nerozložené zvyšky

²Široký, no plytký sopečný kráter, ktorý vzniká freatomagmatickou erupciou pri styku spodnej vody s magmou.

sa akumulovali v podobe sapropelu³ s pelitom⁴ a fosilizáciou vytvárali alginít. Úsad organickej hmoty sa postupne spomaľoval a íl s bohatým zastúpením kaolinitu zapríčínal celú depresiu. Nakoniec maarové jazero zaniklo.

Názov alginít pôvodne patril petrografickej zložke uhlia, tvorenej zvyškami rias, no v 70. rokoch minulého storočia maďarskí autori použili tento názov na označenie laminovanej horniny s lupeňovitým rozpadom (BELÁČEK, 2006).

Alginít je prírodný produkt z kategórie horľavých bridlíc. Má vynikajúce sorpčné vlastnosti a vo všetkých ohľadoch spĺňa nároky čistého, revitalizačného materiálu (VASS a iní, 1997). Z uvedených dôvodov môže byť priamo využívaný v rôznych odvetviach poľnohospodárstva.

Cieľom tohto článku je charakteristika ložiska alginítu a podrobná fyzikálno-chemická charakteristika vzorky alginítu.

MATERIÁL A METÓDY

Vzorky alginítu, ktoré sme mali k dispozícii, boli odobraté z ložiska, ktoré sa nachádza pri obci Pinciná v okrese Poltár (Obr. 1). Má eliptický tvar s plochou 760 × 930 m. Hrúbka alginítu v centre maaru je 45 m (VASS, 1998). Ložisko umožňuje povrchovú ťažbu, čo významne znižuje cenu suroviny a ponúka široké možnosti jej využitia.

Obr. 1 Topografická mapa s lokalizáciou odberových miest ložiska alginítu



³ Organické bahno z rozkladu odumretých vodných organizmov v anaeróbných podmienkach.

⁴ Jemnozrnný klastický sediment, ktorého hlavnou zložkou je ílová frakcia.

Tab. 1 Súradnice odberových miest

Odberové miesto	x	y
VPA-8	-374 518.03	-1 272 762.68
VPA-9	-374 479.32	-1 272 729.50
VPA-10	-374 479.89	-1 272 800.02
VPA-11	-374 443.19	-1 272 769.27
VPA-12	-374 404.61	-1 272 741.57

Odberové miesta boli lokalizované v strede ložiska. GPS súradnice vrtov sú uvedené v súradnicovom systéme S-JTSK Krovak East North (Tab. 1). Vzdialenosť medzi odberovými miestami 8 a 9, resp. 10 a 11, či 11 a 12 je 50 m. Vzdialenosť medzi odberovými miestami 8 a 12 je 115 m. Na všetkých odberových miestach boli zrealizované odbery vo viacerých hĺbkach. Najplytší odber bol na odberovom mieste 9 v hĺbke 3 m a najhlbší na odberovom mieste 12 v hĺbke 17 m. Vo vzorkách odobraných zo všetkých odberových miest bol stanovený organický uhlík – OC (%), celkový dusík – Nt (%), uhličitany (%) a pH/KCl (Tab. 2).

Vo vzorke alginitu z ťažobnej haldy, ktorá nám bola poskytnutá pre ďalšie analýzy, boli stanovené základné fyzikálne parametre (merná hmotnosť – MH (g/cm^3), objemová hmotnosť – OH (g/cm^3), zrnitostné frakcie (%), pórovitosť – PO (%) a kapilárna nasiakavosť – KN (%)) a chemické parametre (organický uhlík – OC (%), celkový dusík – Nt (%), fosfor – P (%), draslík – K (%), vápnik – Ca (%), horčík – Mg (%), mangán – Mn (%), meď – Cu (%), ortuť – Hg (%), kadmium – Cd (%), arzén – As (%), olovo – Pb (%), chróm – Cr (%), kobalt – Co (%) a nikel – Ni (%)). Z alginitu bola izolovaná humínová kyselina a stanovené jej základné chemické charakteristiky (elementárne zloženie, karboxylová kyslosť – COOH, optický parameter – Q_6^4 a ^{13}C NMR spektrá). Pracovné postupy všetkých realizovaných analýz sú uvedené v publikácii Jednotné pracovné postupy rozborov pôd (KOBZA a iní, 2011).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Charakteristika ložiska alginitu

Alginit je ílovitá hornina, v ktorej sa striedajú tmavé bituminózne⁵ laminy so svetlými diatomitickými⁶ (Obr. 2). Podrvený alginit je vizuálne výrazne svetlejší (Obr. 3). Medzi laminami sa zvyknú nachádzať otlaky rastlín, živočíchov, alebo ich skameneliny. Vrchná časť pri styku so vzduchom zvetráva do hnedých odtieňov. Charakteristická laminovaná štruktúra prezrádza, že sedimentácia v maeroch bývala sezónna. Striedali sa vrstvy bohatšie a chudobnejšie na organickú hmotu, v závislosti od ročných období a vonkajších podmienok (SOLTI, 1987).

Základné stanovené parametre (organický uhlík – OC (%), celkový dusík – Nt (%), uhličitany – CaCO_3 (%) a pH/KCl) potvrdzujú už doteraz publikované údaje (VASS a iní, 1997). Rozptyl hodnôt spôsobuje pomerne veľká horizontálna, ale i vertikálna variabilita ložiska.

⁵ Živičný

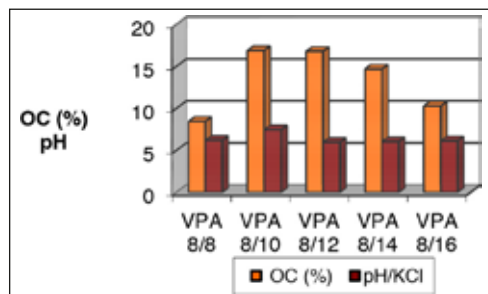
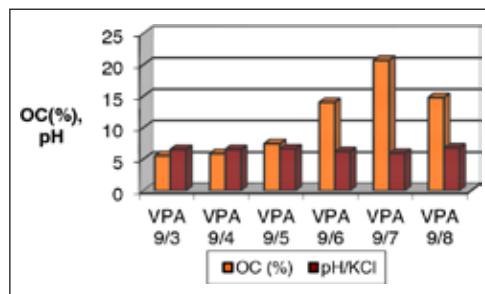
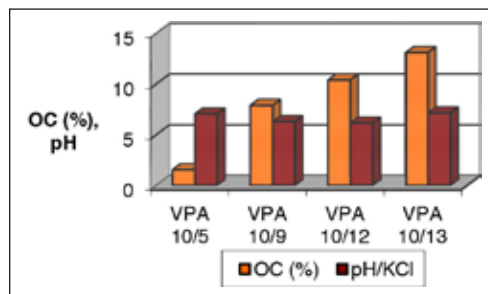
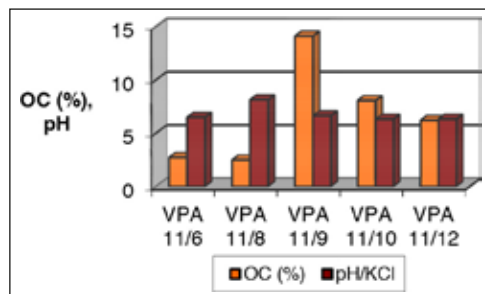
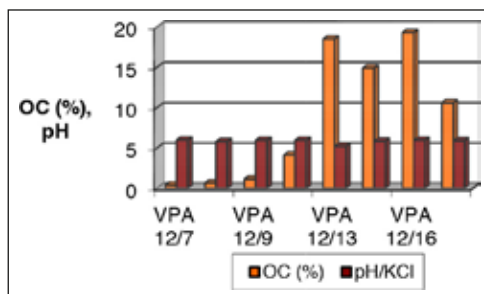
⁶ Í obsahujúci opálové panciere rozsievok (diatomicef).

Obr. 2 Odlomený kus alginitu z ložiska**Obr. 3** Podrvený alginit**Tab. 2** Rozpätie nameraných hodnôt na jednotlivých odberových miestach

Odberové miesto	OC (%)	Nt (%)	uhlíčitany (%)	pH/KCl
VPA-8	8,46 – 16,90	0,338 – 0,587	0,00 – 6,00	5,98 – 7,46
VPA-9	5,56 – 20,70	0,219 – 0,698	0,00 – 0,50	5,92 – 6,77
VPA-10	1,56 – 13,10	0,134 – 0,423	0,00 – 4,00	6,17 – 7,15
VPA-11	2,49 – 14,10	0,115 – 0,398	0,00 – 38,00	6,32 – 8,13
VPA-12	0,64 – 18,50	0,056 – 0,594	0,00 – 0,05	5,20 – 5,97

Pomerne vysoké koncentrácie OC boli zistené na odberovom mieste 8 v hĺbke 12 – 14 m (Obr. 4), ale aj na odberovom mieste 12, v hĺbke 13 – 15 m (Obr. 8). Najvyššia koncentrácia organického uhlíka bola zistená na odberovom mieste 9 v hĺbke 7 m (Obr. 5). Relatívne najnižšie koncentrácie organického uhlíka (<15 %) boli zistené na odberových miestach 10 a 11 (Obr. 6, 7) a v horných 10 m lokality 12 (Obr. 8). Koncentrácie celkového dusíka boli v signifikantnej závislosti od organického uhlíka, čo potvrdzuje aj korelačný koeficient $R = 0,98^{**}$ ($n = 29$). Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať značnú heterogenitu obsahu organického uhlíka aj celkového dusíka ložiska alginitu, pričom najvyššie koncentrácie OC sa nachádzali v hĺbkach 12 – 16 m. Zistené hodnoty organického uhlíka sú v súlade s publikovanými údajmi (KULICH a iní 2001). Hodnoty pH sa na všetkých odberových miestach pohybovali v rozmedzí 5,5 – 7,2, čo indikuje slabo kyslú až neutrálnu reakciu alginitu. Iba v prípade odberového miesta 11 v hĺbke 8 m (Obr. 7) bola zistená slabo zásaditá reakcia alginitu (hodnota pH = 8,13), so značne vysokou koncentráciou anorganického uhlíka 4,6 %.

Vzorka alginitu z ťažobnej haldy mala prirodzenú 28 % vlhkosť stanovenú pri 105 °C. Jej merná ale aj objemová hmotnosť sú pomerne nízke a potvrdzujú hodnoty už uvádzané v literatúre (VASS a iní, 1997). Rovnako pomerne vysoké hodnoty pórovitosti (PO) a kapilárnej nasakavosti (KN) korešpondujú s doteraz publikovanými výsledkami (Tab. 3).

Obr. 4 Koncentrácia OC (%) a pH na odberovom mieste 8**Obr. 5** Koncentrácia OC (%) a pH na odberovom mieste 9**Obr. 6** Koncentrácia OC (%) a pH na odberovom mieste 10**Obr. 7** Koncentrácia OC (%) a pH na odberovom mieste 11**Obr. 8** Koncentrácia OC (%) a pH na odberovom mieste 12**Tab. 3** Základné fyzikálne charakteristiky alginitu

MH (g/cm ³)	OH (g/cm ³)	<0,002 mm (%)	<0,01 mm (%)	0,01-0,05 mm (%)	0,05–0,1 mm (%)	0,1–2 mm (%)	PO (%)	KN (%)
2,46	0,95	18,64	47,29	27,94	5,97	18,8	64,9	65,4

Zmeraná hodnota organického uhlíka predstavuje 5,5% a celkového dusíka 0,309% (3090 mg/kg), v sušine alginitu. Ako je možné vidieť v tabuľke 4, alginit obsahuje aj pomerne vysoké zastúpenie biogénnych (N, P, K, Ca, Mg) a stopových prvkov (Cu, Mn). Naopak koncentrácie ťažkých kovov sú nízke (Tab. 5).

Tab. 4 Zastúpenie biogénnych a stopových prvkov (%)

Nt	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu
0,309	0,044	0,155	0,6889	0,7157	0,0448	0,00343

Tab. 5 Koncentrácia rizikových prvkov (%)

Hg	Cd	As	Pb	Cr	Co	Ni
0,0000122	0,0000197	0,000614	0,000644	0,00676	0,00256	0,0105

Napriek pomerne značnému množstvu organického uhlíka v alginite, obsah humifikovanej organickej hmoty (HL) je nízky. Prevažuje v nej kerogén II. typu, riasového pôvodu (Vass, 1998). Vo frakčnom zložení humifikovanej organickej hmoty prevládajú fulvokyseliny (FK) nad humínovými kyselinami (HK), čo naznačuje aj nízka hodnota pomeru uhlíka HK a FK. Prevládanie alifatických štruktúr nad aromatickými, v chemickej štruktúre humifikovanej organickej hmoty, indikuje vysoká hodnota optického parametra Q_6^4 (Tab. 6).

Tab. 6 Koncentrácia organického uhlíka (%) a frakčné zloženie organickej hmoty

OC	C/N	HL	HK	FK	C_{HK}/C_{FK}	Q_6^4
5,5	17,9	0,69	0,22	0,47	0,47	6,8

Tab. 7 Elementárne zloženie HK (atómové %), optický parameter $E_6^{1\%}$ a COOH (meq/1g HK)

C	H	N	O	H/C	$E_6^{1\%}$	COOH
35,36	42,75	1,9	19,9	1,209	3,9	2,29

Elementárne zloženie humínovej kyseliny izolovanej z alginitu je charakteristické nízkym zastúpením uhlíka, vysokým obsahom vodíka a teda vysokou hodnotou pomeru H/C v porovnaní s hodnotami lignitu, resp. poľnohospodárskych pôd (BARANČIKOVÁ a kol., 2003). V súlade s elementárnym zložením sú nízke aj hodnoty optického parametra $E_6^{1\%}$ a uhlíka karboxylových skupín (COOH), čo taktiež potvrdzuje nízky stupeň humifikácie organickej hmoty alginitu (Tab. 7).

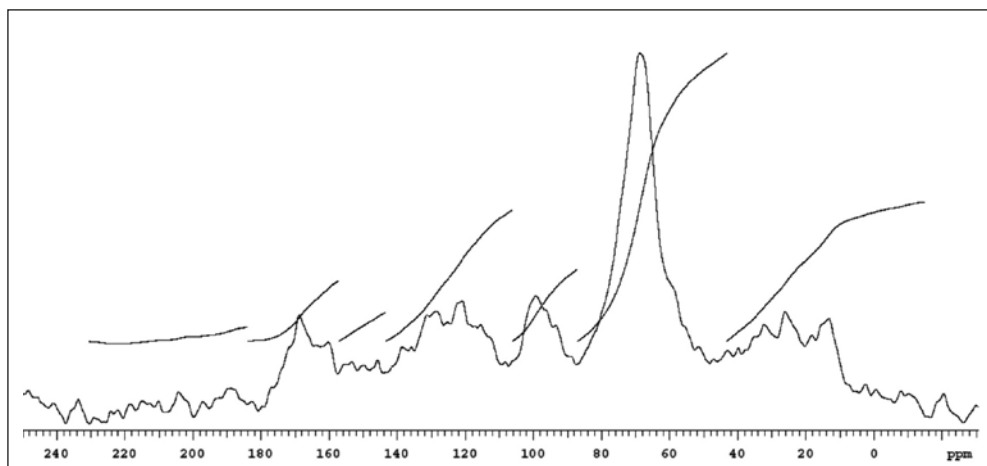
Tab. 8 Rozdelenie oblastí ^{13}C NMR spektra

Číslo oblasti	Spektrálna oblasť (ppm)	Typ uhlíka
1. oblasť	230 – 184	karbonyly v keto a aldehydových skupinách
2. oblasť	184 – 157	karboxyly v kyselinách a esteroch
3. oblasť	157 – 143	aromatické uhlíky s väzbou C-O
4. oblasť	143 – 106	aromatické a olefinické uhlíky s väzbou C-C, C-H
5. oblasť	106 – 87	anomérne uhlíky
6. oblasť	87 – 43	sp^3 uhlíky s väzbou C-O, C-N
7. oblasť	43 – 15	sp^3 uhlíky s väzbou C-C

Tab. 9 ^{13}C NMR spektra HK alginitu

1. oblasť	2. oblasť	3. oblasť	4. oblasť	5. oblasť	6. oblasť	7. oblasť	C_{alif}^7	C_{ar}^8	α
1,95	8,12	3,96	17,88	9,27	39,27	18,95	67,49	21,84	24,5
(stupeň aromaticity: % aromaticity = (Car/(Car + Calif)) × 100)									

Prevládanie alifatických štruktúr nad aromatickými je jasne viditeľné aj z ^{13}C NMR spektra HK (Obr. 9). Rozdelenie oblastí ^{13}C NMR spektra je uvedené v tabuľke 8 a percentuálne zastúpenie jednotlivých typov organického uhlíka v tabuľke 9. Hodnoty vypočítané z ^{13}C NMR spektra HK a predovšetkým vysoká intenzita piky charakterizujúceho sp^3 uhlíky s väzbou C-O, naznačujú vysoké zastúpenie polysacharidov a ďalších uhľovodíkov z pôvodného rastlinného materiálu, ktorý nie je úplne rozložený (GEORGAKOPOULOS, 2003).

Obr. 9 ^{13}C NMR spektra HK izolovanej z alginitu

Využitie alginitu

Alginit je prírodná, netoxická, chemicky neutrálna organicko-minerálna hornina, bohatá na živiny s vysokou sorpčnou schopnosťou, veľkým merným povrchom a nízkou mernou hmotnosťou. Tieto vlastnosti ho priam predurčujú pre využitie v poľnohospodárstve. Alginit aplikovaný do pôdy je schopný zadržiavať vodu a v nej rozpustené živiny, ktoré v období zrážkového deficitu postupne uvoľňuje koreňom rastlín (BELÁČEK, 2006). Rastliny pestované na pôdach upravených alginitom lepšie znášajú nedostatok vlahy. Alginit je zvlášť vhodný pre pôdy ľahké a piesčité. Je dokonca overené, že pridaním len 10 % alginitu do piesku sa získa úrodný substrát (VASS a iní, 1997). Alginit sa môže aplikovať hneď po vyťažení, bez chemickej úpravy. Je to čistá prírodná surovina, ktorá vďaka svojim inertným vlastnostiam nepoškodzuje pôdu ani životné prostredie. Služiť môže aj ako prímies do iných prírodných surovín ako sú zeolity, či rašelina (SOLTI, 1987). Ako výborný sorbent môže dokonca napomáhať pri odbúravaní rastlinám prístupných foriem toxických látok a ťažkých kovov zo zdevastovaných pôd (VASS a iní, 1997), pričom sám je netoxický.

Na Slovensku platia tri zákony, ktoré regulujú implementáciu látok do pôdy. Je to zákon 188/2003 Z.z. o aplikácii čistiarenskeho kalu a dnových sedimentov do pôdy, jeho novela 223/2001 Z.z., ktorá mení a dopĺňa zákon 188/2003 Z. z. a zákon 203/2009 Z.z. o odpadoch. V konečnom dôsledku po aplikácii nesmie byť porušený ani zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy 220/2004 Z.z. a Smernica rady Európy 86/278/EHS o ochrane životného prostredia, predovšetkým pôdy. Pôdnym kondicionérom teda nemôže byť látka, ktorá sama obsahuje rizikové prvky nad limitom zákona 188/2003 Z.z. Alginít neprevyšuje ani jednu z vymedzených hodnôt (Tab. 5, 10).

Tab. 9 Medzné hodnoty koncentrácie prvkov v zákone 188/2003 Z. z. (%)

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
0,002	0,001	0,1	0,1	0,001	0,03	0,075	0,25

Alginít aplikovaný do pôdy skvalitní granulovú štruktúru, pomáha pri regenerácii humusu a zabraňuje zhutňovaniu a vysúšaniu pôdy (BELÁČEK, 2006).

Okrem využitia alginítu ako zlepšovača pôdy sa hľadajú aj ďalšie možnosti aplikácií. V súčasnosti spolupracujeme na projekte APVV-0199-11: Využitie alginítu na stabilizáciu a stimuláciu účinku probiotických biopřípravkov v medicíne a zdravej výžive. Projekt je zameraný na štúdium využitia alginítu a jeho humínových extraktov na stabilizáciu prospešných mikroorganizmov a pre potreby vývoja nových aplikačných foriem prospešných mikroorganizmov. Snahou je využiť naturálne látky z prirodzeného prostredia v medicíne a zdravej výžive, na stabilizáciu a stimuláciu účinku probiotických prípravkov. Divo žijúce zvieratá tieto látky často konzumujú ako prímies v potrave. Alginít má prirodzenú vlhkosť, plasticitu, relatívne nízku hmotnosť a vysokú pórovitosť. Tieto vlastnosti by mohli byť využité práve pri kultivácii prospešných mikroorganizmov tak, že alginít a jeho humínové kyseliny (HK) budú tvoriť základný skelet pre „solid state“ fermentáciu.

ZÁVER

Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať značnú heterogenitu zásob organického uhlíka a celkového dusíka v ložisku alginítu. Napriek relatívne značnému množstvu organického uhlíka (OC = 5,5 %), alginít obsahuje pomerne málo humifikovanej organickej hmoty. V izolovaných HK bola potvrdená prevaha alifatických štruktúr nad aromatickými. Na základe získaných výsledkov sa domnievame, že alginít, ako aj HK z neho izolované, môžu byť úspešne využité pri stabilizácii prospešných mikroorganizmov.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0199-11.

LITERATÚRA

- BARANČÍKOVÁ G., HALAS J., PUSTÁ M. 2009. *Zmeny v obsahu pôdneho organického uhlíka na vybranom území flyšového pásma*. Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava, 31, s. 8-16.
- BARANČÍKOVÁ G., KLUČÁKOVÁ M., MADARAS M., MAKOVNÍKOVÁ M., PEKAŘ M. 2003. *Comparison of chemical structure of humic acids isolated from various soil types and lignite*. Humic Substances in the Environment, 1/2, s. 3-8.
- BELÁČEK B. 2006. *Možnosti využitia novej nerastnej suroviny – alginitu v lesnom hospodárstve*. [Ph.D. Thesis.] KPP TU vo Zvolene, Zvolen.
- GEORGAKOPOULOS A. 2003. *Aspects of solid state ¹³C CPMAS NMR spectroscopy in coals in the Balkan peninsula*. J. Serb. Chem. Soc, 8-9, s. 599-605.
- KOBZA J., BARANČÍKOVÁ G., BEZÁK P., BEZÁKOVÁ Z., DODOK R., GREČO V., HRIVŇÁKOVÁ K., CHLPÍK J., LIŠTJAK M., MAKOVNÍKOVÁ J., MALIŠ J., PÍŠ V., SCHLOSSEROVÁ J., SLÁVIK O., STYK J., ŠIRÁŇ M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava.
- KULICH J., VALKO J., OBERNAUER D. 2001. *Perspektíva využitia alginitu vo výžive rastlín*. Journal of Central European Agriculture, 2, s. 199-206.
- SOLTI G. 1987. *Az Alginit*. A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa. Budapest, s. 1-40.
- TAKÁČ J., NOVÁKOVÁ M., ŠÍŠKA B., MALATINSKÁ L. 2010. *Očakávané zmeny vodnej bilancie na Slovensku v dôsledku zmeny klímy podľa scenára SRES A1B*. Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava, 31, s. 187-201.
- VASS, D. 1998. *Ekonomický a ekologický význam nerudných surovín v bazaltových maarach na južnom Slovensku*. Acta Montanistica Slovaca, 1, s. 59-70.
- VASS D., KONEČNÝ V., ELEČKO M., MILIČKA J., SNOPOKOVÁ P., ŠUCHA V., KOZAČ J., ŠKRABANA R. 1997. *Alginit – nový zdroj Slovenského nerudného surovínového potenciálu (ložisko Pinciná)*. Mineralia Slovaca, 29, Bratislava, s. 1-39.
-

SÚČASNÝ STAV ERODOVANÝCH PŮD UKRAJINSKÝCH LESOSTEPÍ NA PRÍKLADE LOKALITY MITRIŠIN OVRAG

THE PRESENT STATE OF ERODED SOILS OF UKRAINIAN FOREST-STEPPE ZONE IN MITRISHIN OVRAG LOCALITY

Anatolij Lisnyak¹, Jozef Vilček², Stanislav Torma²

¹Ukrajinský vedecko-výskumný ústav lesného hospodárstva a agrolesomelióracií G. N. Vysockého, ul. Puškina 86, 61024 Charkov, Ukrajina, e-mail: laa.79@mail.ru

²Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne pracovisko Prešov, Slovensko

Abstrakt

V príspevku sú prezentované výsledky poľných sledovaní a analýz hodnotenia súčasného stavu erodovaných pôd v lokalite „Mitrishin ovrag“ v Dergačevskom rajóne Charkovskej oblasti na Ukrajine. Bolo zistené, že pôdny kryt sledovaného územia je tvorený zmesou erodovaných a akumulovaných pôd. Zároveň bolo dokázané, že na pôdach sledovanej lokality prebieha v súčasnosti relatívne nepretržitý proces ich tvorby bez aktívneho prejavu erózných procesov, čo je potvrdené výsledkami analytických stanovení zrnitosti zloženia pôd, hodnotami pôdnej kyslosti, celkového obsahu humusu, ako aj obsahu dusíka, fosforu a draslíka.

Kľúčové slová: erodované pôdy, zrnitostné zloženie pôdy, humus, hodnota pH

Abstract

In the paper are presented the results of field and analytical phases of present state evaluation of eroded soils in locality "Mitrishin ovrag" in Dergachevski rayon (Kharkiv region, Ukraine). It was found that soil cover in observed area is characterized as a mixture of both eroded and accumulated soils. It was established that the relative continuous process of soil creation without active erosion symptoms is flowing on the observed area. This was confirmed by results of analytical determination of soil texture, soil pH value, total humus content, as well as contents of nitrogen, phosphorus and potassium.

Keywords: eroded soils, soil texture, humus, pH value

ÚVOD

Intenzita erózných procesov a ich rozširovanie na stále väčšie územia spôsobuje významnú degradáciu pôd, čím dochádza k veľkým stratám nielen v rezorte pôdohospodárstva. Následkom účinkov erózie pôd sa znižuje ich úrodnosť, znižuje sa účinnosť aplikovaných hno-

jív, do riek a potokov sa vnáša veľké množstvo jemnozeme a v niektorých prípadoch hrozí aj značné znečistenie ciest. Eróziou sa degradujú a strácajú veľké plochy, ktoré sa menia z pôd úrodných na pôdy miestami až nevhodné na poľnohospodárske využívanie. Znamená to, že politika efektívnej ochrany pôd pred eróziou by mala byť prioritnou úlohou poľnohospodárov. Bez nej nebude možné v poľnohospodárstve dosiahnuť tzv. trvalú udržateľnosť. (GORDIENKO a iní, 2005, TIMCHENKO a iní, 2010).

Dôležitou súčasťou komplexu protieróznych opatrení sú lesomelioračné ochranné opatrenia pôdy. Lesným porastom je prisudzovaná dominantná úloha v regulovaní a zachovaní priaznivých parametrov životného prostredia. Základy budúcej efektivity ochranných lesných porastov sú položené už pri ich projektovaní (ŠTÁTNY CIELOVÝ PROGRAM, 2009, MIGUNOVA, 2007).

MATERIÁL A METÓDY

Štúdium kategórií erodovaných pôd sme realizovali v lokalite „Mitrišin ovrag“ v Dergačevskom rajóne Charkovskej oblasti na Ukrajine (približný stred lokality N 50°05'36", E 036°20'46") neďaleko mestečka Tsyrukun cca 15 km severovýchodne od mesta Charkov (Obr. 1). Tento pokus bol založený v roku 1962 ako modelový protierózny objekt v Charkovskej oblasti. V 60. rokoch minulého storočia boli na tomto území založené rôzne lesné porasty (TELEŠEK, 1963). Až do roku 1990 boli na tomto území realizované výskumy zamerané na eróziu pôdy. Po roku 1991 (po rozpade ZSSR) sa až do roku 2011 na tomto území neprevádzali prakticky žiadne sledovania, lokalita bola ponechaná v prirodzenom stave. Až v roku 2012 boli obnovené pokusy s cieľom stanoviť súčasný stav eróznej činnosti na daných územiach a na tomto základe definovať najefektívnejšie spôsoby boja proti odnosu pôdy.

Obr. 1 Lokalizácia pokusnej plochy „Mitrišin ovrag“ (Zdroj: Google Earth, upravené)

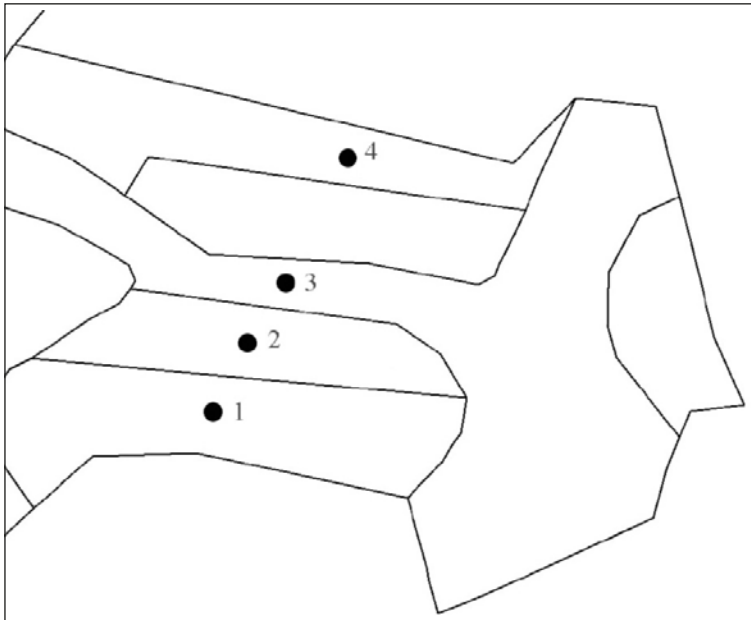


Sledovaná lokalita „Mitrišin ovrag“ je dávnym eróznym útvarom s dĺžkou cca 2,5 km. Jej povodie zaberá rozlohu viac ako 600 ha. Brehová časť (asi 120 ha) je nezalesnená, svah na brehoch dosahuje sklon 15–35° južnej a severnej expozície. Na východnej strane lokality sa rozprestierajú pozemky na relatívne prudkom svahu, pričom priemerné ročné straty ornice vplyvom vodnej erózie tu dosahovali pred zalesnením hodnoty 6,8 až 7,2 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Jemnozeme z daného územia v objeme 1200 m³ ročne bola odplavovaná do doliny rieky Charkov, kde spôsobovala škodu na cestách, obydliach, záhradách, ale aj lužnej krajine ako takej. Následne sa na svahu vybudovali terasy, ktoré výrazne znížili straty pôdy zo svahu. Tieto terasy boli následne zalesnené.

Cieľom našich sledovaní bolo stanovenie stavu lesných porastov, ich protieróznej efektívnosti a tiež zmeny vlastností erodovaných pôd, ako aj ich celkového produkčného potenciálu pod vplyvom lesných porastov. Výskumy boli založené podľa klasických metodík a metodických postupov pôdoznalectva, agrochémie, lesníctva, lesnej taxácie, typológie a matematickej štatistiky. Súčasne so štandardnými metódami pri realizácii poľných pokusov a inventarizácii lesných porastov bola využitá aj najnovšia meracia technika Field-Map. Prostredníctvom tejto techniky bol realizovaný výber siete pre odbery pôdnych vzoriek. Použitím GPS prístroja boli zamerané všetky nevyhnutné body na to, aby sa v reálnom čase (počas terénneho sledovania) dala zostrojiť mapa územia na monitore. S použitím laserového výškomeru bola stanovená aj svahovitosť územia. Pre potreby tohto príspevku sme zvolili iba časť uvedených výskumov, a to pedologické sledovania.

Počas našich sledovaní boli založené 4 pokusné plochy (Obr. 2).

Obr. 2 Schéma založenia pokusných plôch v sledovanej oblasti „Mitrišin ovrag“



- 1 – zóna vrchnej časti rokliny (N 50° 05' 33", E 036° 20' 43")
- 2 – zóna strednej časti rokliny (N 50° 05' 35", E 036° 20' 46")
- 3 – zóna spodnej časti rokliny – údolie (N 50° 05' 36", E 036° 20' 46")
- 4 – mierne svahovitá plocha naproti vrchnej časti rokliny (N 50° 05' 39", E 036° 20' 45").

Na každej pokusnej ploche bolo popísané zloženie stromov a krov, boli definované ich taxonomické charakteristiky, vykopané a popísané pôdne profily a bol vykonaný odber pôdnych vzoriek. Tento bol urobený z každého genetického horizontu pôd štyroch pôdnych profilov, ktoré boli vykopané v zóne vplyvu erózných procesov rôznej intenzity. Pôdne vzorky boli analyzované podľa bežných metodík (SOKOLOV (ed.), 1975, ARINUŠKINA, 1970, BALJUK (ed.), 2003, 2005).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na sledovanom území sa nachádzajú rôzne typy pôd: Na lokalitách č. 1 a 4 je to feozem albická na spraši (podľa WRB klasifikácie Phaeozem albic – PHab), na lokalite č. 3 feozem albická na svahových hlinách (podľa WRB klasifikácie Phaeozem albic – PHab) a na lokalite č. 2 albeluvisol haplický na spraši (podľa WRB klasifikácie Albeluvisol haplic – ABha). Pôdotvorný substrát pôd je na základe zrnitostného zloženia nasledovný: lokalita 1 – ílovito-hlinitý (obsah ílových častíc 53,26 – 53,66 %), lokalita 2 – hlinito-piesočnatý (obsah ílových častíc 13,15 – 16,33 %), lokalita 3 – hlinitý (obsah ílových častíc 42,24 %) a lokalita 4 – hlinitý (obsah ílových častíc 43,66 %).

Tab. 1 Zrnitostné zloženie sledovaných pôd

Lokalita	Hĺbka odberu (cm)	Obsah častíc (%)			Charakteristika pôdy podľa zrnitosti
		> 0,01 mm	< 0,01 mm	< 0,001 mm	
1	10–20	57,75	42,25	25,55	hlinitá
	50–60	51,71	48,29	36,63	ílovito-hlinitá
	70–80	51,07	48,93	36,23	ílovito-hlinitá
	95–100	46,74	53,26	36,9	ílovito-hlinitá
	110–130	46,34	53,66	35,97	ílovito-hlinitá
2	0–15	65,79	34,21	20,91	hlinitá
	25–35	78,24	21,76	19,12	hlinito-piesočnatá
	40–50	83,67	16,33	14,24	hlinito-piesočnatá
	60–70	84,06	15,94	15,58	hlinito-piesočnatá
	90–100	86,85	13,15	11,97	hlinito-piesočnatá
3	10–20	52,75	47,25	26,31	ílovito-hlinitá
	50–60	77,35	22,65	14,26	hlinito-piesočnatá
	70–80	60,59	39,41	24,29	hlinitá
	95–100	69,52	30,48	19,05	hlinitá
	110–130	57,76	42,24	27,89	hlinitá

Lokalita	Hĺbka odberu (cm)	Obsah častíc (%)			Charakteristika pôdy podľa zrnitosti
		> 0,01 mm	< 0,01 mm	< 0,001 mm	
4	10–20	64,17	35,83	15,68	hlinitá
	40–50	56,31	43,69	25,99	hlinitá
	70–100	50,93	49,07	34,18	ílovito-hlinitá
	160–165	56,34	43,66	25,58	hlinitá

Frakčné zloženie humusového horizontu sledovaných pôd zodpovedá zrnitostnému zloženiu pôdneho substrátu, hoci sú zjavné aj určité zvláštnosti. Základným rozdielom medzi vrchnou a spodnou časťou profilu pôd na lokalitách 1 a 4 vzhľadom k profilom lokalít 2 a 3 je znížený obsah ílu v humusovo-eluviálnych horizontoch v porovnaní so substrátom (Tab. 1).

Nahromadenie ílovitých častíc v humusovom horizonte albeluvisolu (lokalita č. 2) je dôsledkom najmä mechanického posunu hlinitých častíc z hornej časti svahu v čase ešte pred terasovaním územia.

Vo feozemiach horných častí svahu je charakteristická diferenciácia profilu podľa typu oglejenia – pokles obsahu ílovitých častíc vo vrchnej časti profilu a ich nahromadenie v strednej časti. Avšak v danom prípade tieto procesy, ktoré prebiehajú v súčasnosti, len nadväzujú na aktívny proces zmyvu minerálnych častíc z vyšších polôh svahu do nižších, ktorý prebiehal ešte pred vybudovaním terás.

Celkovo zrnitostné zloženie jednotlivých pôdnych horizontov na sledovanom území sa pohybuje od hlinito-piesočnatých až po ílovito-hlinité a mení sa v závislosti od genézy pôd a prevládajúcich pôdnych procesov.

Analyzujúc úroveň pôdnej kyslosti v humusových horizontoch daných pôd je možné konštatovať, že v prevládajúcej väčšine prípadov sa jedná o slabo kyslú až neutrálnu pôdnu reakciu (Tab. 2).

Najnižšia pH hodnota pôdy feozemí na sprášach pod borovicovým porastom (lokalita 1) je vo vrchnom horizonte. Táto hodnota sa s hĺbkou zvyšuje, avšak podľa kategorizácie kyslosti pôd sa stále nachádza v kategórii slabo kyslej.

Tab. 2 Pôdna kyslosť sledovaných pôd

Číslo lokality	Hĺbka (cm)	pH/H ₂ O	Kategória kyslosti
1	10–20	5,6	slabo kyslá
	50–60	6,2	slabo kyslá
	70–80	6,3	slabo kyslá
	95–100	6,2	slabo kyslá
	110–130	6,1	slabo kyslá
2	0–15	5,6	slabo kyslá
	25–35	5,2	kyslá
	40–50	5,3	kyslá
	60–70	4,9	silno kyslá
	90–100	5,0	silno kyslá

Číslo lokality	Hĺbka (cm)	pH/H ₂ O	Kategória kyslosti
3	10–20	6,8	neutrálna
	50–60	6,8	neutrálna
	70–80	6,7	neutrálna
	95–100	6,8	neutrálna
	110–130	6,8	neutrálna
4	10–20	5,4	kyslá
	40–50	6,1	slabo kyslá
	70–100	5,4	kyslá
	160–165	7,8	zásaditá

V albeluvisole (lokality 2) sa kyslosť pôdy zvyšuje od slabo kyslej až po silno kyslú, čo je pri zohľadnení genézy danej pôdy prirodzené. Kyslosť feozemí na svahových hlinách (lokality 3) sa nemení v celej hĺbke profilu a feozemí na spraši (lokality 4) je badateľná zmena pH pôdy od kyslej, cez slabo kyslú až po zásaditú, čo zodpovedá chemickému zloženiu pôdneho substrátu.

Obsah humusu aj jeho celkové zásoby v pôdach sú integrálnym ukazovateľom tvorby pôd. Na základe získaných údajov o obsahu humusu v pôdach možno konštatovať, že obsah humusu v pôdach je „veľmi nízky“ (MARTINOVA, 2011) (Tab. 3). Nízky obsah humusu je možné vysvetliť dlhodobým a intenzívnym vplyvom erózných procesov na pôdu sledovaného územia, výsledkom čoho je strata výrazného množstva humusu z pôd. Lesný porast sa výraznou mierou podieľa na poklese intenzity týchto procesov a prispieva k aktivizácii tvorby humusu. Avšak aj tak treba zdôrazniť, že 50 rokov je relatívne krátky čas na to, aby sme mohli uvažovať o podstatnom náraste obsahu humusu. Skôr by sa dalo predpokladať, že ide o stabilizáciu tvorby humusu s tendenciou zvyšovania jeho obsahu.

Odhliadnuc od blízkosti jednotlivých sledovaných lokalít, pôdy sa navzájom odlišujú úrovňou obsahu humusu vo vrchných horizontoch. Tento sa výrazne znižuje v pôdach vrchných polôh svahu smerom k údoliu. V horných častiach svahu pôdy obsahujú 1,60, resp. 1,65 % humusu, v strednej časti svahu je to 1,19 % a v údolí iba 0,88 %. Tieto výsledky svedčia o tom, že najvyššie hodnoty sú charakteristické pre pôdy s viac-menej stálou úrovňou ich tvorby – v horných častiach svahu, zatiaľ čo pôdy s nestálou úrovňou ich tvorby – v stredných častiach svahu a v údoliach, sa vyznačujú zníženým obsahom organickej hmoty. Vzhľadom na to, že nejde o súvislý svah, ale o terasované územie, v tomto prípade sa nejedná o akumuláciu humusu v spodných častiach svahu.

Tab. 3 Obsah humusu, celkového uhlíka a celkového dusíka v sledovaných pôdach

Lokalita	Hĺbka (cm)	Obsah humusu (%)	Obsah uhlíka (%)	Obsah dusíka (%)	C:N	Obogatenie humusu dusíkom podľa C:N
1	10–20	1,60	0,926	0,091	10	stredné
	50–60	0,21	0,049	0,085	0,6	veľmi vysoké
	70–80	0,21	0,049	0,020	2,5	veľmi vysoké
	95–100	0,03	0,017	0,020	0,9	veľmi vysoké
	110–130	0,03	0,017	0,007	2	veľmi vysoké
2	0–15	1,19	0,689	0,111	6	vysoké
	25–35	0,28	0,162	0,020	8	stredné
	40–50	0,05	0,029	0,007	4	veľmi vysoké
	60–70	0,13	0,075	0,033	2	veľmi vysoké
	90–100	0,10	0,058	0,033	2	veľmi vysoké
3	10–20	0,88	0,510	0,133	4	veľmi vysoké
	50–60	0,70	0,405	0,800	0,5	veľmi vysoké
	70–80	0,64	0,371	0,073	5	vysoké
	95–100	0,75	0,434	0,080	5	vysoké
	110–130	0,10	0,058	0,032	2	veľmi vysoké
4	10–20	1,65	0,955	0,067	14	veľmi nízke
	40–50	0,80	0,463	0,060	8	stredné
	70–100	0,49	0,284	0,020	14	veľmi nízke
	160–165	0,36	0,208	0,098	2	veľmi vysoké

Pomer C : N, ktorý charakterizuje obogatenie organickej hmoty o dusík, je v humusovom horizonte všetkých sledovaných pôd dostatočne vysoký okrem profilu 4, kde pomer dosahuje hodnotu 14, čo predstavuje veľmi nízky obsah dusíka v organickej hmote.

Porovnávajúc medzi sebou pôdy na základe obsahu celkových foriem dusíka, fosforu, draslíka a vápnika, je možné konštatovať, že vysoké obsahy uvedených živín (zvlášť v humusovom horizonte) sú charakteristické pre naplavené pôdy (Tab. 4). Zvyšovanie obsahu živín je spôsobené nielen mechanickým prísunom jemnozeme prostredníctvom tečúcej rieky, ale aj vztláním v rámci profilu spôsobeným vysokou hladinou podzemných vôd.

Humusové horizonty celkovo obsahujú relatívne vysoký obsah živín v dôsledku aj ich biologickej fixácie. So zväčšujúcou sa hĺbkou pôdneho profilu klesá podiel organickej časti pôdy a vzrastá podiel anorganického (výnimku tvoria piesočnaté aluviálne pôdy), čo je spojené s ich genézou. Najnižšie obsahy fosforu a draslíka sa nachádzajú v aluviálnych polohách (s výnimkou humusového horizontu), čo je prirodzene spôsobené mineralogickým zložením pôdneho substrátu.

Obsah draslíka a vápnika v profiloch ostatných pôd je vcelku stabilný v dôsledku ich ťažšieho zrnitostného zloženia. Na odlesnených pôdach sa obsah vápnika v spodných horizontoch pôdy výrazne zvyšuje (až do 6,68 %).

Záverom možno konštatovať, že na pôdach sledovanej lokality „Mitrišin ovrag“ v súčasnosti prebieha relatívne stabilný proces tvorby pôd bez aktívnych prejavov erózných procesov. Svedčia o tom farebne a štruktúrne rovnomeré genetické horizonty pôd na svahu, ktoré sú spevnené drevinovým a krovitým porastom, v dôsledku čoho bol obmedzený pohyb pôdy pozdĺž svahu. Hrúbka humusových horizontov sa pohybuje od 0,36 m vo vrchnej časti svahu až po 1,05 m v spodnej jeho časti.

Tab. 4 Celkový obsah vybraných živín v sledovaných pôdach

Číslo lokality	Hĺbka (cm)	Obsah celkových foriem živín (%)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1	10–20	0,09	0,08	0,31	0,32
	50–60	0,085	0,04	0,33	0,36
	70–80	0,02	0,04	0,42	0,34
	95–100	0,02	0,05	0,40	0,35
	110–130	0,01	0,04	0,40	0,35
2	0–15	0,11	0,05	0,31	0,32
	25–35	0,02	0,03	0,23	0,27
	40–50	0,01	0,02	0,15	0,195
	60–70	0,03	0,015	0,17	0,20
	90–100	0,03	0,015	0,14	0,16
3	10–20	0,13	0,11	0,50	0,42
	50–60	0,80	0,05	0,28	0,24
	70–80	0,07	0,08	0,45	0,34
	95–100	0,08	0,07	0,35	0,30
	110–130	0,03	0,06	0,41	0,37
4	10–20	0,07	0,08	0,30	0,26
	40–50	0,06	0,08	0,43	0,34
	70–100	0,02	0,08	0,46	0,38
	160–165	0,10	0,06	0,31	6,68

Vizuálne nie sú v sledovanej lokalite viditeľné nové erózne ryhy, vystupovanie pôdneho substrátu na povrch, ani výrazné plochy neporastené rastlinstvom. Navyše, na všetkých lokalitách rastú v hojnom počte rôzne druhy stromov a krov, napr. dub, lieska, javor, jaseň, agát. Je zrejmé, že tieto porasty sa nevyznačujú výraznými zásobami drevnej hmoty a ani jej kvalitou, ale svoju melioračnú pôdochrannú funkciu – spevnenie existujúcich svahov – splnili a budú aj naďalej efektívne plniť, v dôsledku čoho budú erózne procesy výrazne obmedzené, resp. aspoň spomalené.

Je treba zdôrazniť, že lesné porasty tohto unikátneho objektu vyžadujú starostlivosť s cieľom zvýšenia lesohospodárskeho a melioračného efektu v boji proti erózii. Táto starostlivosť zlepší formovanie zdravých a stabilných porastov, ktoré v budúcnosti budú spĺňať dôležitú pôdochrannú funkciu.

ZÁVER

Pokus založený v lokalite „Mitrišin ovraĎ“ Dergačevskom rajóne Charkovskej oblasti na Ukrajine, na ktorom v 60. rokoch minulého storočia bol nasadený lesný porast, umožnil sledovať intenzitu erózných procesov. Bolo zistené, že pôdny kryt sledovaných lokalít je charakterizovaný zmesou erodovaných a akumulovaných pôd, avšak v súčasnosti tu prebieha relatívne stabilný pôdotvorný proces, bez aktívneho prejavu erózných procesov. Základným rozdielom medzi vrchnou a spodnou časťou pôdneho profilu sledovaných pôd je zníženie obsahu ílovitých častíc v humusovom horizonte v porovnaní s pôdnym substrátom, hoci zrnitostné zloženie jednotlivých pôdnych horizontov kolíše od hlinito-piesočnatého až po ílovito-hlinité zloženie a mení sa v závislosti od genézy pôd a dominujúcich pôdnych procesov.

Obsah základných živín je vyšší v humusových horizontoch všetkých sledovaných pôd. So vzrastajúcou hĺbkou pôdy sa znižuje a narastá podiel anorganickej zložky pôdy, čo je taktiež spojené s genézou pôd. Kyslosť pôdy v humusových horizontoch všetkých sledovaných pôd je na úrovni slabo kyslej, resp. neutrálnej. Vysoký obsah humusu je v pôdach na miernych svahoch, zatiaľ čo na prudších svahoch a údoliach je obsah humusu v pôde výrazne nižší.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV 0131-11.

LITERATÚRA

- ARINUŠKINA, V. E. 1970. *Rukovodstvo po chimicheskomu analizu pochv*. Moskva, MGU, 1970, 120 s.
- BALJUK, S. A. (ed.) 2003. *Metodika viznachenija skladu ta vlastivostej gruntiv*. Kniha 1. Charkiv, NNC IGA, 2003, 210 s.
- BALJUK, S. A. (ed.) 2005. *Metodika viznachenija skladu ta vlastivostej gruntiv*. Kniha 2. Charkiv, NNC IGA, 2005, 222 s.
- GORDIENKO, M. I., GUZ, M. M., DEBRINJUK, J. M., MAUER, V. M. 2005. *Lisovi kulturi*. Lvov, Kamula, 2005, s. 402-433.
- MARTINOVA, N. A. 2011. *Chimija pochv: organicheskoje veschestvo pochv*. Irkutsk, IGU, 2011, 257 s., ISBN 978-5-9624-0537-7.
- MIGUNOVA, E. S. 2007. *Lesovodstvo i jestestvennyje nauki (botanika, geografa, pochvovedenije)*. Moskva, GOU BPO MGUL, 2007, 592 s.
- SOKOLOV, A. V. (ed.) 1975. *Agrochimicheskie metody sledovanija pochv*. Moskva, Nauka, 1975, 656 s.
- ŠTÁTNY CIEĽOVÝ PROGRAM 2009: *Lesy Ukrajiny na roky 2010–2015*. Nariadenie vlády Ukrajinskej republiky zo dňa 16.09.2009.
- TELEŠEK, J. K., ZASKALKOV, B. V. 1963. *Razrabotka lesomeliorativnych meroprijatij po borbe s erozijej pochv na territorii Ukrainy*. Charkov, UkrNIILCHA, 1963, 74 s.
- TIMCHENKO, D. O., GICHKA, M. M., KUCENKO, M. V., LISNYAK, A. A. 2010. *Naukovi ta prikladni osnovi zachistu gruntiv vid erozii v Ukraini*. Charkiv, NTU „CHPI“, 2010, 460 s., ISBN 978-966-593-820-0.

VÝVOJ PÔDNEJ REAKCIE NA KLÚČOVÝCH LOKALITÁCH ČIASTKOVÉHO MONITOROVACIEHO SYSTÉMU – PÔDA

ACIDIFICATION ON MONITORING KEY SITES

Jarmila MAKOVNÍKOVÁ

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

Abstrakt

Cieľom práce je zhodnotiť vývoj hodnôt pôdnej reakcie na klúčových lokalitách (20 lokalít) Čiastkového monitorovacieho systému – pôda od roku 1993 do roku 2012. Pôdne vzorky sme odoberali od roku 1993 v 1-ročných intervaloch v jarnom období z hĺbky 0–0,10 m (5 vzoriek z každej lokality), vo vzorkách bola stanovená aktívna a výmenná pôdna reakcia, aktívny hliník podľa Sokolova a obsah výmenných bázických katiónov. Priemerná hodnota aktívnej pôdnej reakcie sa v priebehu sledovania pohybovala na orných pôdach od 6,17 do 7,72 a na trávnych porastoch od 4,41 do 6,90, najnižšia priemerná hodnota bola stanovená na lokalite Chopok 3,43, ktorá patrí medzi vysokohorské lokality. Zmeny hodnôt pôdnej reakcie (porovnanie rokov 1993 a 2012) na klúčových lokalitách poukazujú na nepriaznivý trend, ktorého výsledkom je zníženie hodnôt pôdnej reakcie až na 13 lokalitách. Najvýraznejšie negatívne zmeny (zníženie hodnôt pôdnej reakcie) sú v skupine pseudoglejov a v skupine kambizemí. Obsah aktívneho hliníka sa v roku 2012 pohyboval od 0,90 mg.kg⁻¹ (lokalita Nacina Ves, orná pôda) do 579 mg.kg⁻¹ (lokalita Sihla, trávny porast). Doteraz najvyššia nameraná hodnota bola v roku 1999 na vysokohorskej lokalite Chopok a to 1059,20 mg.kg⁻¹. Na základe lineárnej regresnej analýzy môžeme hodnotu pôdnej reakcie vypočítať pomocou rovnice: $\text{pH v H}_2\text{O} = 5,78229 + 0,651914 \cdot \log [\text{Ca}^{2+} / \text{Al}^{3+}]$, s koeficientom regresie $r = 0,91$ a s koeficientom determinácie $R^2 = 0,83$.

Kľúčové slová: acidifikácia, pôdna reakcia, aktívny hliník, monitoring pôd

Abstract

The aim of this work is to evaluate the development of soil reaction values in key localities site (20 localities) of Partial Monitoring System – soil from 1993 to 2012 year. Soil samples were collected from the depth 0–0.10 m yearly in the spring (5 samples from each locality). In the dry soil samples active and exchange soil reaction, active aluminium content by Sokolov and base exchangeable cations were determined. The average value of the active soil reaction ranged during the monitoring period from 6.17 to 7.72 in the case of the arable land and from 4.41 to 6.90 in the case of grassland. The lowest average pH value was measured on the locality

Chopok 3.43, which belong to the alpine localities. Changes in soil reaction values (comparison between 1993 and 2012 years) indicate a negative trend, resulting in a decrease of soil reaction in the case of 13 localities. The most significant negative changes (decreases of soil reaction) were determined in Haplic Stagnosols group and Cambisols group. The content of active aluminum ranged from 0.90 mg.kg^{-1} (locality Nacina Ves, used as arable land) to 579 mg.kg^{-1} (locality Sihla, used as grassland) (actual status in 2012 year). The highest active aluminium value was determined in 1999 year in alpine locality Chopok, $1059.20 \text{ mg.kg}^{-1}$. On the basis of linear regression analysis soil reaction value can be calculated using the equation: $\text{pH in H}_2\text{O} = 5.78229 + 0.651914 * \log [\text{Ca}^{2+} / \text{Al}^{3+}]$, with a regression coefficient $r = 0.91$ and a coefficient of determination $R^2 = 0.83$.

Keywords: acidification, soil reaction, active aluminium, soil monitoring

ÚVOD

Udržateľné využívanie pôdy je podmienené pôdno-ekologickými podmienkami v kontexte s optimálne zvoleným obhospodarovaním pôdy, elimináciou prípadne minimalizáciou negatívnych zmien a negatívnych trendov vývoja pôdneho systému ako celku. Acidifikácia, negatívny proces okyslenia pôdy, predstavuje jeden zo závažných procesov chemickej degradácie, ktorý priamo aj nepriamo ovplyvňuje chemické procesy v pôde. Aktuálna acidifikácia je výsledkom odnosu katiónov a potenciálnym zachytávaním aniónov (ČURLIK a iní, 2003) a vo všeobecnosti je ovplyvnená narušením kolobehu prvkov v ekosystéme. Acidifikácia je vratným procesom, dôsledky acidifikácie v agroekosystéme sú nevratné. Schopnosť agroekosystému vyrovnáť sa s prirodzenou i antropogénnou acidifikáciou je daná kapacitou a potenciálom pufráčnej funkcie pôdy, ktorá je podmienená funkčnými pufrujúcimi systémami. Práve pufráčna funkcia pôdy odráža stupeň rezistencie pôdy voči acidifikácii. Za tlmivé (pufrujúce) sa považujú substancie v pôde, ktoré sú schopné udržiavať hodnoty pH v rámci obmedzeného rozpätia, v prípadoch, ak sa pridávajú do pôd kyseliny alebo zásady (pokial' nie sú v nadbytku) (DEMO a iní, 1998, ČURLIK a iní, 2003). Priamym indikátorom stavu acidifikácie pôdy je hodnota pôdnej reakcie ako faktor intenzity (analytické stanovenie pôdnej reakcie ako relatívne dynamického parametra priamo indikuje stav a vývoj procesu acidifikácie) ako aj pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ (GRIŠINA, BARANOVA, 1990) v sorpčnom komplexe pôdy. Pomer $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indikuje stupeň degradácie pôdy (GRIŠINA, BARANOVA, 1990, MERIÑO-GERGICHEVICH, 2010). Optimálna hodnota pôdnej reakcie patrí ku kľúčovým aspektom pri hodnotení kvality pôdy (JOHNSTON, 2004) ako aj pri hodnotení produkčných a environmentálnych funkcií pôdy (MAKOVNIKOVA, BARANČIKOVA, PÁLKA, 2007).

Čiastkový monitorovací systém – pôda (ČMS-P) sleduje acidifikačné tendencie vyplývajúce zo zmien hodnôt pôdnej reakcie (aktívnej a výmennej) a relatívneho zastúpenie iónov v sorpčnom komplexe s dôrazom na ekologické riziká toxicky pôsobiacich iónov, ktorých biopristupnosť je vnútorne regulovaná v prevažnej miere hodnotou pôdnej reakcie (MAKOVNIKOVA, KANIANSKA, 1996, MAKOVNIKOVA, 2005, MERIÑO-GERGICHEVICH, 2010).

Cieľom práce je zhodnotiť vývoj hodnôt pôdnej reakcie na klúčových lokalitách ČMS-P od roku 1993 do roku 2012.

MATERIÁL A METÓDY

Systém monitorovania pôd je založený na sieti monitorovacích lokalít (základnej sieti a sieti klúčových lokalít) a zaznamenáva časové zmeny vybraných vlastností pôd. Klúčová monitorovacia lokalita je kruhového tvaru o polomere 10 m a celkovej ploche 314 m² (KOLEKTÍV, 2011). Každá monitorovacia plocha je v strede charakterizovaná pedologickou sondou. Stredy monitorovacích lokalít sú geodeticky zamerané a zdokumentované súradnicami X, Y vo WGS 84. Odber pôdnych vzoriek sa uskutočňuje v sonde umiestnenej v strede monitorovacej lokality a okrem toho zo štyroch separátnych miest z plochy monitorovacej lokality. Hodnotu sledovaného pôdneho parametra na danej lokalite reprezentuje priemerná hodnota z piatich separátnych vzoriek. Pôdne vzorky sme odoberali od roku 1993 v 1-ročných intervaloch v jar-nom období z hĺbky 0–0,10 m na 20 klúčových lokalitách. Na troch lokalitách (Donovaly, Sitno a Chopok) sa od roku 2007 odoberajú vzorky v 5-ročných intervaloch. Pôdne vzorky z hĺbky 0–0,10 m a 0,35–0,45 m sa odoberajú aj z klúčových lokalít pri odberoch základných cyklov ČMS-P v 5-ročných intervaloch spolu v rámci odberov zo základnej siete lokalít. V pôdnych vzorkách odobraných v rokoch 1993–2012 z klúčových lokalít reprezentujúcich hlavné pôdne typy a subtypy (Tab. 1) bola stanovená aktívna a výmenná pôdna reakcia, aktívny hliník podľa Sokolova a obsah výmenných bázických katiónov (KOLEKTÍV, 2011).

Štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v programe STAT-GRAPHICS 5.0.

Tab. 1 Klúčové lokality ČMS-P

	Kľúč. lokalita	Klasifikácia pôdy (MKSP 2000)	Druh pozemku	Klasifikácia pôdy (WRB 2006)
1	Topoľníky	FMac	OP	Haplic Fluvisol (Anthric, Calcaric, Siltic)
2	Liesek	PGa	TTP	Haplic Stagnosol (Siltic, Eutric)
3	Stakčín	PGa	OP	Haplic Stagnosol (Siltic, Eutric)
4	Voderady	ČMac	OP	Haplic Chernozem (Anthric, Siltic)
5	Dvorníky	FMGa	OP	Gleyic Fluvisol (Siltic, Eutric, Anthric)
6	Raková	KMma	TTP	Haplic Cambisol (Skeletic, Dystric, Siltic)
7	Malanta	HMa	OP	Cutanic Luvisol (Anthric, Siltic, Abruptic, Hypereutric)
8	Nacina Ves	FMa	OP	Haplic Fluvisol (Anthric, Eutric, Siltic)
9	Istebné	KMga	OP	Stagnic Cambisol (Siltic, Eutric)
10	Žiar n/H	PGI	TTP	Luvic Stagnosol (Siltic, Albic, Anthric)
11	Krompachy	KMg	TTP	Stagnic Cambisol (Siltic, Eutric, Skeletic)
12	Koš	PGa	OP	Haplic Planosol (Albic, Eutric, Siltic, Anthric)

Klúč. lokalita		Klasifikácia pôdy (MKSP 2000)	Druh pozemku	Klasifikácia pôdy (WRB 2006)
13	Moravský Ján	RMaq	OP	Haplic Arenosol (Dystric)
14	Macov 1	ČAa	TTP	Endofluvic Chernozem (Anthric, Siltic)
15	Chopok	RNP	vysokohorská	Leptic Umbrisol (Skeletic, Dystric)
16	Jelšava	PGla	OP	Luvic Stagnosol (Siltic, Eutric, Albic)
17	Donovaly	RAk	TTP	Cambic Rendzic Leptosol (Skeletic, Eutric, Calcaric)
18	Sihla	KMma	TTP	Haplic Cambisol (Skeletic, Dystric, Siltic)
19	Sitno	AMm		Umbric Andosol (Skeletic, Siltic, Dystric, Thixotropic)
20	Spišská Belá	ČAa	TTP	Mollic Fluvisol (Anthric, Eutric, Siltic)

Vysvetlivky: OP – orná pôda, TTP – trávny porast

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na klúčových lokalitách sledujeme aktívnu aj výmennú pôdnu reakciu od roku 1993. V tabuľkách 2 a 3 sú uvedené základné štatistické charakteristiky hodnôt aktívnej a výmennej pôdnej reakcie v období rokov 1993 – 2012.

Tab. 2 Variabilita aktívnej pôdnej reakcie pH v H₂O na klúčových lokalitách v období 1993 – 2012

Klúč. lokalita		štatistické charakteristiky				
		minimum	maximum	priemer	smerodajná odchýlka	variačné rozpätie
1	Topoľníky	7,41	8,74	7,82	0,3100	0,0910
2	Liesek	5,35	6,32	5,78	0,3235	0,0988
3	Stakčín	6,09	7,28	6,60	0,3533	0,1179
4	Voderady	7,27	8,68	7,80	0,3256	0,1004
5	Dvorníky	6,42	7,79	6,87	0,3266	0,1010
6	Raková	4,38	5,76	5,29	0,3940	0,1470
7	Malanta	5,53	7,68	6,17	0,4860	0,2223
8	Nacina Ves	5,57	7,20	6,22	0,4366	0,1806
9	Istebné	6,02	7,36	6,69	0,3820	0,1383
10	Žiar n/H	5,25	6,09	5,77	0,1975	0,0369
11	Krompachy	5,25	6,27	5,90	0,2688	0,0682
12	Koš	6,11	7,81	7,27	0,4036	0,1543
13	Moravský Ján	4,67	6,56	5,67	0,4946	0,2346
14	Macov 1	7,29	8,64	7,78	0,3008	0,0851
15	Chopok	3,54	4,51	4,01	0,3276	0,0920
16	Jelšava	6,78	7,59	7,27	0,2447	0,0567
17	Donovaly	6,53	7,40	6,90	0,2479	0,0551

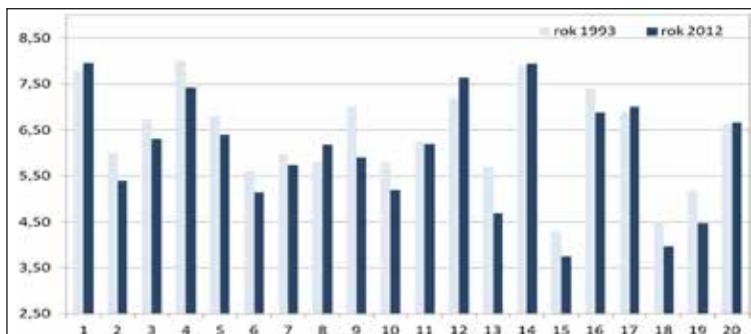
Klúč. lokalita		štatistické charakteristiky				
		minimum	maximum	priemer	smerodajná odchýlka	varičné rozpätie
18	Sihla	4,09	4,98	4,41	0,2120	0,0424
19	Sitno	4,47	5,42	4,98	0,2710	0,0642
20	Spišská Belá	5,99	7,57	6,70	0,3880	0,1417

Tab. 3 Variabilita aktívnej pôdnej reakcie pH v CaCl_2 na klíčových lokalitách v období 1993 – 2012

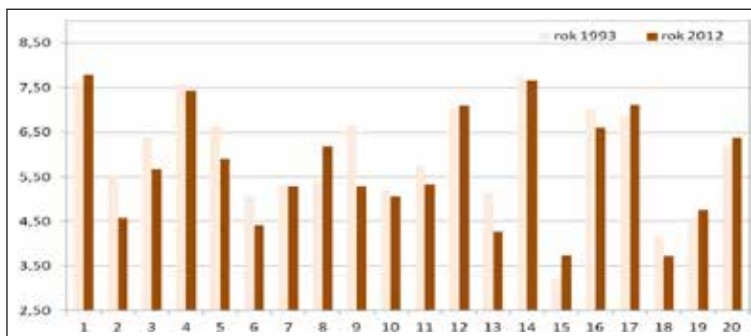
Klúč. lokalita		štatistické charakteristiky				
		minimum	maximum	priemer	smerodajná odchýlka	varičné rozpätie
1	Topoľníky	7,19	7,99	7,58	0,2176	0,0449
2	Liesek	4,66	5,67	5,17	0,3106	0,0911
3	Stakčín	5,38	6,86	6,13	0,3930	0,1458
4	Voderady	7,15	7,96	7,46	0,2184	0,0452
5	Dvorníky	5,95	6,92	6,46	0,2670	0,0675
6	Raková	3,73	5,28	4,89	0,2236	0,0472
7	Malanta	5,13	7,27	5,64	0,5482	0,2828
8	Nacina Ves	5,15	6,82	5,76	0,4812	0,2193
9	Istebné	5,67	6,85	6,33	0,3573	0,1209
10	Žiar n/H	4,89	5,49	5,21	0,1552	0,0228
11	Krompachy	5,01	5,95	5,40	0,2732	0,0702
12	Koš	5,38	7,50	6,99	0,4811	0,2186
13	Moravský Ján	4,08	5,64	4,89	0,4443	0,1857
14	Macov 1	6,96	7,93	7,56	0,2253	0,0478
15	Chopok	2,94	3,74	3,43	0,3121	0,0811
16	Jelšava	6,25	7,17	6,87	0,2483	0,0582
17	Donovaly	6,18	7,11	6,69	0,3176	0,0896
18	Sihla	3,63	4,28	3,94	0,1769	0,0295
19	Sitno	4,36	4,75	4,52	0,1236	0,0131
20	Spišská Belá	5,60	7,21	6,27	0,3686	0,1279

Priemerná hodnota aktívnej pôdnej reakcie sa v priebehu sledovania pohybovala na orných pôdach od 6,17 do 7,72 a na trávnych porastoch od 4,41 do 6,90, najnižšia priemerná hodnota bola stanovená na lokalite Chopok 3,43, ktorá patrí medzi vysokohorské lokality. Varičné rozpätie hodnôt aktívnej pôdnej reakcie na klíčových lokalitách sa pohybuje od 0,0642 do 0,2346 a je relatívne vyššie na orných pôdach oproti trávny porastom, najvyššie je na lokalite Moravský Ján, ktorá bola v priebehu monitorovania spustnutá a od roku 2011 opätovne obrábaná ako orná pôda. Varičné rozpätie v prípade výmennej pôdnej reakcie je o niečo nižšie (Tab. 3). Hodnoty aktívnej pôdnej reakcie v porovnaní s výmennou pôdnou reakciou sú reaktívnejšie vzhľadom k zmenám a pohybujú sa v širšom intervale.

Obr. 1 Zmeny hodnôt aktívnej pôdnej reakcie (porovnanie rokov 1993 a 2012) na klúčových lokalitách



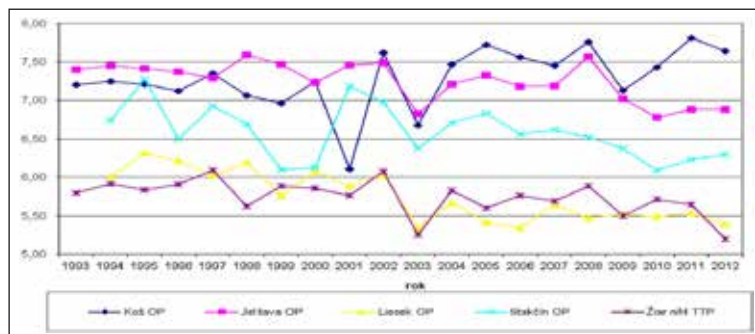
Obr. 2 Zmeny hodnôt výmennej pôdnej reakcie (porovnanie rokov 1993 a 2012) na klúčových lokalitách



Zmeny hodnôt pôdnej reakcie (porovnanie rokov 1993 a 2012) na klúčových lokalitách (Obr. 1, 2) poukazujú na nepriaznivý trend, ktorého výsledkom je zníženie hodnôt pôdnej reakcie až na 13 lokalitách. Najvýraznejšie negatívne zmeny (zníženie hodnôt pôdnej reakcie o 0,61 jednotiek) sú v skupine pseudoglejov a v skupine kambizemí (zníženie hodnôt pôdnej reakcie o 1,10 jednotiek). Tlmivé systémy kambizemí a pseudoglejov (silikáty a výmenné kationy) indikujú (ULRICH, 1991, KANIANSKA, 2000, MAKOVNIKOVÁ, 2005), že tieto pôdy patria k labilnejším ekosystémom, s tendenciou k zakysleniu (BEDRNA, 1994). Pri hodnote aktívnej pôdnej reakcie nižšej ako 6,5 už dochádza k prekročeniu limitných hodnôt pH pre jednotlivé ťažké kovy v systéme pôda – rastlina (MAKOVNIKOVÁ, 2002, MAKOVNIKOVÁ, 2007) a k výraznému zvýšeniu prístupnosti anorganických polutantov.

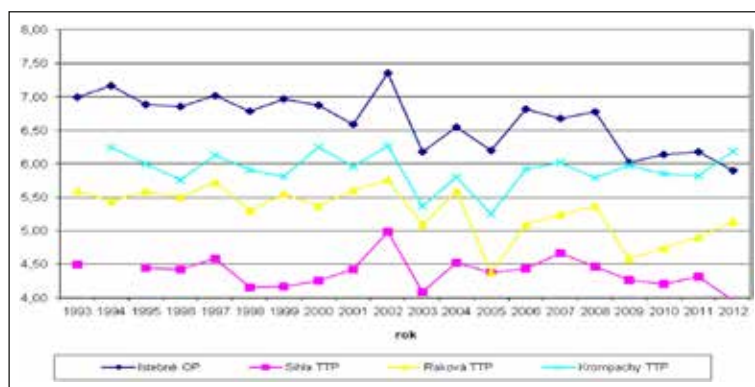
Zmeny hodnôt pôdnej reakcie v priebehu monitorovania sú podmienené kapacitou a potenciálom tlmivého systému sledovaných pôd, zastúpeného systémom karbonátov, silikátov, výmenných kationov až hliníka.

Obr. 3 Vývoj aktívnej pôdnej reakcie na klíčových lokalitách reprezentujúcich pseudogleje



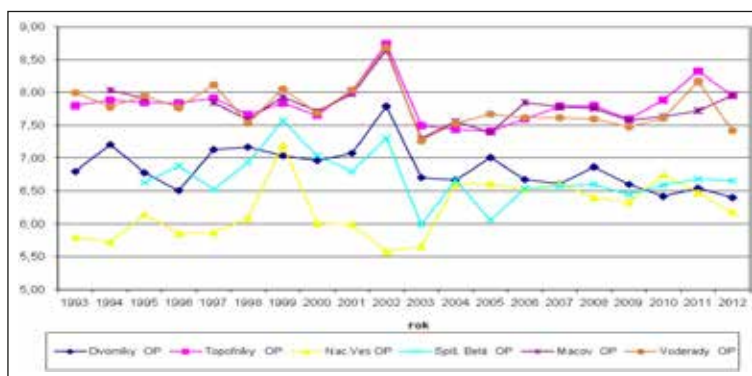
Pseudogleje (Obr. 3) môžeme zaradiť do skupiny stredne rezistentných pôd voči acidifikácii, ich tlmivú schopnosť ovplyvňuje predovšetkým nadbytok pôdnej vody (DEMO a iní, 1998). Priebeh hodnôt pôdnej reakcie na orných pôdach v sledovanom období je výrazne rozkolísaný, môže byť ovplyvnený agrotechnickými postupmi. Nepriaznivý trend smerom k zakysleniu môžeme pozorovať na lokalite Liesek (na tejto lokalite došlo aj k zmene kultúry z OP na TTP), ktorá sa nachádza v oblasti s vysokými depozíciami síry a dusíka (ZAVODSKÝ a iní, 1996), mierny acidifikačný trend na lokalite Jelšava (pôda vyvinutá na nekarbonátových substrátoch), najväčšie výchylky na lokalite Stakčín.

Obr. 4 Vývoj aktívnej pôdnej reakcie na klíčových lokalitách reprezentujúcich kambizeme



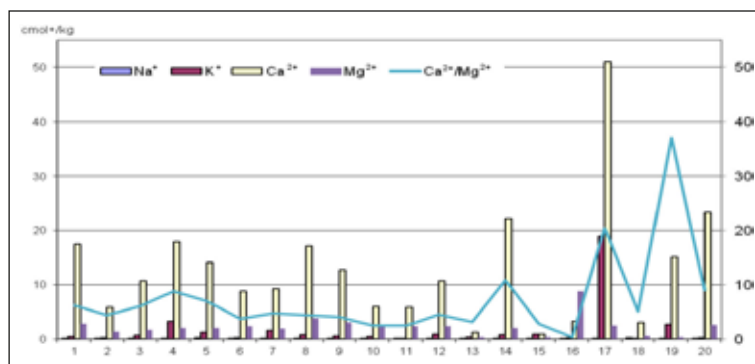
Kambizeme (Obr. 4) sú vyvinuté na rôznych typoch substrátov, čo primárne determinuje aj ich rôznu náchylnosť k acidifikácii (DEMO a iní, 1998). Stav a vývoj pufracej funkcie vzhľadom k acidifikácii indikuje hodnota pôdnej reakcie a aktívny tlmivý systém v kontexte s acidifikačnou záťažou. Kambizeme vyvinuté na flyši, s dominantnými tlmivými systémami silikátov až výmenných kationov, využívané ako orná pôda (lokalita Istebné) a ako trávny porast (lokalita Raková a Sihla) vykazujú v priebehu sledovaného obdobia výrazný trend k zakysleniu. Lokalita Krompachy, využívaná ako trvalý trávny porast, vyvinuté na kyslých substrátoch, osciluje s menšími výkyvmi okolo pôvodne stanovenej hodnoty.

Obr. 5 Vývojové trendy pH v H_2O na vybraných klíčových lokalitách – černoze, fluvizeme, čiernice



Černoze, čiernice a fluvizeme vyvinuté na karbonátových môžeme zaradiť k pôdnym typom rezistentným voči acidifikácii. Pufrijúci systém karbonátov sa prejavuje tlmením acidifikačných tendencií, hodnota pôdnej reakcie v priebehu sledovaného obdobia v prípade týchto pôd osciluje v intervale stanovenom chybou merania okolo pôvodnej hodnoty. Na lokalitách Topolníky a Nacina Ves pozorujeme mierny trend smerom k zvýšeniu pôdnej reakcie ovplyvnený pravdepodobne agrotechnickými zásahmi na daných lokalitách (Obr. 5). Mierny trend k zakysleniu sme zaznamenali na lokalite Dvorníky (fluvizem na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch), tento trend má však výrazné negatívne následky, keďže lokalita patrí ku kontaminovaným lokalitám s kombinovanou geochemickou a antropogénnou kontamináciou. Na lokalite Voderady (černoze) sme zaznamenali mierny pokles hodnôt pH, avšak hodnoty sa stále pohybujú v neutrálnej až slabo alkalicknej oblasti.

Sorpčná schopnosť pôdy ako aj zloženie výmenných kationtov v pôde sú výsledkom priebehu pôdotvorného procesu v kontexte s klimatickými podmienkami, sú ovplyvňované využívaním pôdy a agrotechnickými vstupmi do pôdy. Zloženie a kvalita sorpčného komplexu spolu s obsahom a kvalitou organickej hmoty v pôde patria k priamym indikátorom kvality pôdy (HANES, POLÁČEK, 2002, MAKOVNIKOVÁ, BARANČIKOVÁ, PÁLKA 2007). V pôdach sa vyskytuje zmes kationtov a aniónov, ktoré sú charakteristické energiou sorpcie, koncentráciou a hlavne vzájomným vplyvom (HANES, POLÁČEK, 2002). Kvantitatívne zloženie výmenných kationtov v sorpčnom komplexe pôdy (aktuálny stav v roku 2012) je uvedený na obrázku 6.

Obr. 6 Kvantitatívne zloženie výmenných katiónov

Prevládajúcim výmenným katiómom na sledovaných lokalitách je vápnik (Obr. 6), okrem lokality Jelšava, situovanej v oblasti Jelšava – Ľubeník, ktorú ovplyvňujú magnezitové imisie.

Pomer $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ sa na klúčových lokalitách pohybuje od 0,38:1 (lokalita Jelšava) do 37,04:1 (lokalita Sitno). V optimálnom rozmedzí 4:1 až 6:1 sú výmenné katióny na 6 lokalitách, z toho 5 sa využíva ako orné pôdy a jedna lokalita ako trávny porast. V priebehu sledovania sme pozitívny trend zaznamenali na lokalite Jelšava, kde došlo k zníženiu obsahu výmenného horčíka o 66 % v porovnaní s rokom 2002.

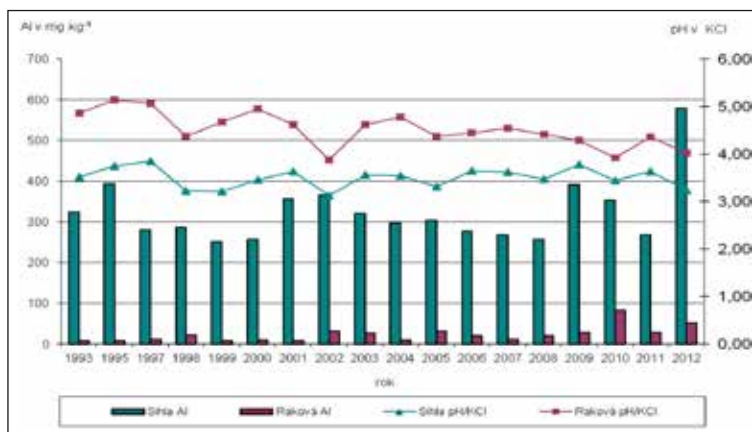
Na základe lineárnej regresnej analýzy môžeme hodnotu pôdnej reakcie vypočítať pomocou rovnice:

$$\text{pH v H}_2\text{O} = 5,78229 + 0,651914 \cdot \log [\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}],$$

s koeficientom regresie $r = 0,91$ a s koeficientom determinácie $R^2 = 0,83$.

Hodnotami pôdnej reakcie je primárne podmienená rozpustnosť rôznych foriem hliníka (HIRADATE, 2004). Dominantnou toxickou formou hliníka je mobilný hliník, tj. voľné katióny Al^{3+} a hydrolytické ióny hliníka $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. S rastúcou hodnotou pH sa strácajú H_2O skupiny a vzniká hydroxid hlinitý, ktorý je potenciálne nerozpustný. Rozpustnosť a tým aj prístupnosť hliníka exponenciálne narastá s klesajúcou hodnotou pôdnej reakcie (MAKOVNIKOVÁ, KANIANSKA 1996, MAČUHA 1999, MERIÑO-GERGICHEVICH, 2010). Aktívny hliník bol stanovený v pôdnych vzorkách z klúčových lokalít s hodnotou pH v KCL nižšou ako 6,0. V roku 2012 sa pohyboval od 0,90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (lokalita Nacina Ves, orná pôda) do 579 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (lokalita Sihla, trávny porast). Doteraz najvyššia nameraná hodnota bola v roku 1999 na vysokohorskej lokalite Chopok a to 1059,20 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Vývoj hodnôt aktívneho hliníka na dvoch vybraných klúčových lokalitách reprezentujúcich kambizeme je na obrázku 8. Celkový obsah hliníka na lokalite Sihla je 6725 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, na lokalite Raková je vyšší celkový obsah a to 8790 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Relatívne malé zmeny hodnôt pH sa už premietajú do zvýšenia obsahov aktívneho hliníka na sledovaných lokalitách (Obr. 7).

Pomer $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indikujúci stupeň degradácie pôdy je na lokalite Raková v poslednom odberovom roku 2012 1,45 a na lokalite Sihla 91,20. Kritická hladina pomeru $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ pre citlivé plodiny je 0,50, pre menej citlivé plodiny 1,00 (GRÍŠINA, BARANOVA, 1990) a na obidvoch lokalitách je kritická hladina výrazne prekročená.

Obr. 7 Obsah aktívneho hliníka na lokalite Raková a Sihla

ZÁVER

Cieľom efektívneho využívania prírodných zdrojov je zabezpečiť, aby využívanie prírodných zdrojov a s tým súvisiaci dopad na životné prostredie, teda aj na kvalitu pôdy, nepresiahol únosnú kapacitu. Zmeny hodnôt pôdnej reakcie (porovnanie rokov 2012 a 2003) na klúčových lokalitách poukazujú na nepriaznivý trend, ktorého výsledkom je zníženie hodnôt pôdnej reakcie až na 13 lokalitách. Najvýraznejšie negatívne zmeny (zníženie hodnôt pôdnej reakcie) sú v skupine pseudoglejov a v skupine kambizemí. Pri obmedzení agrotechnických opatrení zameraných na optimalizáciu hodnôt pôdnej reakcie, môžeme v prípade kambizemí a pseudoglejov, využívaných ako orné pôdy, predpokladať pomalý pokles pôdnej reakcie na prirodzene kyslejších substrátoch, podobné tendencie sme zaznamenali aj v prípade pôd vyvinutých na nekarbonátových substrátoch. Acidifikačné trendy u pôd s hodnotou pôdnej reakcie v slabo kyslej oblasti sa perspektívne môžu odraziť v zhoršení hygienického stavu životného prostredia vo zvýšenom prieniku rôznorodých polutantov predovšetkým anorganických polutantov a hliníka do potravinového reťazca.

LITERATÚRA

- DEMO M. a iní, 1998. *Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine*. Nitra: SPU, 1998, 302 s. ISBN 80–7137-525-X.
- BEDRNA, Z. 2003: *Resistibility of Landscape to acidification*. *Ekologia*, 13, 1994, str. 77–86
- ČURLÍK a iní, 2003: *Pôdna reakcia a jej úprava*, Suma print Bratislava, 2003, 250 s.
- GRÍŠINA, L. A., BARANOVA, T. A., 1990: *Vplyv kyslých zrážok na vlastnosti pôd lesného ekosystému južnej tajgy*. *Lesné pôdoznanectvo*, 10, 1990, 121–136
- HIRADATE, S. 2004. *Speciation of Aluminium in Soil Environments*. In *Soil.Sci.Plant Nutr.*, vol. 50, no. 3, pp. 303–314
- HANES, J., POLÁČEK, Š. 2002: *Koloidná chémia pôdy*. VUPOP Bratislava, 2002, 108 s. ISBN 80–85361-96–5
- JOHNSTON, A. E. 2004. *Soil Acidity – Resilience and Thresholds*. In: Schjønnning, P, Elmholt, S. Christenses, B. T. (ads.): *Managing soli quality*. CABI Publishing: 2004. 344 p. ISBN 85–1996-71-X
- KANIANSKA, R. 2000: *Acidifikácia pôd vplyvom kyslých atmosférických polutantov*. Bratislava, 2000, 96s.
- KOLEKTÍV 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VUPOP Bratislava, 124pp. ISBN 978–80-89128–89-1
- MAČUHA, P. 1999: *Reakcia domácich odrôd pšenice ozimnej na toxické pôsobenie Al³⁺ kationov pri nízkom pH*. *Poľnohospodárska výroba a skúšobníctvo*, 7 (VII), č.3–4, 1999, s.25–27

- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2002: *Stav a vývojové trendy aktívneho hliníka v pôdach SR*. Poľnohospodárstvo 12, 2002, s. 619 – 624
- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2003: *Indikátory zraniteľnosti ekologických funkcií kambizemí vzhľadom na hliník a mangán*. Agrochémia (VII).43, 4/2003, str.4 -7
- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2005: *Vplyv pôdnych parametrov na distribúciu hliníka v pôdach SR*. Agriculture 8, vol. 51, 2002, str. 436 – 441, 2005
- MAKOVNÍKOVÁ, J., KANIANSKA, R. 1996: *Aktívny hliník a jeho súčasný stav v pôdach SR*. Rostlinná výroba, 42/7, 1996, 289 – 292
- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2007. *Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 2007. 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.
- MAKOVNÍKOVÁ, J., BARANČÍKOVÁ, G., PÁLKA, B., 2007. *Approach to the assessment of transport risk of inorganic pollutants based on the immobilisation capability of soil*, Plant, Soil and Environment, vol.53, 8, 365 – 373
- MERIÑO-GERGICHEVICH, J. 2010. *Al³⁺ - Ca²⁺ interaction in plants growing in acid soils: AL-phytotoxicity response to calcareous amendment*. In Soil. Sci. Plant Nutr. 10 (3), 2010.; pp. 217 -243 (2010)
- ULRICH, B. 1991. *An Ecosystem Approach to Soil Acidification*. In: Ulrich B, Sumner ME (eds) Soil Acidity. Springer – Verlag, Berlin, 1991, 28 – 79
-

HODNOTENIE ZÁVISLOSTI RESPIRAČNEJ AKTIVITY PÔDY OD ELEKTRICKEJ REZISTIVITY PRE PÔDNY TYP PSEUDOGLEJ

THE ASSESSMENT OF SOIL RESPIRATION ACTIVITY DEPENDING ON ELECTRICAL RESISTANCE FOR SOIL TYPE STAGNOSOL

Boris Pálka¹, Alena Rogožníková², Slávka Pálková¹, Jozef Mališ³

¹Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy – Regionálne pracovisko Banská Bystrica, b.palka@vupop.sk

²Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Banská Bystrica

³C-Shop, spol. s r. o., Einsteinova 25, Bratislava 851 01

Abstrakt

Cieľom príspevku je skúmať a hodnotiť pôdnu respiračnú aktivitu v závislosti od elektrickej rezistivity na pseudogleji. Ide o netradičný spôsob hodnotenia hydrofyzikálnych vlastností pôd vo vybraných pôdno-klimatických podmienkach na dočasnom trávnom poraste. Pôdny typ pseudoglej modálny sme určili na základe údajov o využití krajiny z geografických priestorových informácií Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy (VÚPOP). Na vyhodnotenie vytýčených parametrov sme použili biogeofyzikálnu analýzu a dve metódy – Elektrická rezistivná tomografia (ERT) a Respiračná pôdna aktivita (mikrobiologická metóda). Respiračnú pôdnu aktivitu sme stanovili v sekcii agrochémie CVRV Piešťany – Laboratórium Výskumného ústavu trávnych porastov a horského poľnohospodárstva v Banskej Bystrici. Maximálnu pôdnu retenčnú kapacitu, celkovú pórovitosť, areáciu, bod vädnutia a obsah tzv. mŕtvej vody pre rastliny v nevyužiteľnej forme sme stanovili pôdnymi fyzikálnymi metódami, gravimetrickou metódou. Medzi sledovanými parametrami retenčnej kapacity pôdy, hodnotami respiračnej aktivity pôd a pôdnej elektrickej rezistivity sme potvrdili pozitívne štatistické korelácie. Nepopierateľnou výhodou tejto netradičnej metódy je ekologicky priaznivejší spôsob monitorovania údajov o pôde s väčším hĺbkovým rozsahom. Nedeštrukčné metódy skúmania fyzikálnych vlastností pôd jednak znižujú pracovnosť výskumnej činnosti, jednak môžu napomáhať k odhaleniu a k identifikácii širších súvislostí skúmaných fenoménov napr. hladinu tzv. svahovej vody, kapilárnu obrubu, hĺbku pôdy, či odhadnúť zrnitostné zloženie pôdy.

Kľúčové slová: ekológia, pôda, trávne porasty, respiračná aktivita, elektrická rezistivita

Abstract

The aim of this paper is to research and assess soil respiration activity reliance in the electrical resistivity of the Stagnosol. It is a non-traditional method of assessment of hydro-physical soil properties in selected soil and climatic conditions for temporary grassland. Haplic

Stagnosol (Siltic, Eutric) (WRB 2006) soil type were determined and based on the data due to land utilization geographic area from information provided by the Soil Science and Conservation Research Institute. To assess the set of parameters we used biogeophysical analysis, calibration of the two methods – Electrical resistivity tomography (ERT) and Respiratory activity of soil (microbiological method). Soil respiratory activity was determined in the section Agrochemistry CVRV Piešťany – Laboratory of Research Institute of Grassland and Mountain Agriculture in Banská Bystrica. Maximum soil retention capacity, total porosity, air sparging, wilting point, and content deadwater unavailable for plants in form of soil was determined by physical methods with gravimetric method. Endpoint between the retention capacity of soil, the values of respiratory activity of soil and the soil electrical resistivity, we have confirmed positive statistical correlation. Undeniable advantage of this unconventional method is environmentally beneficial method of monitoring data on soil with a greater depth range. Non-destructive methods of examination of physical properties of soils reduce both work consuming research activities, both may be helpful to the detection and identification of the broader context of such phenomena studied like level called, slope water, capillary rim, depth of soil to estimate grain size and composition of the soil.

Keywords: ecology, soil, grassland, mikrobiology, respiratory activity, electrical resistivity

ÚVOD

Územie Slovenska je charakterizované z dvoch tretín celkovej rozlohy krajiny ako podhorská a horská krajina. Využívanie prírodného krajinného priestoru trávny porastom je limitovaný podľa disponibilnej plochy s regulovanou zatažiteľnosťou a ekologickou únosnosťou (zákon NR SR č. 57/2013, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 220/2004 Z.z.) za účelom zachovania prírodnej štruktúry krajiny. Potenciál retenčnej kapacity pôd úzko súvisí s udržateľnosťou kvality pôdných vlastností s dôrazom na pôdnu úrodnosť a kvalitu rastlinnej produkcie. Proces vývoja a rastu spoločenstiev trávnych porastov je tvorený na základe pôdnoekologickej autoregulácie potenciálnej udržateľnosti kvalitatívnych vlastností pôd. Proces prebieha v súčinnosti abiotických a biotických faktorov so spôsobom obhospodarovania pôd. Údaje o vplyvoch preťaženia ekosystémov sa začali evidovať pri monitorovaní pôd v 90. rokoch minulého storočia (KOBZA a iní, 2002, 2009). Hodnotenia vlastností pôd a ich vývoja sú zohľadňované kritériami systematickosti zmien a druhom trendu zmien (od necyklických vývojových zmien až k systematickým zmenám s určitou frekvenciou periódy). Na posúdenie pôdných procesov s komplexným zameraním na výživu rastlín sa v praxi využívajú pôdne analýzy fyzikálnych, chemických a biologických rozborov pôdneho substrátu. S ohľadom na životné prostredie (ŽP) sa v súčasnosti skúmajú možnosti nedeštruktívnych postupov a perspektívnych metód biologických a hydrofyzikálnych vlastností (vodná kapacita, kapilárna vztlávanosť, vodivosť), ktoré sú v danej situácii ekonomicky nízkych vstupov pre poľnohospodársku prax akceptovateľné.

Vyrovnanosť v bilancii pôdných živín do rastlínám prístupnej formy zabezpečujú mikrobiálne procesy v zapojení do kolobehu látok enzymatickými reakciami. Dynamika týchto meta-

bolických procesov je hodnotená nepriamou metódou pozorovaním respirometrickej aktivity mikrobiálnej biomasy. Závislosť zmien pôdných vlastností v priereze pôdneho profilu môže byť hodnotená ako biologický a technologický aspekt udržateľnosti ekosystémov, ich adaptačnej schopnosti na klimatickú zmenu s významom pre poľnohospodárstvo a environmentálne inžinierstvo. Racionálnym vstupom do súčasnej úrovne poznatkov o retenčných vlastnostiach pôdy je biogeofyzikálna metóda elektrickej rezistívnej tomografie (ERT). Táto časopriestorová metóda elektrickej geofyziky spĺňa kritériá hodnotenia pôdných parametrov nedeštruktúrnym spôsobom v čase a v priestore pre potreby precízneho hospodárenia s potenciálom retenčnej kapacity pôd. Výhodou vertikálneho elektrického sondovania sú možnosti hodnotenia pôdneho profilu v rezoch s horizontálnym rozsahom desiatky až stovky metrov. Signifikantnou interakciou bola potvrdená vzájomná závislosť vplyvu zmien pôdneho režimu a kontaminácie pôdy na mikrobiálne spoločenstvá a na rezistivitu pôdy (POZDNYAKOV, 2008). Závislosť pôdnej elektrickej rezistivity od všeobecných fyzikálnych vlastností (objemovej hmotnosti), od hydrofyzikálnych vlastností (vlhkosť) a od biologických vlastností (obsahu organických látok) bol potvrdený za mokra v hornej vrstve do 50 cm (KONDRASHKIN a iní, 2011).

MATERIÁL A METÓDY

Podľa databáz Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy (VÚPOP) v štruktúre typologicko-produkčných kategórií pôdneho fondu Slovenska výmera striedavých polí dosahuje 11,4% racionálnym využívaním dočasnými trávnyimi porastmi a výmera trvalých trávnych porastov (TTP) dosahuje 29,6% (z toho 9,4% sú produkčné; 12,9% menej produkčné a 7,3% málo produkčné TTP). Výber danej lokality orientovaný na pôdny typ pseudoglej bol uskutočnený na základe údajov z geografického informačného systému VÚPOP, reprezentujúci prevažne produkčnú až menej produkčnú poľnohospodársku pôdu. Odberové stanovište je súčasťou siete Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda, ktorý koordinuje a vykonáva VÚPOP. Ide o kľúčovú lokalitu s vykonávaním pravidelného monitoringu pôdy v jednoročných cykloch. V poľnohospodárstve sa pseudogleje využívajú prevažne ako trvalé trávne porasty, menej ako orná pôda. Pri využití pseudoglejov ako orných pôd sú limitáciou ich nepriaznivé fyzikálne vlastnosti – uľahnutosť a slabá nekapilárna pórovitosť.

Popri ich obhospodarovaní ako TTP sa vyzdvihujú najmä ich mimoprodukčné funkcie. Z hľadiska ekológie je dôležitá ich retenčná schopnosť. Pomer pôdnej vody a vzduchu najmä v rizosférickej vrstve súvisí s prítomnosťou stagnujúcej (alebo prúdiacej) vody a kvalitou pôdneho vzduchu v pôdnom profile (Obr. 1). Pohyb pôdneho vzduchu a pôdnej vody v kapilárach pôd zabezpečuje vyrovnanú aktivitu pôdných mikrobiálnych spoločenstiev.

Pôdne vzorky boli odobraté z troch bodov na jednej línii a vyhlbené (0–80 cm) ako odber neporušených vzoriek (Kopeckého fyzikálne valčeky so známym objemom) a odber porušených vzoriek pomocou pôdneho vrtáka Ejkelkamp. Vybrané body boli v blízkosti línii elektród terénneho geofyzikálneho merania prístrojom ARES – zapojenie Wenner-Schlumberger. Namerané údaje boli s podporou PC-software použité na vyhodnotenie a grafické znázornenie (Obr. 2).

Pôdne sondy boli podľa jednotlivých odberových bodov a hĺbok (po 10 cm) spracované štandardnými analytickými metódami v pedologickom laboratóriu VÚPOP v Bratislave (Tab. 1). Analyzované boli všeobecné fyzikálne vlastnosti: zrnitosť s frakciou jemnozeme a ílových minerálnych častíc < 0,01 mm [%]; pôdna pórovitosť (Pc) [%]; špecifická a objemová hmotnosť zemin [g.cm⁻³]. Z hydrofyzikálnych vlastností pôdy sa stanovila momentálna vlhkosť do konštantnej hmotnosti [g.kg⁻¹]; obsah viazanej, rastlinám nevyužiteľnej vody [hm. %, obj. %]; maximálna kapilárna kapacita (MKK) [obj.%]; retenčná vodná kapacita (RVK) [obj. %]. Aktívnu (účinnú) pórovitosť [obj.%] a vzdušnú kapacitu pôdy – areáciu [obj. %] sme vyhodnotili empirickou metódou.

Biologické vlastnosti pôd boli analyzované v sekcii Agrochémia VÚTPHP Banská Bystrica – CVRV Piešťany. Z pripravenej jemnozeme odobratých pôdnych vzoriek preosiatím cez sito s veľkosťou oka 2 mm boli odstránené organické zvyšky. Na stanovenie pôdnej sušiny bola použitá gravimetrická metóda [g.kg⁻¹], potenciometrická metóda na výmennú pôdnu reakciu (roztokom neutrálnej soli KCl). Aktivita mikrobiálnej biomasy bola zhodnotená laboratórnym experimentom na základe bazálnej produkcie CO₂ [mg.kg⁻¹] stanovenej po 24 hodinách (pri teplote 25 °C) metódou plynovej chromatografie (Graf 1). Údaje boli vyhodnotené základnými štatistickými parametrami ako respirometrická aktivita mikrobiálnej biomasy v jednotlivých frakciách odberovej hĺbky. Zo sumarizácie vyhodnotených údajov bol štatisticky kvantifikovaný rozsah nameraných hodnôt (hodnota minimálna MIN, maximálna MAX, smerodajná odchýlka STDEV, variačné rozpätie ako variačný koeficient [%]) respirometrickej aktivity bazálnou produkciou CO₂ za jednotlivé odberové hĺbky. Na určenie korelačného vzťahu (s početnosťou n = 24) medzi geofyzikálnym parametrom rezistivity a jednotlivým pôdnym parametrom fyzikálnej, či biologickej vlastnosti bola použitá štatistická korelačná funkcia s vyhodnotením preukaznosti korelačných faktorov (r) na úrovni p = 0,01 (++); p = 0,05 (+).

Príspevok syntetizuje úroveň teoretických poznatkov s úrovňou poznatkov získaných vlastným aplikovaným a experimentálnym výskumom. Úloha bola čiastkovo riešená na výskumnej báze CVRV Piešťany – VÚTPHP Banská Bystrica v rámci rezortnej úlohy Multifunkčné využívanie TP v podhorských a horských oblastiach a na regionálnom pracovisku VÚPOP Banská Bystrica.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pseudogleje sú vyvinuté prevažne na zarovnaných lokalitách hraničiacich so svahmi, t.j. tam kde sa mení spádová krivka a povrchové, resp. laterálne vody znižujú svoju rýchlosť a namiesto prúdenia po svahu prenikajú intenzívnejšie do podložia. Lokálne sa však nachádzajú aj vo vrcholových partiách pahorkatín, ak tam napríklad vystupujú neogénne íly blízko k povrchu.

Skúmaná lokalita je situovaná v katastrálnom území Liesek v okrese Tvrdošín. Nadmorská výška dosahuje 670 m n. m. Z hľadiska členitosti reliéfu sa rozprestiera na zarovnanej forme reliéfu s možnosťou prejavu plošnej erózie pôdy do 3 stupňov a severozápadnej expozície. Lokalitu sme zaradili podľa geomorfologického členenia do Podhŕňo-magurskej oblasti a celku Oravská kotlina. S priemernou ročnou teplotou 5,8 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok

Obr. 1 Pôdny profil zo skúmanej lokality – pseudoglej modálny



820 mm spadá toto územie do mierne chladného klimatického regiónu.

V rámci morfogenetickej klasifikácie pôd sme určili pôdny subtyp – pseudoglej modálny (PGm) a medzinárodnej klasifikácie WRB 2006 ako Haplic Stagnosol (Siltic, Eutric). Z pedologického pohľadu ide o hlbokú pôdu bez skeletu a charakterizuje ju pôdny typ pseudoglej modálny na substráte polygenetických hĺn. Pseudogleje vo všeobecnosti sú stredne rezistentné pôdy voči acidifikácii.

Výmenná reakcia kyslosti pôdy na odberovom stanovišti dosahovala gradáciu v závislosti s hĺbkou od hodnotenia veľmi kyslej pôdy v orníckej vrstve (pH = 4,61) až extrémne kyslú pôdu v podorníckej hĺbke (pH = 3,81).

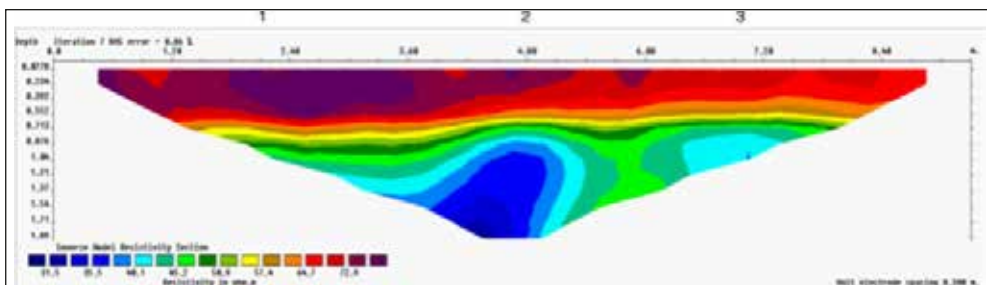
Zrnitostne sú to piesčitohlinité pôdy, stredne ťažké pôdy – ľahšie, s obsahom ílovej frakcie z chemického hľadiska ako vodnatých alumosilikátov (t.j. pôdne častice menšie ako 0,01 mm) 20–30% v povrchovom horizonte.

Povrchový horizont dosahuje hrúbku 30 cm a označujeme ho ako ochrický silikátový (Aoq), podpovrchový mramorovaný horizont (Bg) siaha do hĺbky 90 cm a potom nastupuje samotný substrát (Obr. 1).

Na terénne meranie ERT sme použili zostavu z 31 kusov elektród, ktoré sme zoradili rozstupom po 0,3 metre v jednej línii. Týmto nastavením sme dosiahli celkovú dĺžku 9,3 metra.

Rezistivitným rezom v pôde sme dosiahli meranie v bode 1 a 3 do hĺbky 1,15 m a v strednom pásme v bode 2 siločiaru prenikli až do hĺbky 1,8 m (Obr. 2).

Obr. 2 Rezistivitný rez pôdou s polohou pôdnych sond na klasický odber pôdnych vzoriek – pseudoglej modálny na TTP



Odber pôdnych vzoriek sme vykonali bodovo a označili numericky podľa línií zoradených elektród v rozpätí 2,4 m (bod 1); 4,8 m (bod 2) a 7,2 m (bod 3).

Na princípe prieniku magnetického poľa sme získali pohľad rozloženia priamo do pôdneho prostredia s relatívne širokým priestorom bez deštruktívneho zásahu.

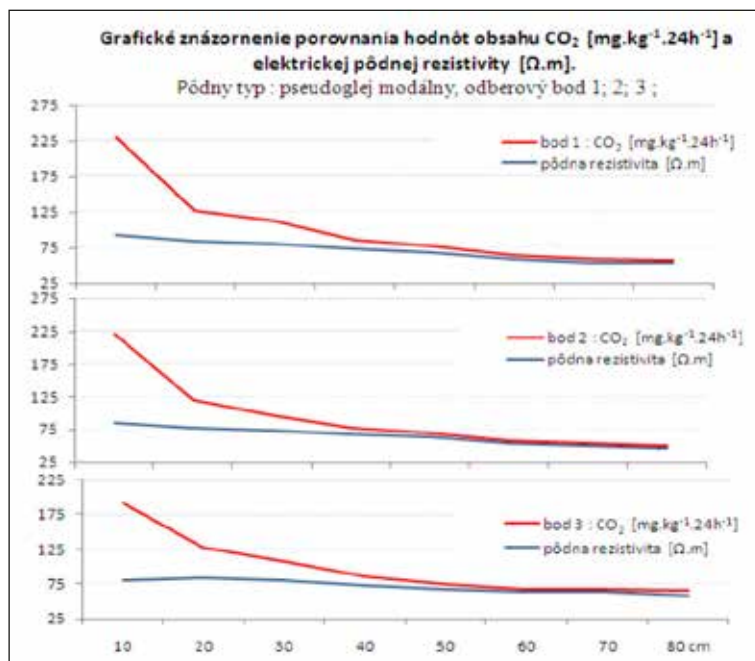
Hodnoty rezistivity od 31,5 do 72,9 Ω .m nám umožnili zobrazit rozloženie merného odporu (rezistivity) pod pôdnym povrchom, reprezentujúc rozloženie rôznych typov podpovrchových štruktúr a ich vlastností.

Tab. 1 Charakteristika pôdnych vlastností – pseudoglej modálny

Hĺbka [cm]	Hmotnosť		Pórovitosť		MKK [obj.%]	Pk (RVK) [obj.%]	pH	Rezistivita [Ω .m]	Vzdušná kapacita [obj.%]
	merná [g/cm ³]	objemová [g/cm ³]	celková [obj.%]	účinná [obj.%]					
0–10	2,66	1,41	47,12	17,10	39,48	38,14	4,45	86,38	9,57
10–20	2,65	1,40	47,06	16,03	36,76	34,82	4,61	84,05	14,79
20–30	2,66	1,44	46,03	9,39	35,11	33,04	4,61	77,76	14,71
30–40	2,74	1,59	41,72	4,77	36,75	35,69	4,10	71,93	8,22
40–50	2,72	1,60	41,04	0,10	35,22	33,97	4,00	66,54	9,67
50–60	2,74	1,59	42,07	2,17	35,24	34,16	3,86	58,52	10,39
60–70	2,72	1,56	42,51	6,66	35,94	34,90	3,81	55,71	10,38
70–80	2,72	1,57	42,34	10,61	36,51	35,95	3,81	52,89	10,66
x 0–80	2,70	1,52	43,74	8,35	36,38	35,08	4,16	69,22	11,05

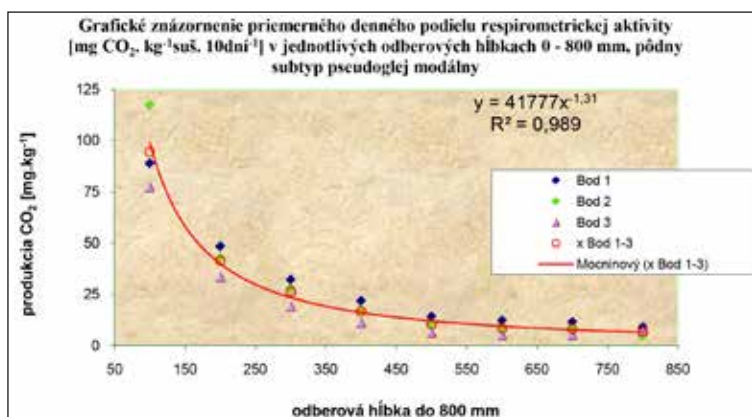
Nevýhodou metódy ERT je potreba kalibrácie na konkrétnu lokalitu, nakoľko na priebeh pôdnej rezistivity vplyva viacero pôdnych vlastností súčasne. Laboratórnym rozborom pôdnych vlastností a analytickým stanovením týchto vlastností sme získali o pôde detailnejšiu lokálnu informáciu a následne sme medzi nimi a elektrickou rezistivitou zistili korelačné vzťahy. Tieto vlastnosti nám umožnia určenie jednotlivých vrstiev v širšom priestore v danom pôdnom type na základe samotných rezistivných meraní, resp. zistených korelačných vzťahov.

Obr. 3 Grafické znázornenie korelačného vzťahu pôdnej mikrobiálnej respirometrickej aktivity hodnotenou nepriamou metódou meraním bazálnej produkcie CO₂ a elektrickej rezistivity – pseudoglej modálny



Tab. 2 Priemerná hodnota bazálnej produkcie CO₂ a momentálna vlhkosť pôdy – pseudoglej modálny

Odber pôdy		Produkcia CO ₂ po 24 hod.				STDEVA	VARIÁČNÝ KOEF. [%]
Hĺbka [cm]	Vlhkosť [hm. %]	CO ₂	Min.	Max.	Σ		
0–10	34,30	112,52	107,56	116,33	337,59	4,50	4,00
10–20	29,44	44,47	35,11	53,18	133,62	9,06	20,37
20–30	27,15	28,18	23,46	33,02	84,55	4,78	16,97
30–40	20,19	12,84	8,13	20,41	38,55	6,61	51,50
40–50	20,53	6,36	5,78	6,73	19,06	0,50	7,89
50–60	21,35	4,37	3,71	5,65	13,13	1,10	25,20
60–70	21,91	4,83	4,31	5,30	14,49	0,50	10,26
70–80	19,02	6,53	3,69	8,68	19,63	2,57	39,46
0–80	24,24	27,51	23,97	31,16	82,58	3,70	21,96

Obr. 4 Grafické znázornenie priemernej dennej produkcie CO₂ z prvej dekády izotermickej inkubačnej doby v laboratórnych podmienkach a mocninového trendu závislosti respirometrickej aktivity jednotlivých odberových

- Priemerný obsah MKK 36,38 % dosahuje nízku úroveň, avšak RVK s hodnotou 35,08 % zaraďuje pôdny typ do kategórie s vysokou retenčnou vodnou kapacitou (Tab. 1).
- Vzhľadom k hodnotám pórovitosti v ornici 45,75 %, v podornici 40,70 %, sme označili stav utlačenia a kypnosti ako ornica utlačená, podornica utlačená.
- Objemová hmotnosť v celom priereze pôdneho profilu dosahovala vysokú až veľmi vysokú úroveň pri hodnotení trávnych porastov.
- Pseudoglej modálny presiahol limitovanú vzdušnú kapacitu s hodnotou 13,03 %, t. j. areáciu pôdy nad 10 obj. % v ornicinej vrstve, ktorú hodnotíme ako prevzdušenú. V podornici dosahovala pôda nižšiu hodnotu areácie (7,35 %).
- Korelačný koeficient hodnôt pôdnej mikrobiálnej respirometrickej aktivity hodnote-

nou nepriamou metódou meraním bazálnej produkcie CO₂ (Tab. 2) a elektrickej rezistivity nadobúda na významnosti z hodnoty ($r=0,8026++$) pre ornici až na vysokú preukaznosť ($r = 0,9316++$) v podornici (Obr. 3).

- V kladnej korelácii k rezistivite bola hodnota maximálnej kapilárnej kapacity ($r = 0,8495++$), hodnota pH ($r = 0,9329$), hodnota celkovej pórovitosti ($r = 0,9538++$), hodnota pôdnej vlhkosti ($r = 0,8752++$) a hodnota areácie ($r = 0,7468++$).
- V zápornej korelácii k rezistivite sme zistili hodnoty odberovej hĺbky ($r = - 0,9926++$), obsah viazanej pre rastliny nevyužiteľnej vody ($r = - 0,4110+$) a hodnoty objemovej hmotnosti ($r = - 0,9478++$).
- Význam vývojového trendu poľnohospodárskych pôd vzrastá s možnosťami využitia poznatkov v systéme riadenia a plánovania územných celkov, v systéme orgánov štátnej správy a v informovanosti okruhu verejnosti o aktuálnom stave a vývoji pôd.

ZÁVER

Korelačný koeficient hodnôt pôdnej mikrobiálnej respirometrickej aktivity a elektrickej rezistivity nadobúda na významnosti pri ornici a stúpa spolu s hĺbkou pôdy.

Zistili sme, že skúmané vlastnosti pôd (maximálna kapilárna kapacita, hodnota pH, celková pórovitosť, pôdna vlhkosť, areácia) sú v kladnej korelácii k elektrickej rezistivite pôdy na pôdnom type pseudoglej modálny. V zápornej korelácii k elektrickej rezistivite pôdy bol obsah viazanej pre rastliny nevyužiteľnej vody a objemová hmotnosť.

Význam pozorovania vývojového trendu poľnohospodárskych pôd vzrastá s možnosťami využitia poznatkov v systéme riadenia a plánovania orgánov štátnej správy a v informovanosti okruhu verejnosti o aktuálnom stave a vývoji pôd.

LITERATÚRA

- KONDRASHKIN, B. E., POZDNYAKOV A. I., SAMSONOVA V. P., KONDRASHKINA M. I. 2011. *Electrical resistivity of arable gray forest soils*. In: Moscow University Soil Science Bulletin. Moscow, June 2011, Volume 66, Issue 2, pp 75–78. ISBN 0147–6874, 1934–7928
- KOBZA, J. a iní 2002. *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd*. VÚPOP Bratislava, 2002, 178 s.
- KOBZA, J. a iní 2009. *Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Záverečná správa za obdobie rokov 2006–2009*, VÚPOP Bratislava, 2009, 136 s.
- POZDNYAKOV, L. A. 2008. *Estimation of the Biological Activity of Peat Soils from the Specific Electrical Resistance*. Moscow: Eurasian Soil Science, Russia: Moscow State University, 2008, Vol. 41, No. 10, p. 1077–1082, ISSN 1064–2293
- Zákon č. 57/2013 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy.

VHODNOSŤ PÔDNO-EKOLOGICKÝCH PODMIENOK PRE PESTOVANIE JADROVÉHO OVOCIA A ICH PRIESTOROVÁ DIFERENCIÁCIA V RÁMCI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD SLOVENSKA

SUITABILITY OF SOIL-ECOLOGICAL CONDITIONS FOR THE CULTIVATION OF POMACEOUS FRUIT AND THEIR SPATIAL DIFFERENTIATION WITHIN THE AGRICULTURAL SOILS OF SLOVAKIA

Eva PEKÁROVÁ, Ľubomír HANISKO, Ivana KOVÁČIKOVÁ

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava
e-mail: e.pekarova@vupop.sk

Abstrakt

Pôdne, klimatické a orografické podmienky prostredia významne ovplyvňujú produkciu ovocných druhov a ich kvalitu. Príspevok sa zaoberá kategorizáciou poľnohospodárskych pôd z hľadiska ich vhodnosti pre pestovanie jadrového ovocia.

Priestorové vymedzenie vhodnosti prostredia vychádza zo systému bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek, ktorý je v podobe geografickej databázy premietnutý v informačnom systéme poľnohospodárskych pôd SR. Na základe vybraných 120 odrôd jabloní a 50 odrôd hrušiek je prezentovaná kategorizácia pôdnych, klimatických a orografických podmienok podľa stupňa vhodnosti na lokality veľmi vhodné, vhodné, menej vhodné a nevhodné. Priestorové vyjadrenie formou účelových máp poukázalo na nevyužitý potenciál pôdno-ekologických podmienok Slovenska pre pestovanie vybraných ovocných druhov.

Kľúčové slová: pôdno-ekologické podmienky, vhodnosť pestovania, jadrové ovocie, jablone, hrušky

Abstract

Soil, climatic and orographic conditions of the environment significantly influence the production of fruit species and their quality. The paper deals with the categorization of agricultural soil in terms of their suitability for cultivation of pomaceous fruit. Spatial definition of appropriate cropping conditions is based on the system of soil-ecological units, which is in the form of a geographical database reflected in the information system of agricultural soils of SR. On the basis of selected 120 apple tree varieties and 50 pear tree varieties it is presented the three-level categorization of soil ecological conditions of the very suitable, suitable, less suitable and unsuitable sites. Spatial expression of the suitability of growing

apples and pears pointed to the unused potential of the soil and environmental conditions for their cultivation.

Keywords: soil-ecological conditions, suitability for cropping, pomaceous fruit, apple tree, pear tree

ÚVOD

V súčasnosti čoraz častejšie rezonuje nepriaznivý vývoj slovenského ovocinárstva v súvislosti so znižovaním výmer intenzívnych sadov, ktorých prioritnou úlohou je vypestovať dostatočné množstvo ovocia mierneho pásma z vlastnej produkcie.

Úspešnosť pestovania bola vždy závislá od klimatických a pôdnych podmienok prostredia, ktoré rozhodujúcou mierou ovplyvňujú produkčné i ekonomické predpoklady pestovania. Aj keď nemalú úlohu zohrávajú genetické i šľachtiteľské opatrenia, vzhľadom na rôznorodosť pôdno-klimatických podmienok i značnú geomorfologickú heterogenitu majú rôzne regióny rôznu mieru vhodnosti na pestovanie jednotlivých ovocných druhov (HNIDZÍK, HRIČOVSKÝ, 1989). Novovyšľachtené odrody jadrového ovocia vysádzané systémom hustých výsadiieb so skoro plodiacimi odrodami sú zároveň náročnejšie na kvalitnú pôdu a prísun živín (JANICK, PAULL, 2008). Môžeme konštatovať, že pôda je nenahraditeľným úrodotvorným faktorom, ktorý priamo súvisí s efektivitou a rentabilitou ich pestovania. Objektívne výsledky kategorizácie agrárnej krajiny na pestovanie ovocných plodín je preto možné dosiahnuť len zosúladením dostatočného množstva analyzovaných údajov a parametrov o pôde.

Cieľ pestovania rôznych ovocných plodín spočíva v dosiahnutí množstva ako aj kvality produkcie, čo možno dosiahnuť pri zosúladení požiadaviek ovocných drevín s podmienkami prostredia, ktoré zahŕňa klimatické, orografické, edafické a biotické faktory. Kým niektoré parametre pôd možno do určitej miery korigovať, orografické a klimatické podmienky je treba rešpektovať a prispôbiť sa im. Pestrý pôdny fond Slovenska, prítomnosť troch klimatických oblastí, poloha na rozhraní panónskej, západokarpatskej a východokarpatskej flóry a fauny vytvárajú vhodné podmienky pre pestovanie mnohých ovocných druhov mierneho pásma s rôznymi ekologickými nárokmi. Kvalita pôdy vo väzbe na ostatné faktory prostredia významnou mierou ovplyvňuje produkčný proces a efektivnosť pestovania poľnohospodárskych plodín, čo dokumentujú viaceré práce (napr. VILČEK, BEDRNA, 2007; DŽATKO, 2002; DEMO, HRIČOVSKÝ, 2002). Vhodnosť pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jadrového ovocia a ich priestorová diferenciácia v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska sú predmetom predkladaného príspevku.

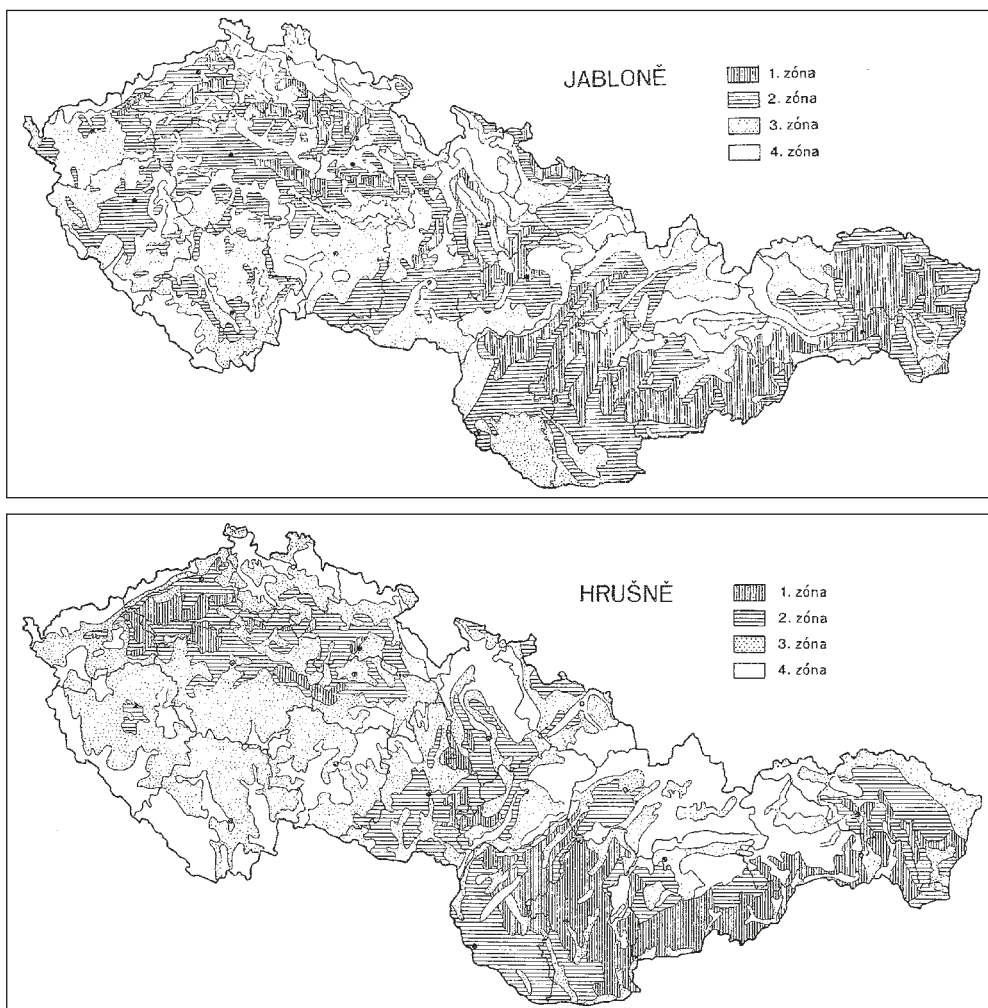
MATERIÁL A METÓDY

V minulosti pri riešení výskumných a šľachtiteľských úloh výskumné ovocinárske pracoviská vychádzali zo špecifických ekologických podmienok jednotlivých oblastí, na základe ktorých

boli postupne vypracované nové technológie použiteľné pri novozakladaných intenzívnych výsadbách. Rajonizáciou ovocných plodín resp. výberom vhodných stanovištných podmienok sa zaoberalo niekoľko významných ovocinárov (napr. KAMENICKÝ, KOHOUT a iní). Na základe uskutočneného výskumu boli v 60-tych rokoch vypracované štyri pestovateľské zóny vhodnosti pre ČR a SR (Obr. 1).

Rozmiestnenie a rajonizácia ovocných plodín v krajine si vyžaduje zohľadnenie vlastností konkrétneho ovocného druhu, odrody a konkrétnej lokality. Pre rozčlenenie pôd do kategórie vhodnosti pestovania ovocných plodín sú vlastnosti pôdy zahrnuté v kóde bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek – BPEJ. Areál konkrétnej BPEJ zároveň predstavuje špecifický územný celok, ktorý v dôsledku pôsobenia zložiek prostredia, predovšetkým pôdy, klímy a reliéfu má špecifické stanovištné vlastnosti, vyjadrené určitou hodnotou produkčného potenciálu.

Obr. 1 Rajonizačná mapa pestovateľských oblastí pre jablone a hrušky (Koch a iní, 1967)



Pre vyčlenenie klimatických regiónov bola použitá Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (DŽATKO, SOBOCKÁ a iní, 2009), prostredníctvom ktorej boli vyhodnotené jednotlivé parametre prostredia. Podľa stupňa vhodnosti bola vytvorená štvorstupňová kategorizácia pre pestovanie jadrových plodín, pričom vlastnosti 120 odrôd jabĺk (Jabloň domáca – *Malus domestica* Mill.), 50 odrôd hrušiek (Hruška obyčajná – *Pyrus communis* L.) a ich fenologické charakteristiky boli taktiež zohľadnené pri výbere vhodných pôdno-ekologických podmienok pre ich pestovanie (BLAŽEK, 2001; NESRSTA, 2011).

Ako prvý parameter vhodnosti podmienok prostredia bol vybraný vhodný klimatický región Slovenska. Kľúčovým ukazovateľom boli účelovo vybrané zoskupenia produkčne vhodných pôdnych subtypov a pôdnych druhov na základe zrnitosti. Ďalšími parametrami boli vybrané optimálne kódy svahovitosti, expozície, skeletovitosti a hĺbky pôdneho profilu.

Podľa priloženej rajonizačnej mapy je možné potvrdiť známy fakt, že hlavné jabloňové oblasti sú tradične v podhorských oblastiach, kde je dostatok vlhky. V teplých oblastiach sú plody viac vyfarbené, cukornatejšie, a skôr dozrievajú, preto sú aj menej trvanlivé a skladovateľné (BLAŽEK, 2001).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Uvedené požiadavky boli premietnuté do pôdnych, klimatických a orografických podmienok prostredia, ktoré sú zahrnuté v kóde bonitovaných pôdno-ekologických podmienok. Na základe uvedeného prístupu bola vymedzená vhodnosť podmienok pestovania jadrového ovocia v rámci poľnohospodárskej pôdy SR, pričom výber stanovištných podmienok bol zameraný na vhodné podmienky, ktoré vytvárajú základný predpoklad pre dosiahnutie úrody ovocia v požadovanej kvalite a dosiahnutí rentability pestovania. Kategórie vhodnosti pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jabloní a hrušiek sumarizuje tabuľka 1.

Tab. 1 Kategórie vhodnosti pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jabloní a hrušiek

1. zóna veľmi vhodná	<ul style="list-style-type: none"> oblasť veľmi teplého regiónu (00, 01, 03–04) nížin teplých (Nt) optimálne podmienky vzhľadom na všetky pôdno-ekologické parametre pestovanie najnáročnejších odrôd
2. zóna vhodná	<ul style="list-style-type: none"> oblasť nížin zahrnujúcich teplú až mierne teplú klímu (02, 04–05) nížin (N) jeden parameter z BPEJ menej vhodný, avšak vhodnou agrotechnikou sa dajú dosiahnuť pravidelné a vysokokvalitné úrody ovocia pestovanie náročných odrôd
3. zóna menej vhodná	<ul style="list-style-type: none"> oblasti pahorkatín zahrnujúcich mierne teplú až mierne chladnú klímu (02, 05, 06–08) pahorkatín (P) dva a viac parametrov z BPEJ menej vhodných pestovanie menej náročných odrôd
4. zóna nevhodná	<ul style="list-style-type: none"> oblasti vrchovín v klimatickej zóne mierne chladnej až chladnej, mierne vlhkej a veľmi chladnej vlhkej klíme (08, 09, 10) – vrchovín (V) vo veľmi členitom území a značne svahovitom teréne pre intenzívne pestovanie nevhodné pestovanie ovocných plodín len ako doplnková zložka

Parametre hodnotenia pre pestovanie jabloní

Jablone patria medzi veľmi tolerantné ovocné druhy s najväčším počtom odrôd, čo sa premietlo aj pri výbere pôdno-ekologických podmienok. Ako prvý parameter bol vybraný z BPEJ klimatický región, z ktorého pre jablone boli vybrané charakteristiky od veľmi teplého (00), suchého a nížinného regiónu až po mierne chladný a mierne vlhký región (08). Do rozpätia veľmi vhodných až vhodných zón boli vybrané klimatické regióny od veľmi teplého, suchého, nížinného regiónu po pomerne teplý, suchý, kotlinový, kontinentálny (05). Ako nevhodné pre jablone boli vybrané chladný, vlhký (09) a veľmi chladný, vlhký (10) klimatický región.

Tab. 2 Výber vhodných odrôd jabĺk na základe tabuľky č. 1

1. zóna veľmi vhodná	Letné: Vista Bela Jesenné: Dione, Gala+klony Zimné: Braeburn, Florina, Gloster, Golden Delicious, Goldspur, Granny Smith, Mutsu, Pinova, Zvonkové, Starking
2. zóna vhodná	Letné: Daria, Discovery, James Grieve Red, Júlia, Mio, Quinte Jesenné: Akane, Delén, Denár, Jonalord, Lord Lambourne, Doris, Nabella, Šampión, Vesna, Vítan Zimné: Angold, Biogolden, Coxova reneta, Dalila, Dione, Domino, Dublet, Durit, Fany, Fuji, Heliodor, Jolana, Jonagold + klony, Jonagored, Jonagored Supra, Jonalord, Karmína, Luna, Melrose, Meteor, Mikra, Moonlight, Ontario, Opal, Otava, Pilot, Pinova, Rajka, Red Jonaprince, Resista, Rubín, Rubinola, Rubinstep, Rucla, Shalimar, Slovakia, Spartan, Svatava, Topaz, Unitop, Viktoria
3. zóna menej vhodná	Letné: Ametys, Atlas, Dima, Hana, Lena, Miodar, Mivibe, Nela, Priesvitné letné, Zita, Zlatava Jesenné: Diadem, Dolores, Florijam, Oldenburgovo červené, Prima, Wealthy Zimné: Aneta, Banánové zimné, Blaník, Bohemia, Clijo, Delor, Diamant, Dulcit, Gold Bohemia, Flordika, Goldlane, Goldstar, Hrivna, Idared, Jarka, Jonathan, Lipno, Lotos, Melodie, Nabella, Orion, Patriot, Produkta, Rondo, Rosana, Rozela, Selena, Sonet, Tábor, Vanda, Viktoria, Vltava, Vysočina

Ako následné parametre dôležitosti boli vybrané vhodné pôdne faktory, ktoré pôsobia na ovocné druhy svojimi fyzikálnymi, chemickými a biologickými vlastnosťami. V rámci parametra zrnitosti pôdy boli do veľmi vhodných a vhodných podmienok zaradené pôdy stredne ťažké hlinité (02) a stredne ťažké až ľahšie pôdy piesočnaté (05). Ako menej vhodné pre jablone boli zaradené pôdy ťažké ílovitohlinité (03).

Medzi pôdnymi typmi, subtypmi a varietami sú výrazné produkčné rozdiely, bolo preto potrebné akceptovať pri výbere aj túto pôdnu variabilitu v rámci Slovenska. V rámci klasifikačného systému bolo z hlavných pôdných jednotiek (HPJ) pre jablone vybraných 36 HPJ, ktoré boli podľa charakteristík roztriedené do jednotlivých zón vhodnosti.

Aj napriek tomu, že sú jablone veľmi tolerantné ovocné druhy, pre intenzívne pestovanie sú nevhodné pôdy veľmi ťažké, glejové a opačného charakteru pôdy ľahké a vysychajúce, ďalej solončáky a slance a výrazne poškodené pôdy imisiami (HANISKO a iní, 2013). Medzi nevyhovujúce boli zaradené aj litozeme a rankre (extrémne skeletovité pôdy) a organozeme (rašelinové pôdy).

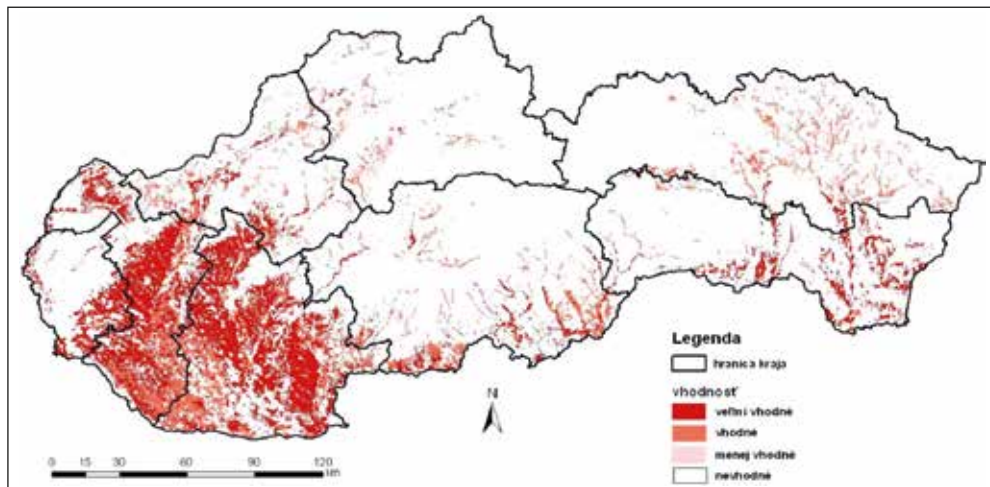
Výrazne praktický význam pre ovocné plodiny má svahovitosť pozemku, ktorá rozhoduje o účinnosti vodnej erózie a intenzite dopadu slnečného žiarenia. Aj keď sa väčšina poľnohospodárskych pôd Slovenska nachádza na rovinách do 3°, faktor svahu rozhodujúcou mierou

ovplyvňuje využívanie pôd pre príslušný ovocný druh. Z toho dôvodu boli do kategórie menej vhodných podmienok zaradené už lokality s miernym svahom (02) od 3° do 7°. Do kategórie veľmi vhodných až vhodných zón boli vybrané roviny bez prejavu erózie (00) so svahovitosťou od 0° do 1° a roviny s prejavom erózie (01) od 1° do 3°.

Významnú úlohu pri výbere stanovišťa zohráva expozícia. Zvlášť významný rozdiel v produkčnom potenciáli pôd je na svahoch južných, resp. optimálnych v porovnaní s pôdami ležiacimi na severných svahoch. V rámci veľmi vhodných a vhodných zón bola vybraná rovina (00) až južná expozícia (01), za menej vhodné východná a západná expozícia (02).

V rámci skeletovitosti sú najvhodnejšie pre jablone pôdy bez skeletu, medzi menej vhodné boli zaradené pôdy slabo skeletovité (obsah skeletu v povrchovom horizonte 5–25 %, v podpovrchovom horizonte 10–25 %). Pri výbere parametra hĺbky pôdy boli medzi najvhodnejšie zaradené pôdy hlboké 0,60 m a viac (00), medzi menej vhodné boli zaradené pôdy stredne hlboké 0,30–0,60 m (01) a ako nevhodné pôdy plytké do 0,30 m (02).

Obr. 3 Vymedzenie vhodných stanovištných podmienok pre pestovanie jabloní



Parametre hodnotenia pre pestovanie hrušiek

Hrušky patria vo všeobecnosti k ovocným druhom stredne teplomilným, avšak pri výbere vhodných pôdno-klimatických podmienok bolo nutné brať do úvahy, že sú náročnejšie ako jablone. Hrušky neznášajú vyšší obsah karbonátov v pôde, a to najmä na dulovom podpníku (BLAŽEK a iní, 1998). Sú menej odolné proti zimným mrazom, najmä zimné odrody hrušiek vyžadujú k dobrému vyzretiu teplejšie polohy, kde sa zároveň nachádzajú aj kvalitnejšie pôdy. Z toho dôvodu je potrebné pre zimné odrody hrušiek vrátane ázijských (*Pyrus pyrifolia* Burm. F. – hruška hruškolistá) uprednostňovať najteplejšie oblasti Slovenska a do vyšších polôh sú vhodnejšie odrody jesenné (HRIČOVSKÝ, 2008; PAPRŠTEJN a iní, 2005; HRIČOVSKÝ, ŘEZNIČEK, 2003; SUS, 2000).

Podobne ako pri jabloniach ako prvý parameter bol vybraný z BPEJ klimatický región,

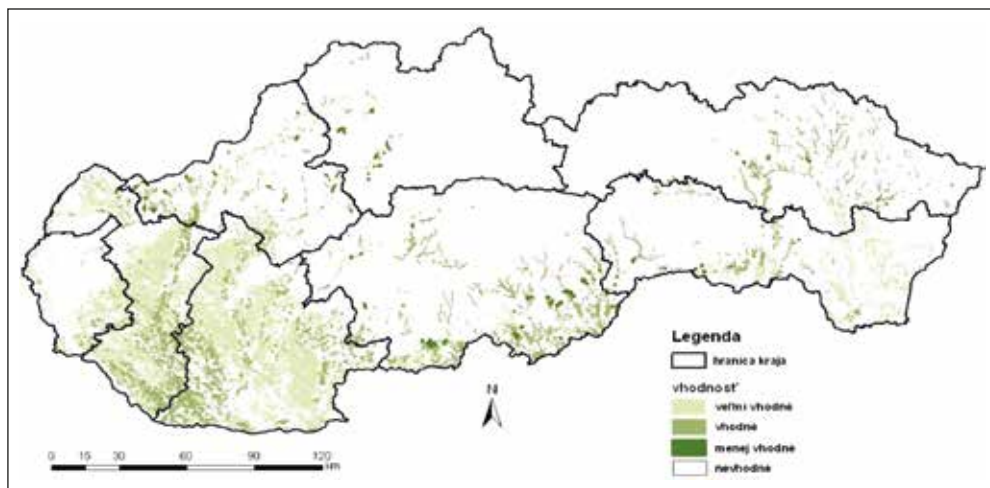
z ktorého pre hrušky boli vybrané charakteristiky od veľmi teplého (00), suchého a nížinného regiónu až po mierne teplý a mierne vlhký región (07). Do rozpätia veľmi vhodných až vhodných zón boli vybrané klimatické regióny po teplý, veľmi suchý, kotlinový, kontinentálny (04) a do menej vhodných zón boli vybrané klimatické regióny pomerne teplé, mierne suché, vrchovinové, kontinentálne (05) až po mierne teplé, mierne vlhké regióny (07). Ako nevhodné pre hrušky boli zaradené regióny už od mierne chladného, mierne vlhkého (08), nakoľko bolo potrebné brať do úvahy dolnú hranicu odolnosti koreňov hrušiek voči mrazu, ktorá sa pohybuje približne do -9°C , o čom podstatnou mierou rozhoduje aj druh pôdy. Následne boli aj regióny chladný a vlhký (09) a veľmi chladný a vlhký (10) zaradené medzi nevhodné lokality pre intenzívne pestovanie hrušiek, pretože kvety a taktiež mladé plody hrušiek zničí teplota -1°C .

Tab. 3 Výber vhodných odrôd hrušiek na základe tabuľky č. 1

1. zóna veľmi vhodná	Letné: Júlová, Williamsova
	Jesenné: Boscova flaška, Charneuská, Diana
	Zimné: Astra, Bohemica, Lucasova, Pařížanka
2. zóna vhodná	Letné: Clappova, Alfa, Isolda, Laura
	Jesenné: Armida, Konferencia, Vila, Bojnická jesenná
	Zimné: Beta, David, Decora, Dicolor, Dita, Erika, Grosdemange, Harbo, Jana, Konvert, Luna, Petra, Vladka, Vonka
3. zóna menej vhodná	Letné: Alica, Radana, Milada
	Jesenné: Blanka, Elektra, Jizera, Karina, Morava, Nitra, Zlata, Ivana, Korvinova
	Skoré zimné: Bojnická vianočná, Gracie, Pribinova
	Zimné: Delta, Bojnická zimná

Nakoľko hrušky nie sú tak tolerantné na pôdy ako jablone, bolo potrebné u nich predovšetkým zohľadňovať priepustnosť pôdy, pretože v ťažkých a mokrych pôdach aj počas hlavného vegetačného obdobia žltnú hruškám listy a rast letorastov je obmedzený. V suchých pôdach majú zase plody tendenciu ku vírusovej kamienkovitosti. (HRIČOVSKÝ a iní, 1997; NEČAS, 2010).

V minulosti boli odporúčané pre hrušky ako najvhodnejšie pôdne typy hnedozem, degradovaná černozem a fluvizem (DEMO, BIELEK, 2000; HNIDZÍK, HRIČOVSKÝ, 1989). Z pohľadu súčasného rozpracovania pôdnych typov, subtypov a variet, ktoré predstavujú 100 hlavných pôdnych jednotiek (HPJ) v rámci Slovenska, bolo z HPJ pre hrušky vybraných 32 HPJ, ktoré boli podľa charakteristík taktiež roztriedené do jednotlivých zón vhodnosti. Výber vhodných parametrov zrnitosti, svahovitosti, expozície, skeletovitosti a hĺbky pôdy sú u hrušiek totožné s jablňami.

Obr. 4 Vymedzenie vhodných stanovištných podmienok pre pestovanie hrušiek

Poľnohospodárske pôdy Slovenska umožňujú rentabilne pestovať prevažnú väčšinu odrôd jabloní a hrušiek. Existujú však aj lokality, na ktorých neodporúčame produkčné pestovanie jadrového ovocia. Hodnotenie pôdno-ekologických podmienok Slovenska cez reálne možnú produkciu pestovania jadrového ovocia potvrdzuje už známu skutočnosť, že najvyššie úrody môžeme očakávať v nížinách a s rastúcou nadmorskou výškou sa produkčný potenciál pôd znižuje a zároveň klesá aj ekonomická rentabilita pestovania. Uvedená skutočnosť korešponduje aj s kategorizáciou vhodnosti pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jabloní a hrušiek a podielom uvedených kategórií, čo ilustrujú výsledky tabuliek 4 a 5.

Tab. 4 Potenciál pestovania jabloní v ha

Kraje	veľmi vhodná zóna (VVZ)	vhodná zóna (VZ)	menej vhodná zóna (MVZ)	potenciál spolu
Bratislavský	41 996,38	1 981,60	–	43 977,98
Trnavský	175 786,68	26 485,02	208,97	202 480,66
Trenčiansky	29 542,46	8 778,31	1 124,57	39 445,34
Nitriansky	259 303,87	38 237,20	–	297 541,07
Žilinský	3 613,59	4 505,85	2 435,30	10 554,74
Banskobystrický	46 603,33	15 117,88	101,86	61 823,06
Prešovský	9 899,30	14 714,01	3 177,33	27 790,63
Košický	57 842,48	3 540,22	346,20	61 728,90
Spolu	624 588,08	113 360,08	7 394,22	745 342,38

Tab. 5 Potenciál pestovania hrušiek v ha

Kraje	veľmi vhodná zóna (VVZ)	vhodná zóna (VZ)	menej vhodná zóna (MVZ)	potenciál spolu
Bratislavský	41 996,38	1 981,60	>	43 977,98
Trnavský	175 785,30	26 485,02	34,63	202 304,95

Kraje	veľmi vhodná zóna (VVZ)	vhodná zóna (VZ)	menej vhodná zóna (MVZ)	potenciál spolu
Trenčiansky	29 274,85	7 468,54	5 174,46	37 260,85
Nitriansky	259 131,27	38 236,91	–	297 368,18
Žilinský	2 088,48	814,84	441,31	3 344,62
Banskobystrický	34 033,53	25 626,93	1 514,53	61 174,99
Prešovský	8 438,55	9 813,46	196,45	18 448,46
Košický	50 788,63	9 144,42	370,90	60 303,95
Spolu	601 536,98	119 571,71	3 075,28	724 183,98

Ako vyplýva z údajov tabuľky 4, potenciál výmer veľmi vhodných, vhodných a menej vhodných oblastí pre pestovanie jabloní je najvyšší v Nitrianskom kraji (297 541,07 ha) a klesá v poradí Nitriansky kraj > Trnavský kraj > Banskobystrický > Košický > Bratislavský > Trenčiansky > Prešovský > Žilinský (10 554,74 ha).

Ako vyplýva z údajov Tabuľky 5, potenciál výmer veľmi vhodných, vhodných a menej vhodných oblastí pre pestovanie hrušiek je najvyšší v Nitrianskom kraji (297 368,18 ha) a klesá v poradí Nitriansky kraj > Trnavský kraj > Banskobystrický > Košický > Bratislavský > Trenčiansky > Prešovský > Žilinský (3 344,62 ha).

Výmera veľmi vhodných a vhodných oblastí pestovania uvedených jadrovín mnohonásobne prevyšuje výmeru plodiacich sádov, ktorú eviduje ÚKSÚP Bratislava, čo v celonárodnom meradle predstavuje skutočné využitie iba 0,31 % v prípade jabloní a 0,01 % v prípade hrušiek. Uvedená skutočnosť poukazuje na to, že v podmienkach Slovenska je reálny potenciál pre zvýšenie produkcie uvedeného ovocia.

Na základe výsledkov práce predstavuje potenciál podielu veľmi vhodných plôch až menej vhodných pre pestovanie jabloní 745 345,38 ha, v prípade hrušiek 724 183,98 ha, čo ilustrujú aj mapové výstupy.

ZÁVER

Priestorové vyjadrenie formou účelových máp a rešpektovanie vhodnosti pôd nachádza uplatnenie pri optimalizácii rozhodovacích procesov v súvislosti s vypracovávaním podnikateľských zámerov v rámci plánovania ovocných sádov a efektívneho využívania pôdneho fondu.

Optimálne pôdno-ekologické podmienky v rámci poľnohospodárskeho pôdneho fondu umožňujú zaradiť uvedené ovocné druhy do pestovania aj v rámci ekologického poľnohospodárstva, kde kvalitná pôda je základom úspešného pestovania. Zvýšením počtu ovocných sádov v rámci produkčných oblastí poľnohospodárskej pôdy možno vnímať ako príspevok k zvyšovaniu biodiverzity poľnohospodársky využívaného prostredia, čo potvrdzuje aj ŠARAPATKA (2008).

Hoci stanovištné podmienky umožňujú rovnomernejšie rozšírenie produkčného pestovania jadrovín na poľnohospodárskej pôde, k faktorom ktoré zrejme tiež rozhodujú o ich zvýšení

pestovania patria tradícia, technologické vybavenie vrátane pozberovej úpravy ovocia a samozrejme tiež dodávateľsko-odberateľské vzťahy.

Vypracovanie kategorizácie vhodnosti pôd pre pestovanie jabloní a hrušiek a priestorové vyjadrenie formou účelových máp môžu prispieť k efektívnejšej rajonizácii pestovania týchto ovocných druhov.

LITERATÚRA

- BLAŽEK, J. a iní, 1998. *Ovocníctví*. Praha, Český záhradkársky svaz, nakl. KVĚT, 383s. ISBN 80–85362-33–3.
- BLAŽEK, J., 2001. *Pěstujeme jabloně*. Praha. Nakl. Brázda, 256 s. ISBN 80–209-0294–5.
- DEMO, M., BIELEK, P., 2000. *Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín*, SPU Nitra, VÚPOP Bratislava, 667 s., ISBN 80–7137-732–5.
- DEMO, M., HRIČOVSKÝ, I., 2002. *Trvalo udržateľné technológie v záhradníctve*, SPU Nitra, VÚPOP Bratislava, 581 s., ISBN 80–8069-056–1.
- DŽATKO, M.: *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. VÚPOP, Bratislava, 2002, 88 s., ISBN 80–85361-94–9.
- DŽATKO, M., SOBOCKÁ J. a iní, 2009. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek. Inovovaná príručka pre bonitáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd Slovenska*. VÚPOP, Bratislava, 102 s., ISBN 978–80-89128–55-6.
- HANISKO, Ľ., HRÍBIK, J., HRIČOVSKÝ, I., 2013. *Starostlivosť o pôdu a vodu pri pestovaní jabloní a hrušiek*, VÚPOP Bratislava, 142 s., ISBN 978–80-89128–99-0.
- HNIDZÍK, F., HRIČOVSKÝ, I., 1989. *Jablone a hrušky*, Príroda, Bratislava.
- HRIČOVSKÝ, I.: *Pomológia*, 2008. Odrody druhej polovice 20. Storočia a prvých rokov 3. Milénia, 188 s., ISBN 978–80-89327–04-1.
- HRIČOVSKÝ, I., ŘEZNÍČEK, V., SUS, J.: *Jabloně a hrušně*, 2003, 104 s., ISBN 80–07-11223–5.
- HRIČOVSKÝ, I., MATUŠKOVIČ, J., PAULEN, O., 1997. *Ovocinárstvo*, SPU Nitra, 150 s., ISBN 80–7137-366–4.
- JANICK, J. and PAULL, R.E., 2008. *The Encyclopedia of Fruit and Nuts*, CAB International, Cambridge University Press, ISBN 978–0-85199–638-7.
- KAMENICKÝ, K., 1933. *Ovocnárské oblasti československé a výběry tržních odrůd ovocných*.
- KOHOUT, K., 1957. *Mapy zón vhodnosti hlavních ovocných druhů*.
- KOCH, V., BLATNÝ, C., BLAHA, J., KALÁŠEK, J., 1967, *Hrušky*, Academia Praha.
- MATUŠKOVIČ, J., PAULEN, O.: *Základy ovocinárstva. Ochrana biodiverzity*, SPU Nitra, 2001, 137 s., ISBN 80–7137-850-X.
- NEČAS, T., 2010. *Pěstujeme hrušně a kdouloně*, 102 s., ISBN 978–80-247–2500-0.
- NESRSTA, D., 2011. *Jádroviny*. Vydavatelství Baštan, Olomouc, ISBN 978–80-87091–17-3.
- PAPRŠTEJN, F. a kolektív, 2005. *Inovace pěstitelských systémů hrušní*, Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy, s. r. o., ISBN 80–902636-5–8.
- SUS, J. a iní, 2000. *Obrazový atlas jaderovin*, Nakladatelství Květ, Praha.
- ŠARAPATKA, B., Urs Niggli a iní., 2008. *Zemědělství a krajina – Cesty k vzájemnému souladu*, Univerzita Palackého v Olomouci, 271 s., ISBN 978–80.244–1885-8.
- VILČEK, J., BEDRNA, Z., 2007. *Vhodnosť poľnohospodárskych pôd a krajiny Slovenska na pestovanie rastlín*. VÚPOP, Bratislava, 248 s., ISBN 978–80-89128–36-5.

REKONŠTRUKCIA ZÁSObY PŌDNEHO ORGANICKÉHO UHLÍKA V ORNIČNEJ VRSTVE PŌD ONDAVSKEJ VRCHOVINY

TOPSOIL ORGANIC CARBON STOCKS RECONSTRUCTION IN SOILS OF ONDAVSKÁ VRCHOVINA REGION

Rastislav SKALSKÝ, Jarmila MAKOVNÍKOVÁ, Gabriela BARANČÍKOVÁ, Zuzana TARASOVIČOVÁ, Štefan KOCO

Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, r.skalsky@vupop.sk

Abstrakt

PŌdny organický uhlík (POC) predstavuje dŏležitú zložku cyklu uhlíka. Pre potreby bilancie uhlíka v danom historickom období, je okrem konečného stavu zásob potrebné poznať aj iníciaľne zásoby. V príspevku sa zaoberáme rekonštrukciou zásob POC v orničiach pŏd Ondavskej vrchoviny k roku 1970. Ako zdroj údajov o POC sme použili údaje o sondách komplexného prieskumu poľnohospodárskych pŏd Slovenska. Údaje o priestorovej distribúcii orných pŏd a trvalých trávnych porastov boli prevzaté z národného systému pre evidenciu poľnohospodárskych pozemkov LPIS. Priestorová distribúcia pŏdnych jednotiek bola odvodená z máp bonitovaných pŏdnoekologických jednotiek BPEJ. Na základe štatistickej analýzy boli pre územie vytipované pŏdne jednotky, ktoré vhodne odrážali rozloženie POC v orničných horizontoch a zároveň reprezentovali plošne významné územia orných pŏd. Pomocou jednoduchej interpolačnej metódy (Thiessenove polygóny) a súboru expertných pravidiel bol vytvorený priestorový model koncentrácie POC, ktorý preukázal dobrú zhodu s rozložením hodnôt koncentrácie POC vo vstupných údajoch. Pomocou pedotransferovej funkcie bola odvodená objemová hmotnosť a vypočítaný finálny model zásoby POC. Údaje predstavujú prvé priblíženie a budú použité pre projekciu zásob POC od roku 1970 do súčasnosti pomocou modelu RothC.

Kľúčové slová: kvantifikácia legendy pŏdnej mapy, údaje komplexného prieskumu poľnohospodárskych pŏd

Abstract

Soil organic carbon (POC) is important element of global organic carbon cycle. For the POC balancing at any given historical period, initial POC stock must be known along with the information on actual POC stock. In the paper we describe reconstruction of the topsoil POC stock in the arable land of Ondavská vrchovina region around 1970. Soil profiles from National agricultural soil inventory served as source of topsoil POC data. Spatial distribution of cropland and grassland data was adopted from National land parcel identification system LPIS. Soil typological units were spatially allocated based on the maps of land-evaluation units BPEJ. Soil

data were statistically processed and soil typological units well representing topsoil POC distribution and also representing spatially significant areas were defined for the region. Simple interpolation method (Thiessen polygons) together with the application of the set of expert rules resulted in spatial model of POC concentration, which has proven good agreement with spatial distribution of POC values from input soil profile data. Bulk density of topsoil was estimated by pedotransfer equations and final POC stock model was calculated for the whole cropland. Estimated POC data represent the first approximation for the region and will serve as inputs for projection of POC stock in period from 1970 up to now by RothC model.

Keywords: quantification of soil map legend, national agricultural soil inventory data

ÚVOD

PŔdny organický uhlík (POC) predstavuje dŔležitú zložku biogeochemického cyklu uhlíka. PŔda a činnosti na ňu viazané (poľnohospodárstvo, lesníctvo, urbanizácia) môžu bilanciu uhlíka ovplyvňovať pozitívne alebo negatívne a nepriamo tak vplývať na emisiu uhlíka z pŔdy. Poznanie stavu zásob v povrchovej vrstve pŔdy má veľký význam pre bilancovanie zásob POC v rámci rôznych nadnárodných aktivít zameraných na riešenie problematiky vzťahu klimatickej zmeny a POC (napr. ECKLEMAN a iní, 2006, STOLBOVOY a MONTANARELLA, 2008). Pre akékoľvek bilancovanie zásoby pŔdnej organickej hmoty v stanovenom historickom období je nevyhnutné poznať východiskový stav zásoby POC a aspoň jeho konečný stav.

Pre územie poľnohospodárskych pŔd Slovenska bol v nedávnom období spracovaný model zásoby POC k roku 1970, ktorý bol následne projektovaný pomocou modelu RothC až do roku 2007 (BARANČIKOVÁ a iní, 2011). Základný priestorový rámec tohto modelu bol stanovený na 10 × 10 km, čo zodpovedá najmä možnostiam dostupných údajov a ich spracovania a menej reálnym potrebám bilancovania POC na národnej úrovni.

V príspevku SKALSKÝ a iní (2012) sa venujeme príprave priestorového modelu obsahu POC v povrchovej vrstve pŔdy (orné pŔdy) v priestorovom rozlíšení 1 × 1 km na podklade údajov komplexného prieskumu poľnohospodárskych pŔd Slovenska (KPP). Práca predstavuje príklad rekonštrukcie zásoby POC pre jeden z poľnohospodársky menej produkčných regiónov Slovenska. Zásoby POC predstavujú iniciálne hodnoty pre bilancovanie pomocou modelu RothC. Zároveň ukazuje význam sústredenia sa na priestorovo detailnejšie analýzy v rámci logicky zvolených regiónov, ktoré vedú k presnejším odhadom iniciálnych hodnôt POC.

Cieľom tohto príspevku je prezentovať spôsob rekonštrukcie zásoby POC v pŔdno-ekologicky odlišných podmienkach Ondavskej vrchoviny. Región predstavuje územie s nižším produkčným potenciálom ako Žitný ostrov (VILČEK a iní 2007) a zároveň aj diverzifikovanejšou krajinou pokrývkou. V tomto príspevku sa venujeme iba územiu, ktoré je reprezentované ornými pŔdami.

MATERIÁL A METÓDY

Vstupné údaje o pôde a krajinej pokrývke

Základ pre analýzu pôdnych podmienok záujmového územia a tvorbu modelu tvorili údaje z národného informačného systému o poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Digitálna databáza výberových sond Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska (ďalej ako AISOP, LINKÉŠ a iní 1988) bola použitá ako zdroj profilových údajov o obsahu pôdneho organického uhlíka (Cox (%)) a ílu ako zdroj údajov o krajinej pokrývke v mieste kopanej sondy počas pôdneho prieskumu. Digitálna mapa bonitovaných pôdnoekologických jednotiek (ďalej ako BPEJ, LINKÉŠ a iní 1996) v mierke 1:5 000 zobrazuje na mape areály pôdno-krajinných jednotiek, ktoré vyjadrujú kombináciu vlastností klímy, georeliéfu a pôdy dôležitú z hľadiska produkcie poľnohospodárskych plodín. Mapa BPEJ bola použitá ako zdroj údajov o priestorovom rozložení pôdnych typologických jednotiek a pôdnych druhov v záujmovom území.

V roku 2011 BALKOVIČ a iní (2011) publikovali priestorový model obsahu piesku (frakcia 0,05 – 2,00 mm) a ílu (frakcia < 0,002 mm) v povrchovom horizonte poľnohospodárskych pôd Slovenska. Model bol vytvorený z údajov o sondách Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska (databáza AISOP a údaje o základných sondách) v podobe rastrov s priestorovým rozlíšením 20 × 20 m. Tento model bol použitý ako zdroj priestorových údajov o obsahu piesku a ílu v záujmovom území.

Národný systém evidencie poľnohospodársky využívaných poľnohospodárskych pozemkov Slovenska (LPIS) obsahuje údaje o pestovanej kultúre (orné pôdy, trvalé trávne porasty, vinohrady, sady, chmeľnice a iné) v rámci fyzických blokov poľnohospodárskej pôdy. LPIS bol využitý ako zdroj informácie o priestorovom rozložení orných pôd, ktorý je platný ku koncu roka 2012.

Pre potreby výmeny environmentálnej informácie boli v rámci EÚ navrhnuté geografické siete s rôznym priestorovým rozlíšením, ktoré majú rovnaký počiatok a rozsah pokrývajúci celé územie EÚ (ANNONI 2005). Priestorové siete s rozlíšením 1 × 1 km a 10 × 10 km pokrývajúce územie Slovenska boli po transformácii geografického súradnicového systému použité ako základný priestorový rámec pre tvorbu modelu (sieť 1 × 1 km) alebo ako priestorový rámec pre validáciu vytvoreného modelu (sieť 10 × 10 km).

Príprava údajov o pôdnych sondách

Z databázy AISOP boli vybrané všetky pôdne profily, ktoré sa nachádzali v rámci záujmového územia alebo v jeho bezprostrednom susedstve. Celkom bolo vybraných 1486 pôdnych profilov. Z tohto súboru údajov boli v ďalšom kroku vybrané iba pôdne profily, ktoré spĺňali podmienku minimálnej koncentrácie POC (Cox, %) v orničnom horizonte (Cox > 0,5 %) a v podorničnom horizonte (Cox > 0,2 %), podmienku minimálnej hĺbky podorničného horizontu (> 30 cm) a podmienku triedy krajinej pokrývky (orná pôda alebo trvalý trávny porast). Takto boli eliminované všetky záznamy, ktoré mohli mať chybné zaznamenané merania obsahu POC, resp. aj merania vzťahované na neštandardné hrúbky horizontov. Zo súboru boli tiež vylúčené

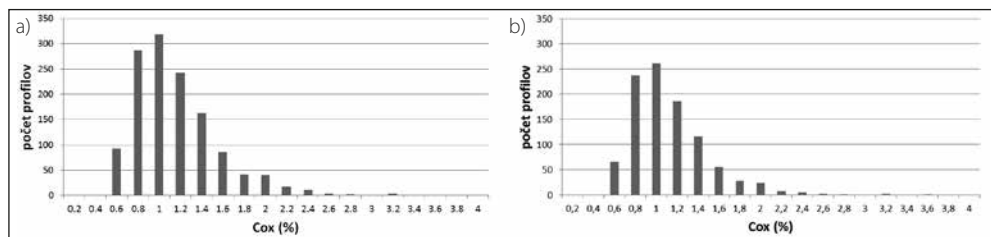
záznamy s obsahom Cox > 10 %. Tieto záznamy mali vzhľadom na celkový počet profilov iba zanedbateľnú početnosť a boli rozložené v rámci viacerých pôdnych typov (KM, FM). Pre ďalšie analýzy tak boli použité údaje s 1314 pôdnymi profilmi. Lokalizácia výsledného súboru pôdnych profilov je uvedená na obrázku 4.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Analýza údajov o koncentrácii POC

Z údajov o obsahu Cox v povrchovom a prvom podpovrchovom horizonte bola ako vážený priemer vypočítaná priemerná koncentrácia POC (%) vo vrstve 0–30 cm. Ako váhový koeficient bola použitá hrúbka orničného a podorničného horizontu v rámci stanoveného intervalu 0–30 cm od povrchu pôdy. Rozdelenie hodnôt pre záujmové územie je uvedené na obrázku 1. Základná štatistická charakteristika údajov je uvedená v tabuľke 1.

Obř. 1 Rozloženie početnosti hodnôt koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm pre celý súbor pozorovaní (a) a iba pre súbor pozorovaní z orných pôd (b)



Koncentrácia POC v povrchovej vrstve poľnohospodárskych pôd je v rámci záujmového územia relatívne uniformná s rozsahom 0,4–3,47 %, pričom väčšina hodnôt sa pohybuje v intervale od 0,3 do 1,3 % s o čosi užším rozsahom hodnôt pre súbor orných pôd (Tab. 1). Pozorovateľná je asymetria rozdelenia početnosti hodnôt, ktorá je posunutá smerom k nižším hodnotám koncentrácie POC.

Tab. 1 Základná štatistická charakteristika koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm pre súbor pozorovaní pôdy zo záujmového územia

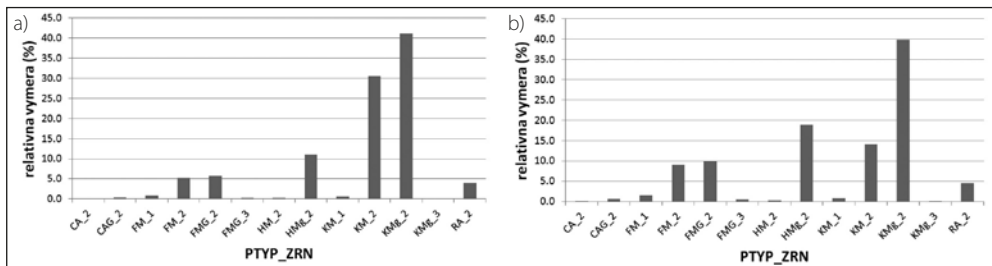
Krajinná pokrývka	Min	Max	Priemer	Smer. odch.	Medián	Kvartil		Početnosť
						dolný	horný	
nerozlíšená	0,40	3,47	1,06	0,41	0,97	0,77	1,25	1314
orná pôda	0,40	3,47	1,02	0,37	0,94	0,76	1,19	990

Plošné zastúpenie pôdnych typologických jednotiek

Pre každý areál BPEJ bol na základe interpretácie 7miestneho kódu BPEJ identifikovaný pôdny typ a trieda zrnitosti pôdy. Identifikované boli tieto pôdne typy (MKSP 2000, SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA 2000): čiernica (ČA), čiernica glejová (ČA_g), fluvizem (FM), fluvizem glejo-

vá (FM_G), rendzina (RA), hnedozem (HM), hnedozem pseudoglejová (HMg), kambizem (KM) a kambizem pseudoglejová (KMg). Zo zrnitostných tried sú v záujmovom území zastúpené ľahké pôdy (kategória 1, obsah frakcia < 0,01 mm menej ako 20%), stredne ťažké pôdy (trieda 2, obsah frakcia < 0,01 mm 20–60 %) a aj ťažké pôdy (trieda 3, obsah frakcia < 0,01 mm viac ako 60 %).

Obr. 2 Plošné zastúpenie skupín pôd (pôdny typ a trieda zrnitosti) v rámci celého poľnohospodársky využívaného územia (a) a v rámci územia orných pôd (b)



Interpretovaná vrstva areálov BPEJ s údajom o pôdnom type a triede zrnitosti bola preložená (intersect) vrstvou areálov tried krajinej pokrývky interpretovanej z údajov LPIS. Výsledná vrstva bola vstupom pre analýzu plošného zastúpenia skupín pôd v rámci tried krajinej pokrývky (orné pôdy, trvalé trávne porasty). Percentuálny podiel výmery skupín pôd v záujmovom území, ktoré boli definované na základe kombinácie pôdnych typov a tried zrnitosti je zobrazený na obrázku 2.

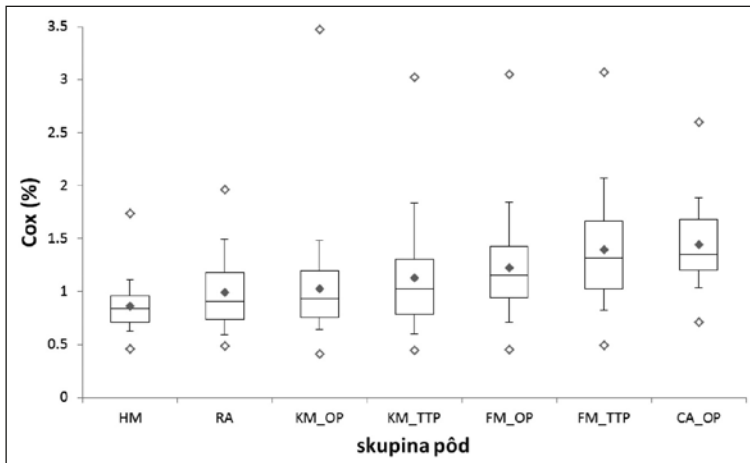
V rámci územia boli identifikované viaceré kombinácie pôdnych typov a zrnitostnej triedy. Iba niektoré z nich však majú významnú výmeru (Obr. 2). Najvýznamnejšie zastúpené pôdne typy sú kambizeme pseudoglejové, kambizeme, hnedozeme pseudoglejové, fluvizeme, fluvizeme glejové, rendziny a čiernice glejové. Z pôdnych druhov prevládajú stredne ťažké pôdy. Ostatné pôdne druhy sú zastúpené len sporadicky. Je to dané najmä tým, že trieda stredne ťažkých pôd je pre potreby tejto práce definovaná relatívne široko a zahŕňa aj časť pôd, ktoré sa konvenčne chápu ako ťažké pôdy (ílovitohlinité pôdy s obsahom frakcie < 0,01 mm 45 – 60 %).

Identifikácia a charakteristika tried obsahu POC

Na základe analýzy plošného zastúpenia pôdnych skupín v záujmovom území boli vytipované nasledovné skupiny pôd pre ďalšie analýzy:

- kambizeme (KM) – KM, KMg v zrnitostných triedach 1, 2, 3
- hnedozeme (HM) – HMg, HM v zrnitostnej triede 2
- rendziny (RA) – RA v zrnitostnej triede 2
- fluvizeme (FM) – FM_G , FM v zrnitostných triedach 1, 2
- čiernice (CA) – CA_G , CA v zrnitostnej triede 2

Obr. 3 Porovnanie rozdelenia hodnôt koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm pre jednotlivé skupiny pôd (Legenda: medián, horný a dolný kvartil – box, 10 a 90 % percentil – whiskers, minimálna, maximálna a priemerná hodnota – diamonds)



V ďalšom kroku boli analyzované údaje o koncentrácii POC v rámci vytypovaných skupín v kombinácii s údajmi o krajinej pokrývke. Z tejto analýzy vyplynulo konečné triedenie pôdných skupín v rámci záujmového územia: KM na ornej pôde (KM_OP), KM na trvalých trávnych porastoch (KM_TTP), FM na ornej pôde (FM_OP), FM na trvalých trávnych porastoch (FM_TTP), CA na orných pôdach (CA_OP) a HM a RA (obe skupiny pôd bez rozlíšenia triedy krajinej pokrývky). Porovnanie rozdelenia hodnôt koncentrácie POC pre jednotlivé skupiny pôd je zobrazené na obrázku 3. Základné štatistické charakteristiky obsahu POC pre jednotlivé skupiny sú uvedené v tabuľke 2.

Z hľadiska variability hodnôt koncentrácie POC v povrchovej vrstve (Obr. 3) sú identifikované skupiny pôd vzájomne odlišené tak strednými hodnotami obsahu POC (medián, aritmetický priemer), ako aj distribúciou hodnôt. Hodnoty niektorých skupín sa sčasti prekrývajú. Myslíme si, že je to spôsobené najmä tým, že záujmové územie je z hľadiska obsahu POC v povrchovej vrstve pôdy relatívne homogénne, s malými rozdielmi medzi väčšinou hodnôt (Obr. 1). Rovnako aj rozloženie meraných hodnôt je relatívne neusporiadané a v záujmovom území je problém nájsť priestorovú vzorku rozloženia hodnôt obsahu POC (Obr. 4). Napriek tomu sme presvedčení, že pri tvorbe regionálneho modelu zásoby POC má význam vnímať aj pedogeneticky dané charakteristické črty hromadenia a premeny POC v pôdach, ktoré sú vyjadrené práve klasifikáciou pôdy.

Tab. 2 Základná štatistická charakteristika koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm pre vytvorené skupiny pôd zo záujmového územia

skupina pôdy	Min	Max	Priemer	Smer. odch.	Medián	Kvartil		Početnosť
						dolný	horný	
HM	0,45	1,73	0,85	0,21	0,84	0,71	0,96	222
RA	0,48	1,95	0,99	0,35	0,91	0,74	1,18	62

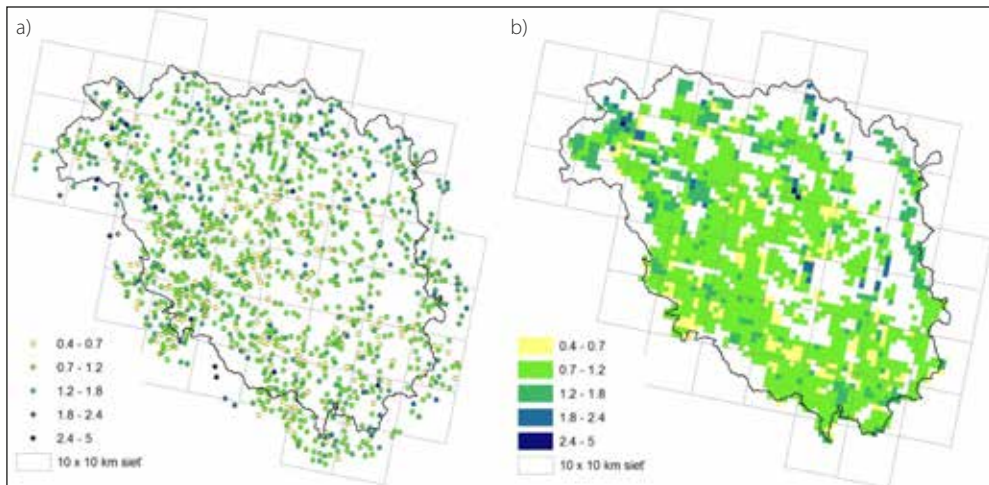
skupina pôdy	Min	Max	Priemer	Smer. odch.	Medián	Kvartil		Početnosť
						dolný	horný	
KM_OP	0,40	3,47	1,02	0,36	0,94	0,76	1,19	554
KM_TTP	0,43	3,02	1,12	0,47	1,03	0,79	1,30	209
FM_OP	0,44	3,05	1,22	0,44	1,15	0,94	1,42	159
FM_TTP	0,48	3,06	1,39	0,50	1,32	1,02	1,66	84
CA_OP	0,71	2,59	1,44	0,44	1,35	1,20	1,68	18

Priestorový model koncentrácie POC

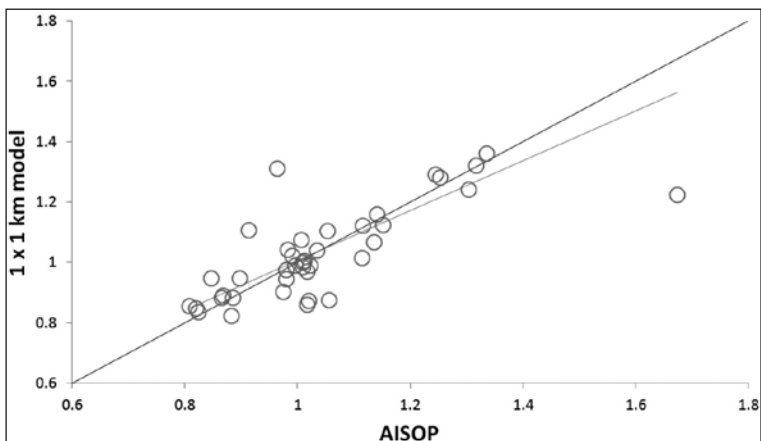
Hodnoty obsahu POC (%) vo vrstve 0–30 cm priradené jednotlivým profilom AISOP (Obr. 4) boli extrapolované do priestoru pomocou metódy Thiessenových polygónov. Údaje AISOP boli pred aplikáciou extrapoláčnej metódy stratifikované na základe skupiny pôdy (kombinácia pôdneho typu a triedy krajinnej pokrývky). Thiessenove polygóny boli následne vytvorené samostatne pre každú skupinu pôd. Mapa BPEJ bola skombinovaná s vrstvou tried krajinnej pokrývky LPIS a po interpretácii kódu BPEJ a triedy krajinnej pokrývky LPIS bola vytvorená mapa skupín pôd. Do areálov pôdných skupín boli postupne prevzaté hodnoty z Thiessenových polygónov, pričom bolo zabezpečené, aby sa preberali iba hodnoty zodpovedajúcej pôdnej skupiny. Mapa skupín pôd s prebratými hodnotami obsahu POC bola následne prekrytá geografickou sieťou s rozlíšením 1 × 1 km a pre každý element štvorcovej siete boli identifikované výmery areálov z mapy pôdných skupín. V záverečnom kroku bola pre každý priestorový element siete 1 × 1 km vyrátaná priemerná koncentrácia POC vo vrstve 0–30 cm. Priemerná hodnota bola vyrátaná ako vážený priemer. Ako váhový koeficient bola použitá hodnota relatívnej výmery daného areálu vo vzťahu k výmere všetkých areálov v rámci daného priestorového elementu. Analyzované boli iba skupiny pôd, ktoré reprezentovali orné pôdy. Výsledný priestorový model koncentrácie POC je zobrazený na obrázku 4.

Naším cieľom bolo vytvoriť priestorový model koncentrácie POC vo vrstve 0–30 cm, ktorý čo najlepšie odráža priestorové rozloženie bodových hodnôt (profily AISOP). Vytvorený model koncentrácie POC (Obr. 4) bol preto spätne porovnaný so vstupným súborom profilov z AISOP. Porovnané boli priemerné koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm, ktoré boli vyrátané pre priestorové elementy štvorcovej siete 10 × 10 km z údajov AISOP a z priestorového modelu s rozlíšením 1 × 1 km. Výsledok analýzy je zobrazený na obrázku 5.

Obr. 4 Lokalizácia pôdnych profilov AISOP použitých pre analýzy v zúčimovom území a obsah POC (%) vo vrstve 0–30 cm (a) a priestorový model obsahu POC (%) vo vrstve 0–30 cm v rozlíšení 1 × 1 km (b)



Obr. 5 Porovnanie priemerných hodnôt koncentrácie POC (%) vo vrstve 0–30 cm vyrátaných pre priestorové elementy 10 × 10 km siete z údajov AISOP a 1 × 1 km modelu obsahu POC, iba pre štvorce so zastúpením ornej pôdy viac ako 5 % výmery štvorca



Koeficient determinácie vzájomného vzťahu priemerných hodnôt z AISOP a 1 × 1 km modelu $R^2 = 0,61$ a hodnota sklonu priamky lineárnej regresie 0,83 svedčí o dobrej zhode vytvoreného modelu so vstupnými údajmi. Vytvorený model koncentrácie POC tak pokladáme za dostatočne výpovedný a vhodný pre použitie v ďalších krokoch.

Priestorový model zásoby POC

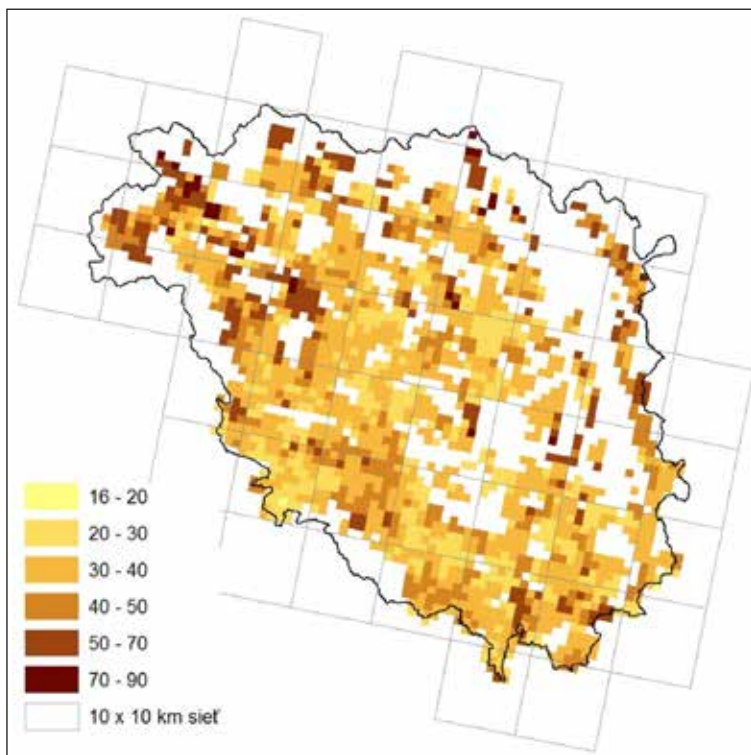
Ako vstupy pre tvorbu výsledného modelu zásoby POC (t/ha) v povrchovej vrstve bol použitý 1 × 1 km model koncentrácie POC (Obr. 4) a priemerné hodnoty obsahu ílu a piesku pre priestorové elementy 1 × 1 km siete prevzaté zo vstupných rastrov s rozlíšením 1 × 1 km (BALKOVIČ a iní 2011). Pomocou pedotransferovej rovnice (RAWLS 1984) bola pre každý priestorový element 1 × 1 km siete z údajov o obsahu piesku, ílu a POC vypočítaná objemová hmotnosť pôdy. Zásoba POC bola následne odvodená ako:

$$POC = BD \cdot COX \cdot h \quad (1)$$

kde POC je zásoba pôdneho organického uhlíka vo vrstve 0–30 cm, BD je rovnovážna objemová hmotnosť pôdy vo vrstve 0–30 cm, COX je obsah organického uhlíka (%) vo vrstve 0–30 cm a h je hĺbka (cm) vrstvy, pre ktorú je výpočet realizovaný (30 cm).

Výsledný model zásoby POC (t/ha) vo vrstve 0–30 cm v priestorovom rozlíšení 1 × 1 km je zobrazený na obrázku 6.

Obr. 6 Model zásoby POC (t/ha) vo vrstve 0–30 cm v priestorovom rozlíšení 1 × 1 km



ZÁVER

Bol vytvorený model zásoby POC (t/ha) v povrchovom horizonte (0–30 cm) orných pôd regiónu Ondavská vrchovina s priestorovým rozlíšením 1 × 1 km, ktorý rešpektuje využívanie

krajiny (orné pôdy, trvalé trávne porasty). Zvolený spôsob priestorovej reprezentácie modelu (1 × 1 km sieť) zabezpečuje, že vytvorený priestorový model môže byť priamo komunikovaný v rámci priestoru EÚ.

Model predstavuje prvé priblíženie spracované na základe aktuálne dostupných údajov o krajinnej pokrývke (rok 2012). Riešenie nie je z metodologického hľadiska úplne konzistentné, pretože výsledný model kombinuje údaje o koncentrácii POC v orných pôdach (resp. pre vybrané pôdne skupiny v orných pôdach a trvalých trávnych porastoch) okolo roku 1970 a priestorové údaje o rozložení orných pôd tak ako boli zaznamenané v roku 2012. Predpokladáme, že táto skutočnosť má vzhľadom na použitý spôsob interpolácie vplyv na priestorový odhad hodnôt koncentrácie POC a tým aj na výslednú hodnotu modelovanej zásoby POC. V tejto verzii priestorového modelu zásoby POC nebol uvažovaný obsah skeletu v povrchovej vrstve pôdy.

Model v priestorovom rozlíšení 1 × 1 km bude spolu s údajmi o klíme (mesačný chod teploty, zrážok a potenciálnej evapotranspirácie), pôde (obsah frakcie < 0,002 mm) a vstupoch organického uhlíka do pôdy (mesačné vstupy z rastlinných zvyškov a maštalného hnoja) použitý ako vstup pre modelovanie vývoja zásoby POC v období rokov 1970–2010 pomocou procesného modelu RothC.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0243-11.

LITERATÚRA

- ANNONI, A. (ed.), 2005. *European Reference Grids*. European Commission, Joint Research Centre, 33 EUR 21494 EN
- BALKOVIČ, J., SKALSKÝ, R., NOVÁKOVÁ, M., 2010. *Priestorový model distribúcie piesku a ílu v ornici poľnohospodárskych pôd Slovenska*. In: Bujnovský, R. (ed.) *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy* č. 32. Bratislava: VÚPOP, 2010, s.5 – 13
- BARANČIKOVÁ, G., GUTTEKOVÁ, M., HALAS, J., KOCO, Š., MAKOVNÍKOVÁ, J., NOVÁKOVÁ, M., SKALSKÝ, R., TARASOVIČOVÁ, Z., VILČEK, J., 2011. *Pôdny organický uhlík v poľnohospodárskej krajine – modelovanie zmien v priestore a čase*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 85 s., ISBN 978-80-89128-86-0
- ECKELMANN, W., BARITZ, R., BIALOUSZ, S., BIELEK, P., CARRÉ, F., HOUŠKOVÁ, B., JONES, R. J. A., KIBBLEWHITE, M., KOZAK, J., LE BAS, C., TÓTH, G., TÓTH, T., VÁRALLYAY, G., HALLA, M., Y., ZUPAN, M., 2006: *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats*. European Soil Bureau Research Report No.20, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 94 s., EUR 22185 EN
- LINKEŠ, V., GROMOVÁ, A., LUPTÁK, D., PESTŮN, V., POLIAK, P., 1988. *Informačný systém o pôde*. Bratislava: Príroda, 198 s.
- LINKEŠ, V., PESTŮN, V., DŽATKO, M., 1996. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek*. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 103 s., ISBN 80-85361-19-1
- RAWLS, J. W., 1983. *Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content*. *Soil Science*, Vol. 135, No. 2, p. 123 – 125
- SKALSKÝ, R., MAKOVNÍKOVÁ, J., KOCO, Š., NOVÁKOVÁ, M., TARASOVIČOVÁ, Z., BARANČIKOVÁ, G., 2012: *Priestorový model obsahu pôdneho organického uhlíka v povrchovej vrstve orných pôd Žitného ostrova*. *Vedecké práce VÚPOP*, vol. 34, Bratislava – v tlači, ISBN: 978-80-89128-98-3
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska: Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 76s. ISBN 80-85361-70-1
- STOLBOVOY, V., MONTANARELLA, L., 2008: *Application of Soil organic carbon status indicators for policy-decision making in the EU*. In: Toth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (eds) *Threats to soil quality in Europe*. JRC Scientific and Technical Reports, s. 87-99, ISBN 978-92-79-09529-0
- VILČEK, J., HLAS, J., SCHOLTZ, P., GUTTEKOVÁ, M., 2007. *Polnohospodárska pôda v kocke*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 386 p., ISBN 978-80-89128-33-4

MONITORING VODNEJ ERÓZIE NA POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔDACH SLOVENSKA

WATER EROSION MONITORING ON AGRICULTURAL SOILS OF SLOVAKIA

Ján STYK

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Gagarinova 10
Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, e-mail: j.styk@vupop.sk*

Abstrakt

V súčasnom období intenzifikácie poľnohospodárstva je erózia pôdy výrazne urýchľovaná neuváženou činnosťou a často aj nečinnosťou človeka. Patrí medzi najvýznamnejšie environmentálne hrozby s priamym dopadom na poľnohospodárstvo (znižovanie produkčnej schopnosti pôdy) a životné prostredie (eutrofizácia vodných plôch, kontaminácia pôd, zanášanie vodných zdrojov atď).

Za účelom sledovania vývoja intenzity vodnej erózie v čase a priestore v konkrétnych podmienkach záujmových lokalít a jej vplyvu na kvantitatívne zmeny základných pôdných parametrov boli v roku 1993 vytýčené a geodeticky zamerané prvé tri erózne transeky. V súčasnej dobe prebieha monitoring vodnej erózie na 20 záujmových lokalitách v päťročných monitorovacích cykloch.

Výsledky potenciálnej vodnej erózie na všetkých monitorovaných erózných transektoch potvrdzujú extrémnu erodovanosť pôdy, kedy hodnoty vysoko prekračujú limity pre odnos pôdnej hmoty uvedené vo vyhláške MPA RV SR č. 59/2013 Z.z. Pri zohľadnení konkrétnej pestovanej poľnohospodárskej plodiny (aktuálna erózia) strata pôdy poklesla v závislosti od protierózneho účinku pestovanej plodiny. V prípadoch širokoriadkových plodín s nízkou protieróznou účinnosťou sú aktuálne straty pôdnej hmoty stále nadlimitné.

Významné priestorové kvantitatívne zmeny sledovaných pôdných parametrov (najmä prístupného fosforu a humusu) v rámci jednotlivých častí erózných transektov sú výsledkom dlhodobejšieho pôsobenia vodnej erózie na pôdu. Pri odnose a následnej akumulácii pôdnej hmoty dochádza aj k ich translokácii. Na väčšine záujmových lokalít sme zaznamenali výrazné odchýlky v profilových priebehoch sledovaných pôdných parametrov, kedy v erózných častiach došlo k ich výraznému úbytku a naopak v akumuláčnych častiach pozorujeme nárast ich obsahov aj vo väčších hĺbkach pôdneho profilu.

Kľúčové slová: vodná erózia na pôde, monitoring, USLE, ¹³⁷Cs

Abstract

Soil erosion is significantly accelerated by unreasonable human activity (or in many examples by human inactivity) in the present period of intensification of agriculture. It is one of the most important environmental problems directly influencing agriculture (decreasing of soil

production capacity) and environment (eutrophication, soil contamination, sedimentation of soil particles in water reservoirs).

In order to monitor the development of water erosion within time and space and its influence on quantitative parameters of soil, there were three erosive transects localized in 1993. At present, monitoring of soil erosion occurs in 5 year cycles in twenty different locations (transects).

Category of extreme potential erosion (values are over valid limits) was determined on all studied localities. Mean annual soil loss (in these transects) was higher in comparison with limit for soil loss (Regulation No. 59/2013) which is $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ for deep soil. Over limited values of actual soil erosion (cultivated agricultural plants were taken into account) were determined on transects where wide-line agricultural plants (corn maize, silage maize etc.) have grown. These types of plants are not suitable for cultivation on sensitive areas to soil erosion.

Significant spatial quantitative changes of monitored soil parameters (especially available phosphorus and humus content) were the result of long-term water erosion influence on soil. Phosphorus and humus are relatively firmly fixed on the fine soil particles surfaces, but together with soil matter, they are easily translocated due to water erosion to the lower parts of slopes. Phosphorus and humus uppermost concentrations (to the deeper more than 0.45 m) were measured in accumulative part of slopes and on the contrary we observed significant decreasing content of these parameters in erosive soil profiles.

Keywords: water erosion on soil, monitoring, USLE, ^{137}Cs

ÚVOD

Erózia patrí medzi prirodzené fyzikálne procesy spôsobujúce degradáciu pôdy, ktorých primárnym negatívnym výsledkom je ireverzibilná strata pôdnej hmoty z erózných častí územia, pričom dochádza k znižovaniu hĺbky pôdneho profilu predovšetkým jeho biologicky aktívnej humusovej vrstvy (výrazný úbytok organickej hmoty a živín)

Dlhodobým neriešením alebo odkladaním riešenia problematiky erózie poľnohospodárskych pôd v erózne senzitivnej krajine dochádza k výraznému znižovaniu ich produkčnej schopnosti až do tej miery, kedy už nebudú schopné plniť základnú funkciu pôdy a to poskytovať úrodu (fyzikálna degradácia pôdy). Okrem už spomenutého sú známe aj tzv. off-site efekty erózie, ktoré sa prejavujú mimo priameho miesta vzniku pôdnej erózie, a ktoré môžu v konečnom dôsledku znižovať celkový potenciál územia a zhoršovať kvalitu života v ňom (eutrofizácia vodných plôch, kontaminácia pôd, zanášanie vodných zdrojov splaveninami atď.).

Informáciu o najhoršej možnej situácii, ktorá môže v konkrétnych pôdno-klimatických a geomorfologických podmienkach nastať vyjadruje tzv. potenciálna erózia. Predstavuje možnú (teoretickú) erodovanosť pôdy v prípade ak sa na nej nenachádza žiadny vegetačný pokryv a nezohľadňuje sa aktuálny spôsob obhospodarovania (ŠŮRI a iní., 2002). Aktuálna erózia vyjadruje reálne ohrozenie pôdy procesmi vodnej erózie pri zohľadnení aktuálneho vegetačného pokryvu a použitej agrotechniky.

Potenciálna vodná erózia na poľnohospodárskych pôdach SR

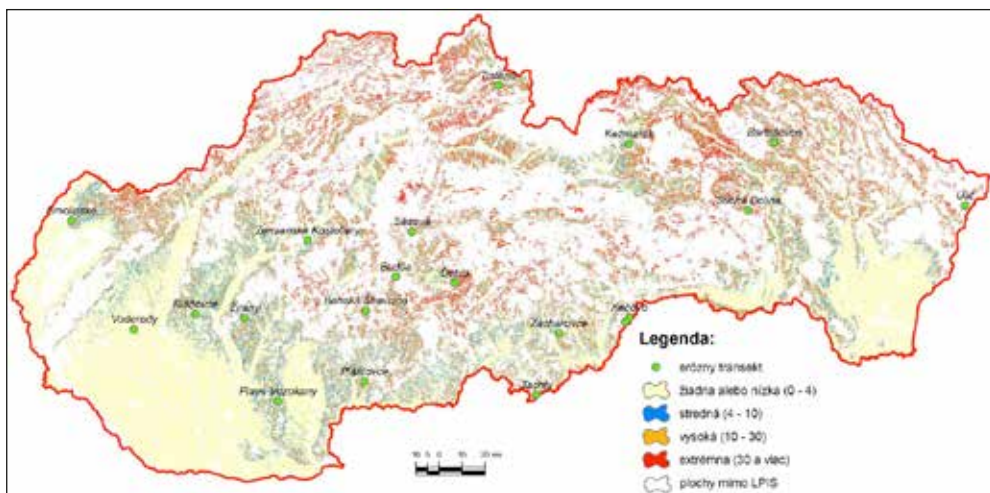
Potenciálna vodná erózia vyjadruje potenciál pôdy byť erodovaná (podliehať procesom erózie) v závislosti od konkrétnych pôdno-klimatických a geomorfologických charakteristík územia. Plošné výmery jednotlivých kategórií erodovanosti boli vygenerované aplikovaním erózneho predikčného modelu Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty – USLE (WISCHMEIER, SMITH, 1978), ktorý bol v priebehu trvania monitoringu modifikovaný a detailizovaný pre konkrétne podmienky Slovenska.

Tab. 1 Výmery kategórií potenciálnej vodnej erózie za rok 2012 v SR

Kategória erodovanosti (strata pôdy)	Výmera v ha	% z PP
Žiadna, alebo nízka (0 – 4 t/ha/rok)	1 463 981	60,85
Stredná (4 – 10 t/ha/rok)	248 281	10,32
Vysoká (10 – 30 t/ha/rok)	355 955	14,79
Extrémna (viac ako 30 t/ha/rok)	337 753	14,04
Spolu	2 405 971	100,00

Poľnohospodárska pôda, ktorá je ohrozená vysokou a extrémnou potenciálnou vodnou eróziou sa nachádza predovšetkým na výrazných svahoch horských a podhorských oblastí Slovenska (Obr. 1). Pri nezohľadnení ochranného účinku aktuálneho vegetačného pokryvu a realizovanej agrotechniky, predstavuje výmera kategórií vysokej a extrémnej erodovanosti relatívne vysoké číslo (28,83% z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy). V týchto oblastiach sa však nachádzajú väčšinou trvalé trávne porasty, ktoré sú charakteristické výrazným protieróznym účinkom.

Obr. 1 Potenciálna vodná erózia na poľnohospodárskej pôde SR (kategórie erodovanosti) a rozmiestnenie erózných transktov



Monitoring vodnej erózie vychádza z potreby poľnohospodárskej praxe realizovať vhodný manažment hospodárenia na poľnohospodárskej pôde v erózne senzitivnej krajine. Prístup k relevantným informáciám o intenzite erózie a jej priestorovom rozšírení je odrazovým mostí-

kom k optimalizácii spôsobu obhospodarovania pôdy s cieľom znížiť jej straty. Každý užívateľ poľnohospodárskej pôdy si môže na svojich obhospodarovaných kultúrnych dieloch využitím interaktívneho erózneho modelu (www.podnemapy.sk) namodelovať stav potenciálnej a aktuálnej vodnej erózie.

MATERIÁL A METÓDY

S cieľom sledovať vývoj intenzity vodnej erózie v čase a priestore v konkrétnych podmienkach jednotlivých záujmových lokalít (erózných transektov) využívame viaceré prístupy:

- využitie erózneho predikčného modelu Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty (USLE) modifikovanej pre podmienky Slovenska v prostredí GIS na vyjadrenie potenciálnej a aktuálnej vodnej erózie (v lokálnej alebo regionálnej mierke)
- zhodnotenie intenzity recentnej erózie stanovením aktivity rádioaktívneho izotopu cézia (^{137}Cs) v pôdnych profiloch sond lokalizovaných na erózných transektoch (profilová distribúcia cézia)
- porovnávanie rozdielov v hrúbke diagnostických horizontov a profilových kvantitatívnych zmien základných pôdnych parametrov (obsah humusu, pH/KCl, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti, prístupný fosfor a draslík) v typických radoch sond lokalizovaných po spádnici svahu (erózne transekty)

Od roku 1993 (kedy boli vytýčené a geodeticky zamerané prvé tri erózne transekty) prebieha monitoring erózie v súčasnej dobe na 20 záujmových lokalitách. Kvantitatívne zmeny vybraných pôdnych parametrov sledujeme v päťročných monitorovacích cykloch, kedy je pravdepodobnejšie, že na záujmových plochách prebehne výraznejšia erózna udalosť výsledkom, ktorej bude ich preukaznejšia zmena. Každoročne sledujeme a vyhodnocujeme vplyv vodnej erózie na štyroch transektoch (spolu počas päťročného cyklu na 20 transektoch). Záujmové územia sú lokalizované z pohľadu intenzity zrážok, erodibility pôdy a svahovitosti v erózne senzitivných oblastiach SR

Na vybraných lokalitách sledujeme časové a priestorové kvantitatívne zmeny fyzikálnych vlastností (objemová hmotnosť, celková pórovitosť), obsahu humusu (mokrý spôsob metóda Ťurin, modifikácia Nikitin), prístupného fosforu (Égner) a draslíka (Schachtschabel), pH/KCl ($0,2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl) a zrnitostného zloženie podľa FAO (KOLEKTÍV AUTOROV, 2011) z hĺbok: 0–10, 25–30, 30–35, 35–40, 40–45 cm.

Recentnú eróziu za obdobie posledných približne 40 rokov monitorujeme pomocou metódy rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs , ktorý v pôdnom profile využívame ako značkovací prvok. Céziu sa prirodzene v pôde nenachádza, do pôdy sa dostáva len počas termonukleárnych explózií a havárií jadrových elektrární. Využívame schopnosť izotopu cézia pevne sa viazať na jemný koloidný podiel pôdy. Podrobnejšie sa touto metódou v podmienkach Slovenska vo svojich prácach zaoberali LINKEŠ, LEHOTSKÝ, STANKOVIANSKY (1992), SLÁVIK a iní (2000), FULAJTÁR, JANSKÝ (2001), ŠTYK (2005, 2007). Profilovú distribúciu cézia stanovujeme v pôdnych profiloch pedologických sond lokalizovaných po spádnici svahu (erózny transekt). Z pohľadu dlhodobého vply-

vu vodnej erózie na pôdu získame informácie o jej priebehu zhruba od roku 1963, kedy bola podľa WALLINGA a QUINA (1993) zaznamenaná najväčšia intenzita rádioaktívneho spádu. Všetky pôdne vzorky na prítomnosť cézia boli analyzované v laboratóriách Výskumného ústavu jadrových elektrární v Trnave polovodičovým gamaspektrometrickým systémom.

Na výpočet potenciálnej a aktuálnej vodnej erózie poľnohospodárskych pôd v lokálnej (v rámci záujmového územia) a regionálnej mierke (v rámci celého územia SR) využívame erózný predikčný model, ktorý má základ v Univerzálnej rovnici straty pôdnej hmoty (USLE, WISCHMEIER, SMITH, 1978).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na základe vygenerovaných hodnôt (využitím erózneho predikčného modelu USLE) môžeme konštatovať, že vo všetkých prípadoch sa na záujmových lokalitách prejavuje extrémna potenciálna vodná erózia, nakoľko priemerná ročná strata pôdy vysoko prekračuje limitnú hodnotu uvedenú vo vyhláske MPaRV SR č. 59/2013 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláska MP SR č. 508/2004 Z.z., ktorou sa vykonáva § 27 zákona č. 220/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov, ktorá je pre hlboké pôdy $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Tab. 2).

Tab. 2 Limitné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózii

Hĺbka pôdy	Strata pôdy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
Plytké pôdy (0,3 m)	5
Stredne hlboké pôdy (0,3–0,6 m)	10
Hlboké pôdy (0,6–0,9 m)	15
Veľmi hlboké pôdy (nad 0,9 m)	20

Hodnoty aktuálnej vodnej erózie v tabuľke 3 (pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu) boli v porovnaní s potenciálnou eróziou nižšie, na niektorých erózných transektoch sú však stále vyššie ako povoľuje limit uvedený vo vyhláske. Vhodnosť pestovania poľnohospodárskych plodín v erózne senzitivnej krajine je vo veľkej miere limitovaná ich rozdielnym protieróznym účinkom (širokoriadkové plodiny – nízky účinok, trávy, husto siate obilniny – vysoký účinok). V zhode s platnou legislatívou je vlastník, alebo užívateľ pôdy povinný vykonávať trvalú a účinnú protieróznou ochranu pôdy aplikovaním vhodných ochranných agrotechnických opatrení na zabránenie ďalšej degradácie pôdy eróziou (zákon č. 220/2004 Z.z., § 5, odst. 2).

Recentnú eróziu, ktorá prebiehala na poľnohospodárskej pôde v období s najväčším rozmachom poľnohospodárstva až do súčasnej doby, môžeme dokumentovať na základe priestorovej distribúcie rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs v pôdnych profiloch jednotlivých častí erózných transektov. Štandardnú schému rozšírenia cézia v profile, kedy sa tento izotop nachádza iba v ornícovom (orbou premiešanom) horizonte siahajúcom väčšinou do hĺbky 0,25–0,30 m a pod ním sú jeho hodnoty na prahu merateľnosti, sme zaznamenali len v referenčných (plošina) a erózných častiach záujmových lokalít. V akumulčných častiach erózných transektov boli merateľné koncentrácie cézia zaznamenané aj vo väčších hĺbkach, ako je hĺbka ornice (v niektorých prípadoch až do hĺbky 0,50 m), čo potvrdzuje akumuláciu pôdnych častíc pretransportovaných

vplyvom vodnej erózie z erózných častí svahu. Pre každý jeden monitorovaný transekt môžeme vypočítať priemernú ročnú stratu (resp. akumuláciu) pôdnej hmoty za obdobie zhruba od roku 1963, kedy bola zaznamenaná najväčšia intenzita spádu rádioaktívneho izotopu cézia (Tab. 4). Vo všetkých prípadoch tieto hodnoty prekračujú limity odnosu pôdy pri vodnej erózii.

Tab. 3 Charakteristika záujmových lokalít (erózných transektov)

Transekt	Dĺžka (m)	Svahovitosť (°)	Pôdny typ, subtyp (MKSP)*			Ročné zrážky (mm)**	Plodina	Potenciál. erózia – USLE	Aktuál. erózia – USLE
			plošina	svah	báza				
Ulič	160	12	PGa	KMga	PGa	850	kukurica na zrno	76,09	46,41
Plavé Vozokany	645	10	HMLa	HMLa	HMLa	600	kukurica na zrno	68,87	42,01
Voderady	171	9	ČMa	ČMae	ČMča	550	pšenica***	41,02	4,51
Bartošovce	141	10	KMga	KMga	KMga	700	trávna miešanka	57,40	0,86
Smolinské	196	10	HMa	HMa	HMa	550	pšenica***	29,02	3,19
Banská Bystrica	210	10	KMga	KMga	KMa	850	jačmeň jarný	54,86	7,86
Plášťovce	400	11	HMga	HMga	HMga	650	pšenica***	122,39	13,46
Kečovo-orná pôda	110	10	KMga	KMga	KMga	700	raž siata	51,47	8,75
Kečovo-TTP	150	8	KMga	KMga	KMga	700	TTP	71,94	0,36
Nováky	740	9	PGa	PGa	PGa	750	pšenica***	94,37	10,38
Trstená	370	8	KMga	KMga	KMga	850	trávna miešanka	56,86	1,14
Koliňany	300	10	HMa	HMa	HMa	650	pšenica***	107,42	11,81
Budča	120	11	KMga	KMga	KMga	750	pšenica***	48,87	5,37
Detva	390	10	KMa	KMga	KMga	750	jačmeň jarný	142,02	19,88
Banská Štiavnica	320	9	KMa	KMa	KMga	800	kukurica na siláž	53,18	32,44
Suchá Dolina	347	11	LMga	LMga	LMga	700	kukurica na zrno	99,92	60,95
Kežmarok	465	10	ČAa	ČAa	ČAa	700	jačmeň jarný	67,48	9,44
Tachty	250	10	RMa	RMa	RMa	600	kukurica na zrno	44,95	27,42
Rišňovce	185	12	ČMa	ČMha	ČMča	600	kukurica na zrno	57,58	35,12
Zacharovce	115	12	HMLa	HMLa	ČAa	650	kukurica na zrno	25,05	15,28

Poznámka:
 *skratky pôdnych typov, subtypov boli použité v zhode s Morfogenetickým klasifikačným systémom pôd Slovenska (ŠÁLY a iní 2000)
 **priemerné ročné úhrny zrážok boli použité z Atlasu krajiny Slovenskej republiky (HRNČIAROVA a iní 2002)
 ***pšenica letná, forma ozimná

Tab. 4 Priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty od obdobia s najvyšším spádom rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs

Erózný transekt	Rozdiel hĺbky profilovej distribúcie ^{137}Cs v akumuláčnej a referenčnej časti transektu (mm)	Priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty (mm)	Aktuálna objemová hmotnosť ornice ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
Rišňovce	200	4,08	1,36	55,49
Voderady	150	3,06	1,43	43,75
Zacharovce	100	2,04	1,19	24,28
Plavé Vozokany	200	4,08	1,24	50,59
Suchá Dolina	200	4,17	1,39	57,96
Kežmarok	100	2,08	1,41	29,33
Banská Štiavnica	100	2,08	1,16	24,13
Tachty	200	4,17	1,53	63,80
Nováky	200	4,26	1,41	60,07
Trstená	150	3,19	1,40	44,66
Koliňany	100	2,13	1,27	27,05
Detva	150	3,19	1,31	41,79
Banská Bystrica	150	3,26	1,35	44,01
Plášťovce	200	4,35	1,42	61,77
Kečovo (OP)	150	3,26	1,35	44,01
Budča	100	2,17	1,41	30,59
Bartošovce	150	3,33	1,50	49,95
Smolinské	100	2,22	1,36	30,19
Ulič	150	3,33	1,39	46,29
Kečovo (TTP)	100	2,22	1,23	27,31

Výrazné kvantitatívne zmeny obsahov prístupného fosforu a humusu v pôdnych profiloch jednotlivých častí erózných transektov sú vo veľkej miere výsledkom negatívneho vplyvu eróžno-akumulačných procesov na pôdu. Priestorová variabilita týchto pôdnych parametrov je zapríčinená relatívne pevnou fixáciou na povrchy jemného koloidného podielu pôdnej hmoty, kedy pri jej translokácii v smere pôsobenia vodnej erózie sa fosfor a humus premiestňujú a následne akumulujú spolu s ňou.

V akumuláčnej časti erózných transektov dochádza k akumulácii pretransportovanej pôdnej hmoty ornicevého horizontu z eróznej časti záujmového územia, čo potvrdzujú aj profilové charakteristiky prístupného fosforu a humusu. Vo väčšine prípadov boli obsahy sledovaných parametrov v báze svahu v hĺbke 0,40 – 0,45 m výrazne vyššie ako na plošine transektu. Naopak so stúpajúcou hĺbkou pôdnych profilov erózných častí transektov obsahy fosforu a humusu výrazne klesajú ako výsledok straty vrchných, na humus a živiny, bohatších vrstiev pôdy (Tab. 5).

Okrem prítomnosti vodnej erózie na transektoch sme v niektorých prípadoch zazname-

Transekty Hĺbka	0 – 0,10 m	0,30 – 0,35 m	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,40 – 0,45 m	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,40 – 0,45 m
	Obj. hmotnosť (g.cm ⁻³)		% obsahu prístupného fosforu			% obsahu humusu		
svah	1,16	1,24	112,84	104,06	109,95	99,86	86,49	186,64
báza	1,17	1,39	35,60	142,95	115,17	96,92	131,76	606,50
Tachty								
plošina	1,56	1,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,53	1,59	66,07	51,06	88,18	113,28	62,53	70,07
báza	1,54	1,69	160,67	217,02	251,64	163,59	123,06	172,62
Nováky								
plošina	1,43	1,55	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,45	1,59	289,26	4242,65	494,81	101,67	391,94	69,96
báza	1,41	1,41	852,35	6772,06	1396,10	131,91	445,79	252,67
Trstená								
plošina	1,27	1,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,60	1,57	53,33	84,59	14,22	92,13	87,92	41,54
báza	1,40	1,61	73,71	116,94	164,68	107,09	129,21	186,03
Koliňany								
plošina	1,36	1,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,30	1,53	101,51	62,32	18,84	112,66	99,17	115,52
báza	1,27	1,56	233,26	507,04	326,96	109,74	146,46	312,93
Detva								
plošina	1,25	1,11	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,35	1,47	42,43	32,63	20,91	9,83	108,62	47,89
báza	1,31	1,48	51,17	189,58	151,75	96,91	311,89	145,61
Banská Bystrica								
plošina	1,30	1,47	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,29	1,40	119,42	107,14	176,62	117,71	102,78	66,67
báza	1,35	1,49	302,91	200,00	541,56	144,79	139,81	511,90
Plášťovce								
plošina	1,04	1,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,13	1,61	59,57	96,67	191,54	101,68	78,15	60,78
báza	1,07	1,42	154,61	1622,22	1104,48	95,64	184,03	91,18
Kečovo (OP)								
plošina	1,39	1,62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,35	1,60	156,18	95,50	108,68	100,98	96,67	85,00
báza	1,35	1,54	134,98	282,02	249,46	104,56	234,38	393,33
Budča								
plošina	1,38	1,52	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,46	1,50	50,48	48,98	50,00	72,40	68,88	53,85

Transekty Hĺbka	0 – 0,10 m	0,30 – 0,35 m	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,40 – 0,45 m	0 – 0,10 m	0,25 – 0,30 m	0,40 – 0,45 m
	Obj. hmotnosť (g.cm ⁻³)		% obsahu prístupného fosforu			% obsahu humusu		
báza	1,41	1,53	111,76	87,48	79,33	65,95	82,57	92,31
Bartošovce								
plošina	1,37	1,53	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,53	1,61	41,94	65,50	100,00	93,49	130,53	104,65
báza	1,50	1,65	78,61	72,93	100,00	98,47	199,24	197,67
Smolinské								
plošina	1,30	1,58	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,26	1,63	255,49	100,00	23,29	129,61	93,17	361,90
báza	1,36	1,56	276,83	450,00	23,29	150,00	175,16	211,90
Ulič								
plošina	1,23	1,58	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,48	1,47	157,60	100,00	100,00	95,33	47,98	90,12
báza	1,39	1,41	110,25	164,00	100,00	11,84	189,02	406,17
Kečovo (TTP)								
plošina	1,30	1,51	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
svah	1,33	1,43	100,00	76,14	100,00	129,32	50,94	80,36
báza	1,23	1,52	562,67	92,87	100,00	170,36	77,99	125,00

Vplyvom vodnej erózie na pôdu v záujmových lokalitách často dochádza k priestorovým zmenám aj ďalších dlhodobomonitorovaných pôdných vlastností (pH/KCl, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti, prístupný draslík) čo je podrobnejšie rozpracované v jednotlivých konco-ročných záverečných správach z monitoringu pôd. V prípade ak sa pôda vyvinula na kyslom pôdotvornom substráte, tak vplyvom straty vrchných vrstiev pôdy sa do ornice prioráva kyslejšia podornica (resp. pôdotvorný substrát), výsledkom čoho je znižovanie hodnôt pôdnej reakcie v erózných častiach svahov (zakyslenie pôdy).

ZÁVER

Záverom môžeme konštatovať, že hodnoty potenciálnej vodnej erózie na všetkých monitorovaných erózných transektoch potvrdzujú extrémnu erodovanosť pôdy (prekročenie limitu odnosu pôdnej hmoty uvedeného vo vyhláške MPaRV SR č. 59/2013 Z.z.). Pri zohľadnení konkrétnej pestovanej poľnohospodárskej plodiny (aktuálna erózia), dosiahnuté výsledky poklesli (v závislosti od protierózneho účinku pestovanej plodiny). V prípadoch širokoriadkových plodín s nízkou protieróznou účinnosťou sú aktuálne straty pôdnej hmoty stále nadlimitné.

Recentná erózia prebiehajúca na konkrétnych lokalitách v období najväčšieho rozmachu poľnohospodárskej výroby, bola vyhodnotená na základe stanovenia priestorovej aktivity rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs v pôdných profiloch jednotlivých častí záujmového územia. Aktivita

izotopu cézia bola v niektorých prípadoch zaznamenaná až do hĺbky 0,50 m, čo potvrdzuje výraznú akumuláciu pôdných častíc pretransportovaných vplyvom vodnej erózie z eróziou ovplyvnených častí svahu.

Priestorové kvantitatívne zmeny prístupného fosforu a humusu v rámci jednotlivých erózných transektov sú výsledkom dlhodobejšieho pôsobenia vodnej erózie na pôdu. Pri odnose a následnej akumulácii pôdnej hmoty vplyvom eróznno-akumulačných procesov dochádza aj k ich translokácii. Na väčšine monitorovaných lokalitách boli zaznamenané významné odchýlky v profilových priebehoch týchto sledovaných pôdných parametrov, kedy v erózných častiach došlo k výraznému úbytku a naopak v akumulačných častiach (báza) sme pozorovali nárast ich obsahov aj vo väčších hĺbkach pôdneho profilu (akumulácia pretransportovanej pôdnej hmoty).

Výsledkom dlhodobého, nevhodného spôsobu obhospodarovania pôdy (orba po spádnicí svahu) je tzv. erózia z orania (orbová erózia), kedy sa vo vrcholových častiach niektorých monitorovaných lokalít na povrch dostáva na humus a živiny chudobná podornica.

LITERATÚRA

- FULAJTÁR, E., JANSKÝ, L. 2001: *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. VÚPOP Bratislava, 2001, 310 s., ISBN 80–85361-85-X
- HRNČIAROVÁ, T. a iní 2002: *Atlas krajiny Slovenskej republiky (Landscape atlas of the Slovak Republic)*. Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Rep., 2002, 344 p. ISBN 80–88833-27–2
- KOLEKTÍV AUTOROV. 2011: *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP Bratislava, 2011, 136 s., ISBN 978–80-89128–89-1
- LINKEŠ, V., LEHOTSKÝ, M., STANKOVIANSKY, M. 1992: *Príspevok k poznaniu vývoja vodnej erózie pôd na pahorkatinách Podunajskej nížiny s využitím ¹³⁷Cs*. Vedecké práce č. 17. VÚPÚ Bratislava, 1992, s. 111–120, ISBN 80–85361-04–3
- MPSR 2004: *Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 o integrovanej prevencii a o kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov*
- MPSR 2013: *Výhláška MPaRV SR č. 59/2013 Z.z.*, ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška MP SR č. 508/2004 Z.z., ktorou sa vykonáva § 27 zákona č. 220/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov
- SLÁVIK, O., a iní 2000: *Radiocaesium redistribution in the Mochovce catchment, Slovakia*. In Perk M. van der, A.A. Svetlitchnyi, J.W. den Besten, and A. Wielinga eds.: *Spatial redistribution of radionuclides within catchments: Development of GIS-based models for decision support systems*. Final Report. Spartacus, EC Contract No. IC15-CT98–0215 Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics (UCEL) Faculty of Geographical Sciences Utrecht University, 2000, pp.93–125.
- STYK, J. 2005: *Recent soil erosion estimation using of ¹³⁷Cs technique*. Vedecké práce VÚPOP Bratislava 2005, č. 27, pp. 119–125, ISBN 80–89128-17–3
- STYK, J. 2000: *Intensity erosive-accumulative processes indication using ¹³⁷Cs profile distribution in monitored locality soils*. Agriculture. Journal for agricultural sciences, volume 53, 2007, pp 23–30
- ŠÁLY, R. a iní 2000: *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP Bratislava, 2000, 76 s, ISBN 80–85361-70–1
- ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., FULAJTÁR, E., 2002. *Soil erosion assessment of Slovakia at a regional Scale using GIS*. Ecology, Bratislava 21, 404–422
- WALLING, D. E., QUINE, T. A. 1993: *Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation*. Handbook for the application of the caesium-137 technique. UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579, University of Exeter, 1993
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978: *Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning*, Agricultural Handbook 537, USDA, 1978, 58 pp.

MONITOROVANIE OBJEMOVEJ HMOTNOSTI PÔDY – PODKLAD PRE STANOVENIE ZÁSLOB ORGANICKEJ HMOTY V PÔDE

MONITORING OF SOIL BULK DENSITY — BASE FOR DETERMINATION OF SOIL ORGANIC CARBON STOCKS

Miloš ŠIRÁŇ¹, Jarmila MAKOVNÍKOVÁ¹, Gabriela BARANČÍKOVÁ²

¹Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: m.siran@vupop.sk

²Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov

Abstrakt

Objemová hmotnosť pôdy je priamym indikátorom stavu kompaktie pôdy, ktorá sa radí celosvetovo k hlavným degradačným procesom. Hodnota objemovej hmotnosti pôdy je aj súčasťou matematicko-fyzikálnych vzťahov, ako je napr. výpočet pórovitosti ako aj množstva látok v pôde, zásob organickej hmoty, zásob prístupných živín. Systém monitorovania poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska (ČMS-P) je založený na sieti monitorovacích lokalít (základnej sieti a sieti kľúčových lokalít) a zaznamenáva časové zmeny vybraných vlastností pôd. Objemová hmotnosť redukovaná bola stanovená zväžením vysušenej (pri 105 °C do konštantnej hmotnosti) neporušenej vzorky o objeme 100 cm³ odobratej v Kopeckého valčekoch a obsah organického uhlíka (% C_{ox}) bol analyzovaný suchou cestou pomocou CN analyzátora. Pri mapovom spracovaní sme vychádzali z databázy ČMS – pôda, územnou jednotkou sú pôdne typy až subtypy mapované v PM 400 000 s využitím programového balíka ArcGIS®.

Z hľadiska zrnitosti pôdy hodnoty OH sledovaných pôd mierne klesajú v smere od zrnitostne ľahších ku ťažším pôdam. Medzi najrizikovejšie pôdne typy z hľadiska kompaktie patria pseudogleje, u ktorých stagnuje zrážková voda v hornej časti pôdneho profilu nad málo priepustnou vrstvou vytvorenou nahromadením ílu v nej, čo podporuje proces zhutňovania. Za nimi nasledujú kambizeme, hlavne subtyp pseudoglejový, hnedozeme, a rendziny. Černo-zeme, čiernice a fluvizeme patria skôr k tým odolnejším pôdam aj vďaka vyššiemu obsahu organickej hmoty. Tieto poznatky boli zahrnuté do mapy objemovej hmotnosti. Vytvorená mapa objemovej hmotnosti spolu s mapou obsahu pôdneho organického uhlíka bola použitá ako podklad pre mapovanie zásob organickej hmoty v pôdach SR.

Kľúčové slová: monitoring pôd, objemová hmotnosť pôdy, zásoby pôdnej organickej hmoty, mapovanie pôdných vlastností

Abstract

Soil bulk density is a direct indicator of the state of soil compaction, which is worldwide one of the main degradation processes. Soil bulk density value is also part of the mathematical and physical relationships, such as calculation the porosity as well as organic matter stocks and stocks of available nutrients. Monitoring system of agricultural soils of Slovakia (ČMS-P) is based on a network of monitoring sites (the basic network and network of key monitoring sites) and determined the temporal changes of selected soil properties. Reduced bulk density was determined by weighing the dried (at 105 °C to constant weight) undisturbed soil samples with volume of 100 cm³ (sampled in Kopecký rings) and organic carbon content (% C_{ox}) was analyzed by dry combustion using a CN analyzer. The base of mapping was the soil monitoring database. Main mapping units were soil types and subtypes according to Soil map in scale 1: 400 000, ArcGIS[®] software package was used.

In case of soil texture, the soil bulk density values of observed soil are slightly decreasing in the direction from texturally lighter to heavier soils. Concerning Stagnosols, they belong to the most risky soil types. In this case, respective in subtypes Stagnic, rainwater stagnates in the upper soil profile over low permeable layer which was formed in the process of clay accumulation, and supports the process of soil compaction. Cambisols, Luvisols (mainly subtype Stagnic) and Rendzic Leptosols are following this categorisation. Chernozems, Mollic Fluvisols and Fluvisols belong to more resistant soils due to higher content of organic matter. This knowledge was included in the map. A map of soil bulk density and soil organic carbon content was used as the basis for mapping organic matter stocks in soils SR.

Keywords: soil monitoring, soil bulk density, soil organic matter stocks, mapping of soil properties

ÚVOD

Objemová hmotnosť pôdy je a po harmonizácii metód európskeho monitoringu aj ostáva hlavným indikátorom jedného z významných degradačných procesov - kompaktie pôd, ktorý ovplyvňuje nielen produkčnú funkciu pôdy, ale aj mimoprodukčné funkcie ako aj degradačné procesy pôdy a krajiny (erózia pôdy a krajiny – VAN-CAMP a iní 2004, ECKELMANN a iní 2006, KOBZA a iní 2009). Jej hodnota je výsledkom pôsobenia viacerých faktorov, no v princípe ich možno zatriediť do dvoch kategórií, ktorými sú miera odolnosti pôdy voči utláčaniu závislá od stavu jednotlivých pôdnych vlastností (vlhkosť pôdy, hlavne v čase vstupu mechanizmov na pôdu, textúra, obsah pôdnej organickej hmoty, obsah vápnika, atď.), pričom v prípade jej poklesu stúpa riziko primárnej kompaktie a miera záťaže na pôdu prostredníctvom mechanizačných a dopravných prostriedkov (intenzita tlaku na pôdu ako aj rozsah prejazdenej plochy závislé od pestovateľských technológií rastlín), ktorá je pôvodcom sekundárnej kompaktie. V bežnej praxi dochádza obyčajne ku kombinácii oboch zmienených druhov kompaktie.

Hodnota objemovej hmotnosti pôdy je tiež súčasťou rôznych matematicko-fyzikálnych

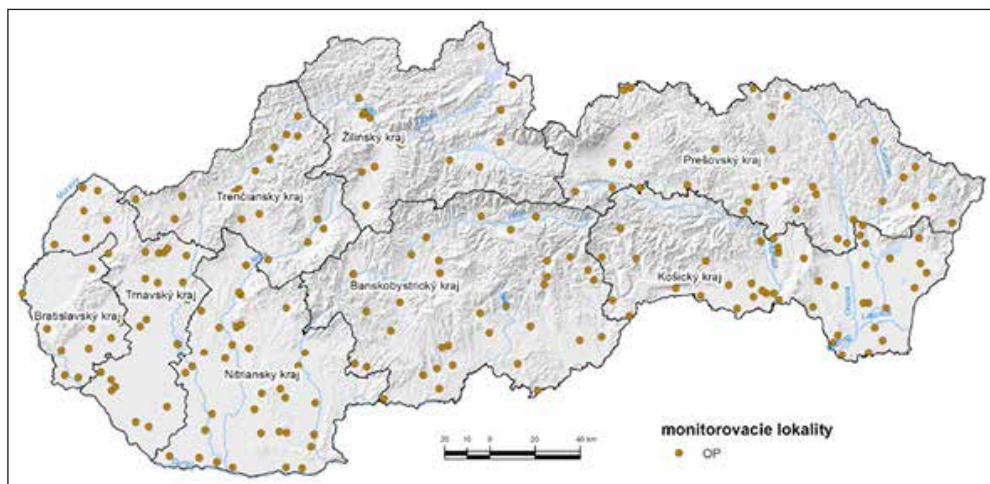
vzťahov, ako je napr. výpočet pórovitosti, výpočet zásob pôdnej vody a množstva látok v pôde ako aj zásob organickej hmoty a zásob prístupných živín. Predmetom tohto príspevku je použitie údajov, príp. máp objemovej hmotnosti pôdy a pôdneho organického uhlíka vytvorených na základe aktuálnych údajov monitoringu pôd SR na výpočet a tvorbu mapy zásob organickej hmoty v pôdach SR.

MATERIÁL A METÓDY

Monitorovanie objemovej hmotnosti pôdy v základnej monitorovacej sieti SR je realizované v 5ročných cykloch len na orných pôdach v rámci ornice (0–0,1 m) a podornice (0,3–0,4 m). Celkový počet monitorovacích lokalít základnej siete na orných pôdach je 214 (Obr. 1). Lokality sú rozdelené na základe pôdneho typu, subtypu a materskej horniny do 24 pôdnych skupín, pričom v týchto sa zohľadnil aj vplyv textúry (podskupiny – max. 5), keďže ovplyvňuje hodnoty objemovej hmotnosti pôdy a je potrebná aj pri hodnotení kompaktie pôd (Vyhláška 59/2013). Podľa priemerných hodnôt objemovej hmotnosti v skupinách resp. podskupinách boli pôdy zatriedené do 10 kategórií, ktorých hranice sú vytvorené prevažne na základe hodnôt limitov obsiahnutých v zmienenom zákone (legenda k obrázku 6). Rovnaký prístup a spôsob triedenia bol použitý i pre hodnoty obsahu pôdneho organického uhlíka (%), ako aj prepočítané hodnoty zásob pôdneho organického uhlíka ($t \cdot ha^{-1}$ vo vrstve 0–10 cm).

Objemová hmotnosť redukovaná sa stanovuje zvážením vysušenej (pri 105 °C do konštantnej hmotnosti) neporušenej pôdnej vzorky o objeme 100 cm³ odobratej do Kopeckého valčekov a obsah pôdneho organického uhlíka (% Cox) bol analyzovaný suchou cestou pomocou CN analyzátora. Podrobný postup stanovenia je uvedený v publikácii Jednotné pracovné postupy rozborov pôd (KOLEKTÍV, 2011).

Obr. 1 Monitorovacia sieť lokalít na ornjej pôde v rámci monitoringu pôd SR



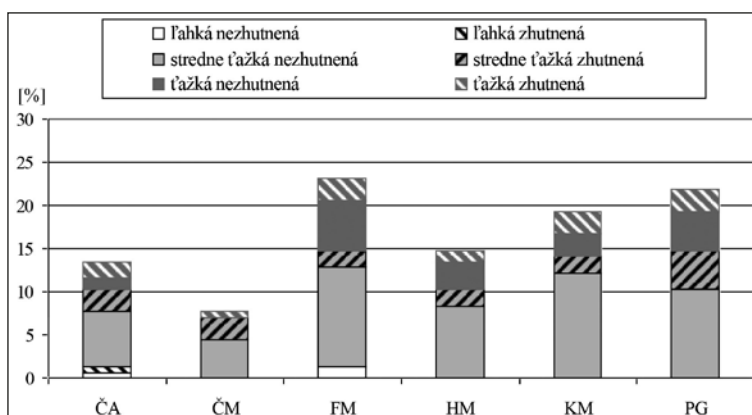
Pri tvorbe mapových výstupov hodnotených pôdnych parametrov pre vrstvu pôdy 0–10 cm sme vychádzali z digitálnej údajovej vrstvy orných pôd pre mapu Slovenska 1:400 000, ktorá reprezentuje plošné zastúpenie jednotlivých pôdnych asociácií (na základe pôdnych typov a subtypov) v rámci SR. Podrobný popis postupu tvorby týchto mapových výstupov je uvedený v predchádzajúcich prácach (BARANČIKOVÁ a iní 2008, ŠIRÁŇ, MAKOVNÍKOVÁ, PÁLKA, 2008).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Monitoring pôd SR poskytuje aktuálne informácie o širokom spektre pôdnych vlastností. Patrí medzi ne aj objemová hmotnosť pôdy, ktorá často v databázach chýba pre časovú náročnosť jej stanovenia tak u nás ako i vo svete a potom sa stanovuje často len výpočtom prostredníctvom rôznych pedotransférových rovníc na základe ďalších existujúcich pôdnych vlastností (HEUSCHER a iní 2005, MAKOVNÍKOVÁ, ŠIRÁŇ 2011).

Percentuálne zastúpenie lokalít z ich celkového počtu (všetky lokality s nameranou hodnotou objemovej hmotnosti podľa rôznych pôdnych typov a druhov, prípadne stavu ich zhutnenia) je zobrazené na obrázku 2. Toto zastúpenie lokalít pomerne dobre korešponduje aj s plošným zastúpením pôd v rámci SR, hlavne keď berieme do úvahy len orné pôdy. Relatívne uspokojivé je tiež ich rozmiestnenie na území Slovenska.

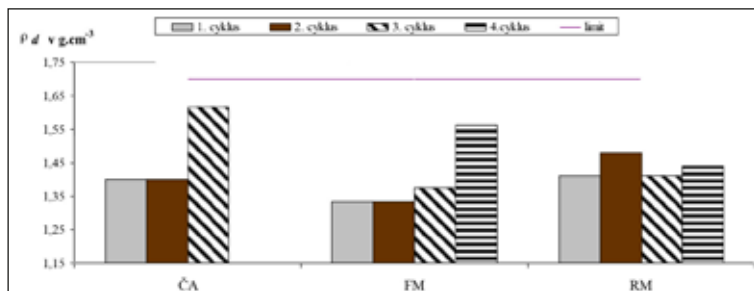
Obr. 2 Stav kompaktie pôd podľa údajov monitoringu pôd



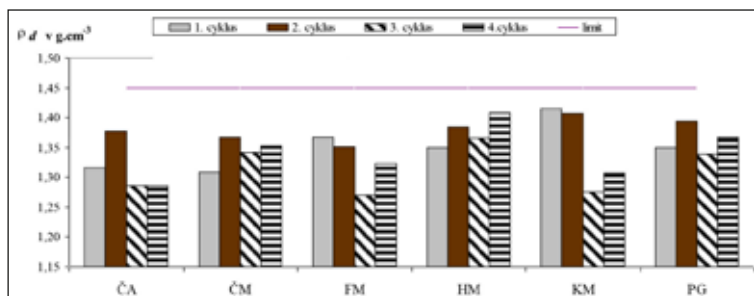
Stav objemovej hmotnosti pôdy podľa jednotlivých pôdnych druhov a typov (priemerné hodnoty za jednotlivé skupiny pôd) možno vidieť na obrázku 3 až 5. Hodnoty objemovej hmotnosti za jednotlivé skupiny pôd väčšinou mierne klesajú od ľahkých k ťažkým pôdam. Tiež viac alebo menej varujú po jednotlivých cykloch hlavne v dôsledku toho, že ide o ornicu, pravidelne kyprenú vrstvu pôdy, ale aj v dôsledku striedania plodín a s nimi spojených technológií pestovania, vývoja poveternostných podmienok, dodržiavania preventívnych pôdoochranných opatrení, prípadne ďalších faktorov (KOBZA a iní 2005). Preto s údajmi objemovej hmotnosti potrebnými k prepočtom zásob jednotlivých látok v pôde sa musí zaobchádzať veľmi citlivo, aby nedochádzalo k výraznejším skresleniam. V prípade orných pôd je optimálne pri odbere poruše-

ných pôdnych vzoriek odoberať zároveň aj neporušené v čase rovnovážneho stavu objemovej hmotnosti pôdy, ktorý závisí od druhu pestovanej plodiny a momentálnej vlhkosti pôdy ktorá by sa mala nachádzať v intervale poľnej vodnej kapacity.

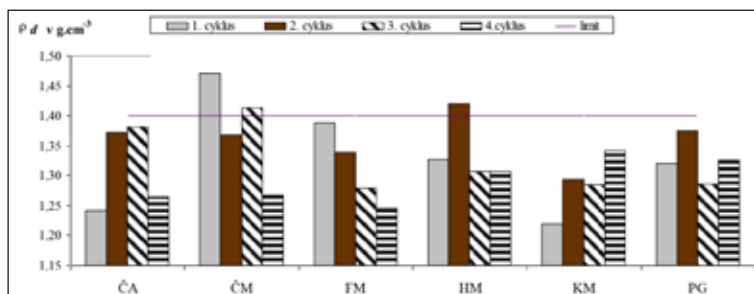
Obr. 3 Vývoj objemovej hmotnosti pôdy podľa pôdnych typov na základe údajov monitoringu pôd – zrnitostne ľahké pôdy



Obr. 4 Vývoj objemovej hmotnosti pôdy podľa pôdnych typov na základe údajov monitoringu pôd – zrnitostne stredne ťažké pôdy



Obr. 5 Vývoj objemovej hmotnosti pôdy podľa pôdnych typov na základe údajov monitoringu pôd – zrnitostne ťažké pôdy



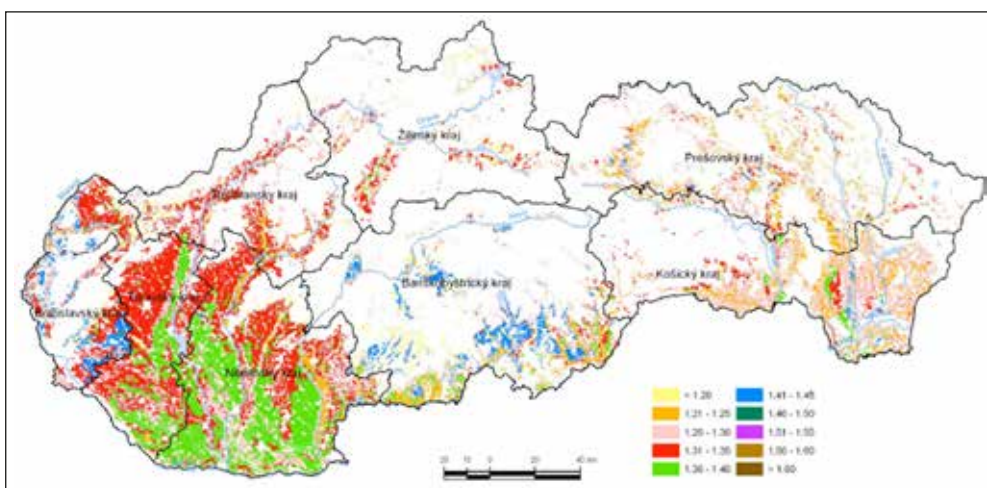
Vo vzťahu k limitom zhutnenia (Vyhláška 59/2013), ktoré zohľadňujú požiadavky rastlín na pôdne podmienky, fyzikálny stav sledovaných pôd sa v smere od zrnitostne ľahších ku ťažším pôdam výrazne zhoršuje.

Medzi najrizikovejšie pôdne typy z hľadiska kompaktácie patria pseudogleje, u ktorých stagnuje zrážková voda v hornej časti pôdneho profilu nad málo priepustnou vrstvou vytvorenou nahromadením ílu v nej, čo podporuje proces uľahčenia. Za nimi nasledujú kambizeme,

hlavne subtyp pseudoglejový a hnedozeme. Černozeme, čiernice a fluvizeme patria skôr k tým odolnejším pôdam aj vďaka vyššiemu obsahu organickej hmoty. S výnimkou ich ťažkých pôdných predstaviteľov (Obr. 5). Černozeme majú prirodzene dobré vlastnosti, ale z dôvodu intenzívneho obrábania a neadekvátnych oševných postupov dochádza na týchto pôdach často krát k výraznému zhoršeniu fyzikálnych vlastností. Čiernice a najmä fluvizeme sú citlivé aj pre obsah vody v pôdnom profile.

Dané poznatky o fyzikálnom stave v jednotlivých skupinách pôd sme sa snažili uplatniť pri tvorbe mapy objemovej hmotnosti pôd SR (Obr. 6). Pokým predchádzajúce obrázky 3 až 5 hovoria o stave (kvalite) fyzikálnych vlastností jednotlivých pôdných typov a druhov, mapa objemovej hmotnosti a tabuľka 1 aj o ich plošnom rozšírení na území SR. Na úrovni priemerov za hodnotené skupiny pôd môžeme konštatovať, že fyzikálny stav ornice našich orných pôd je s výnimkou troch prípadov priaznivý.

Obr. 6 Mapa objemovej hmotnosti pôdy podľa údajov monitoringu pôd SR



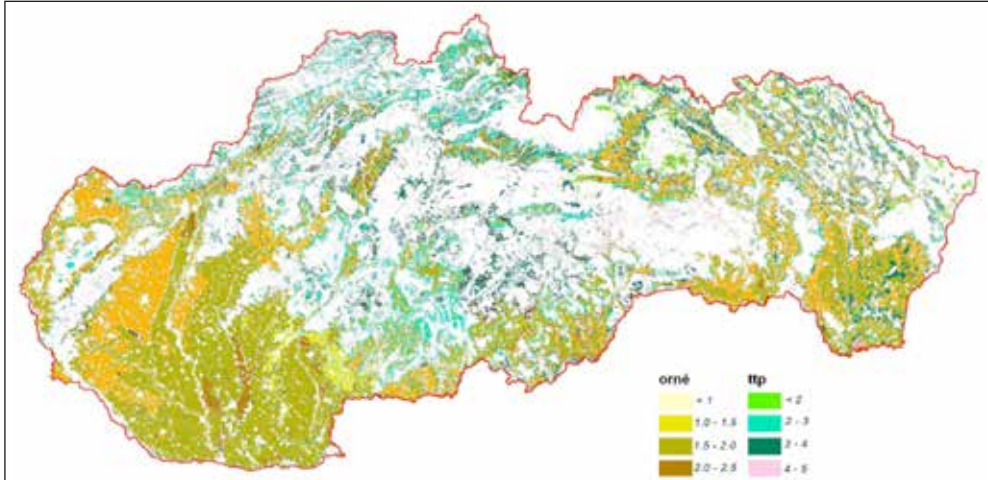
Tab. 1 Plošné zastúpenie pôd (% z výmery orných pôd SR) v rámci ornice (0 – 10 cm), ako aj zastúpenie pôdných typov a druhov v rámci potenciálne rizikových kategórií (>1,35 g.cm⁻³)

Kategórie objemovej hmotnosti (g.cm ³)	% plošné zastúpenie pôd	% zastúpenie pôdných typov a druhov v potenciálne rizikových kategóriách (>1,35 g.cm ⁻³)
<1,20	7,1	nerizikové kategórie pôd
1,20 – 1,25	8,7	nerizikové kategórie pôd
1,26 – 1,30	17,1	nerizikové kategórie pôd
1,31 – 1,35	43,7	nerizikové kategórie pôd
1,36 – 1,40	16,1	ľahké: RM
1,41 – 1,45	2,2	ľahké: PG, HM, KM, RM
1,46 – 1,50	5,0	stredne ťažké: ČM
>	–	–

RM – regozem, RA – rendzina, ČM – černozem, ČA – čiernica, HM – hnedozem, PG – pseudoglej, KM – kambizem, FM – fluvizem; c – na karbonátových substrátoch

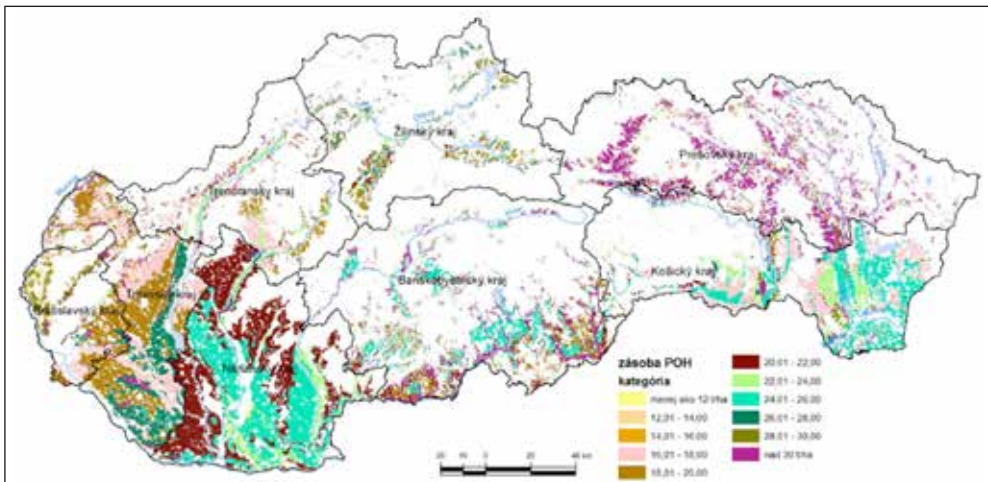
Rovnakým princípom ako mapa objemovej hmotnosti pre SR bola vytvorená aj mapa obsahu pôdneho organického uhlíka (Obr. 7), s tým rozdielom, že pri nej sú k dispozícii údaje aj za trvalé trávne porasty.

Obr. 7 Koncentrácia pôdneho organického uhlíka (v %) pre vrstvu 0–10 cm na základe údajov monitoringu pôd SR



Na úrovni jednotlivých lokalít bol urobený prepočet pôdneho organického uhlíka s použitím hodnôt objemovej hmotnosti, čím boli získané hodnoty zásob pôdneho organického uhlíka. Na rovnakom princípe ako predchádzajúce mapy bola vytvorená mapa zásob pôdneho organického uhlíka (Obr. 8).

Obr. 8 Zásoba pôdneho organického uhlíka (POH - $t \cdot ha^{-1}$) pre vrstvu 0–10 cm na základe údajov monitoringu pôd SR



ZÁVER

K pôdnym typom so sklonom k uľahňaniu patria pseudogleje, u ktorých stagnuje zrážková voda v hornej časti pôdneho profilu nad málo priepustnou vrstvou vytvorenou nahromadením ílu v nej, čo podporuje proces náchylnosť na zhutňovanie. Za nimi nasledujú kambizeme, hlavne subtyp pseudoglejový, hnedozeme, a rendziny. Černozeme, čiernice a fluvizeme patria skôr k tým odolnejším pôdam aj vďaka vyššiemu obsahu organickej hmoty, osobitne stredne ťažké pôdne druhy. No vyšší obsah ílu v pôde (ťažké pôdy), vysoká intenzifikácia využívania, neadekvátne oševné postupy a u čiernic a najmä fluvizemí aj obsah vody v pôdnom profile, či pôdny profil ovplyvnený hladinou podzemnej vody zvyšuje riziko zhutnenia. Vzhľadom na časovú a priestorovú premenlivosť objemovej hmotnosti pôdy je nutné s jej údajmi potrebnými k prepočtom zásob jednotlivých látok v pôde zaobchádzať veľmi citlivo, aby nedochádzalo k výraznejším skresleniam. V prípade orných pôd je optimálne pri odbere porušených pôdných vzoriek odoberať zároveň aj neporušené v čase rovnovážnej objemovej hmotnosti pôdy.

LITERATÚRA

- BARANČIKOVÁ, G., MAKOVNÍKOVÁ, J. 2008. *Prístup k tvorbe mapy obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. In: Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov, Sobocká, J., Kulhavý, J. (eds.) Bratislava: VÚPOP, 2008, s. 345 – 351. ISBN 978 – 80-89128 – 44-0.
- HEUSHER, A. S., BRANDT, C. C., JARDINE, M. P. 2005. *Using Soil Physical and Chemical Properties to Estimate Bulk Density Data*. In: Soil Sci. Soc. of America Journal 69, 2005, s. 51 – 56
- ECKELMANN, W., BARITZ, R., BIALOUSZ, S., BIELEK, P., CARRÉ, F., HOUŠKOVÁ, B., JONES, R. J. A., KIBBLEWHITE, M., KOZAK, J., LE BAS, C., TÓTH, G., TÓTH, T., VÁRALLYAY, G., HALLA, M. Y., ZUPAN, M. 2006. *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats: European Soil Bureau Research Report No. 20*, EUR 22185 EN, 2006. 94 s. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- KOBZA, J., BARANČIKOVÁ, G., MAKOVNÍKOVÁ, J., STYK, J., ŠIRÁŇ, M., VOJTÁŠ, J. 2005. *Návrh regulačných pôdochranných opatrení z výsledkov Monitoringu pôd SR*. Bratislava: VÚPOP, 2005. 24 s. ISBN 80 – 89128-21 – 1.
- 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: VÚPOP, 2009, s. 141 – 153, ISBN 978 – 80-89128 – 54-9
- MAKOVNÍKOVÁ, J., ŠIRÁŇ, M. 2011. *Modelovanie rovnovážnej objemovej hmotnosti pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 2011. 36 s.
- ŠIRÁŇ, M., MAKOVNÍKOVÁ, J., PÁLKA, B. 2008. *Prístup k tvorbe mapy objemovej hmotnosti na orných pôdach Slovenska*. In: Sobocká, J., Kulhavý, J. (eds.) Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov. Bratislava: VÚPOP, 2008, s. 713 – 716. ISBN 978 – 80-89128 – 44-0.
- VAN-CAMP, L., BUJARRABAL, B., GENTILE, A-R., JONES, R. J. A., MONTANARELLA, L., OLAZÁBAL, C., SELVARADJOU, S-K. 2004. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/5, Luxembourg: EC, 2004. 872 p.
- Vyhľadka č. 59/2013 Vyhľadka Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky

ZÁVAŽNOSŤ SUCHA V POĽNOHOSPODÁRSKÝCH REGIÓNOCH SLOVENSKA V ROKOCH 1961 – 2012

DROUGHT SEVERITY IN AGRICULTURAL REGIONS OF SLOVAKIA IN THE YEARS 1961 – 2012

Jozef TAKÁČ

Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, email: j.takac@vupop.sk

Abstrakt

Príspevok prezentuje hodnotenie závažnosti sucha v poľnohospodárskych regiónoch Slovenska za obdobie 1961 – 2012. Hodnotenie závažnosti sucha je založené na simuláciách vodného režimu pôdy modelom DAISY. Pre klasifikáciu závažnosti sucha bol použitý štandardizovaný index využiteľnej dennej zásoby vody v pôde. Kumulatívna hodnota indexu využiteľnej dennej zásoby vody v pôde bola použitá na kvantifikáciu sucha počas celej doby jeho trvania. Normálové klimatické obdobie 1961 – 1990 bolo vybrané ako referenčné obdobie na historické porovnanie závažnosti sucha a dôsledkov zmeny klímy. Kritériami pre posudzovanie výskytu sucha boli 1) zásoba využiteľnej vody v pôde menšia ako 50 % VVK, 2) podpriemerná zásoba vody v pôde v porovnaní s dlhodobým priemerom a 3) súvislé trvanie obdobia 15 a viac dní. Podľa tohto indexu je sucho zatriedené do štyroch stupňov od mierneho sucha po mimoriadne sucho. Mimoriadne sucho najväčšieho plošného rozsahu sa vyskytlo v rokoch 1990, 2003 a 2012. Najviac zraniteľné oblasti suchom sú Záhorská a Podunajská nížina.

Kľúčové slová: závažnosť sucha, využiteľná zásoba pôdnej vody, zrážky, modelovanie

Abstract

Assessment of drought severity in agricultural regions of Slovakia in the years 1961 – 2012 is presented in the paper. Drought severity assessment is based on the soil water dynamics simulation by the model DAISY. Standardized index of daily available soil water content was used for drought severity classification. Cumulative sum of available soil water index was used to drought quantification throughout its duration. Normal climate period 1961 – 1990 was chosen as reference period to enable historical comparison of drought severity as well as climate change impacts. Criteria for the drought occurrence were 1) available soil water content below 50 % of available water capacity, 2) soil water content below long-term average soil water content and 3) duration of continuous drought for fifteen or more days. According to the index the drought is categorized into four degrees of severity from mild to extreme drought. Extreme drought of the largest spatial extent was identified in the years 1990, 2003 and 2012. The most vulnerable regions are Záhorská and Podunajská lowlands.

Keywords: drought severity, available soil water content, precipitation, modelling

ÚVOD

Výraz sucho vyjadruje zápornú odchýlku vodnej bilancie od normálu na danom území (BRÁZDIL a iní, 2009). Kvantitatívne vymedzenie stupňa abnormality daného sucha pomocou rôznych klimatických indexov je zložitá vzhľadom na vzájomné pôsobenie meteorologických, hydropedologických, agrotechnických a ďalších faktorov. Vzhľadom na komplexnosť problému a jeho viaceré aspekty neexistujú jednotné kritériá na kvantifikáciu sucha. Sucho sa líši svojou závažnosťou, trvaním a rozsahom postihnutého územia. Podľa meteorologického slovníka (SOBÍŠEK a iní, 1993) rozlišujeme meteorologické sucho, agronomické sucho, hydrologické sucho a fyziologické sucho. Meteorologické sucho je definované najčastejšie časovými a priestorovými zrážkovými pomermi. Agronomické sucho predstavuje nedostatok vody v pôde ovplyvnený predchádzajúcim alebo ešte stále trvajúcim výskytom meteorologického sucha. Fyziologické sucho znamená nedostatok vody z hľadiska potrieb jednotlivých druhov rastlín.

V našej zemepisnej šírke je sucho prirodzeným prejavom atmosférickej cirkulácie. Vyskytuje sa s rôznou frekvenciou. Nastupuje pomaly a jeho dopady sa zosilňujú s narastajúcou dĺžkou suchého obdobia.

Územie Slovenska nie je v európskom kontexte chápané ako územie náchylné na výskyt sucha. Meteorologické pozorovania však potvrdzujú, že v posledných desaťročiach sa aj na našom území oveľa častejšie vyskytovalo lokálne alebo celoplošné sucho. Zmenilo sa rozdelenie atmosférických zrážok a ich intenzita. Príčina, že sa pozoruje zvýšený výskyt sucha, je okrem množstva a rozdelenia zrážok aj vo zvyšujúcich sa teplotách a tým narastajúcich požiadavkách na evapotranspiráciu. Podľa 5. národnej správy SR o zmene klímy (2009) sa mimoriadne sucho vyskytlo v rokoch 1990–1994, 2000, 2002, 2003 a 2007.

Sucho je považované za závažné prírodné riziko so značnými následkami pre životné prostredie a socioekonomické sektory. Vplyv sucha na zraniteľnosť krajiny v podmienkach klimatickej zmeny a zvyšujúcich sa požiadaviek na vodu v budúcnosti porastie. V Európe sa očakáva zvýšený výskyt neúrodných rokov v dôsledku sucha a vln horúčav, čo bude mať aj ekonomické následky (EEA, 2012). Riziko výskytu nepriaznivých suchých rokov v strednej Európe sa v dôsledku zmeny klímy zvýši, čo bude mať za následok zvýšené riziko pôdnej erózie a nižšej produktivity (TRNKA a iní, 2013). Častejší výskyt sucha a vln horúčav môžu eliminovať možné pozitívne dopady zvýšenej koncentrácie CO₂ v atmosfére a zmeny klímy na rastlinnú výrobu.

MATERIÁL A METÓDY

Nedostatok vody v pôde je stresovým faktorom negatívne ovplyvňujúcim výšku úrod. V prípade výskytu extrémneho sucha môže mať veľmi vážne dopady na úrody. Rast plodín je limitovaný dostatkom pôdnej vody pre evapotranspiráciu a preto ako najvhodnejšie na hodnotenie sucha sa považujú metódy, ktoré určitým spôsobom zahrňujú aj pôdnu vlhkosť. Obsah vody v pôde je výsledkom pôsobenia tokov vody v systéme atmosféra-porast-pôda-podzemná voda a patrí k najdynamickejším pôdnym vlastnostiam. Dynamika vody v pôde a teda aj

výskyt sucha v pôde je odozvou na pôsobenie prírodných podmienok (klimatických, hydrologických, geografických, hydrogeologických a pôdnych podmienok), vegetácie a ich časovej a priestorovej variability.

Časť vody v pôde nachádzajúca sa pod hodnotou bodu vädnutia θ_{BV} je pre rastliny ťažko dostupná, resp. nedostupná. Za využiteľnú sa považuje pôdna voda z intervalu vymedzeného poľnou vodnou kapacitou W_{PK} [mm], resp. θ_{PK} [-] a bodom vädnutia W_{BV} [mm], resp. θ_{BV} [-]. Preto sa v agronomickej praxi zaužívalo vyjadrenie vlhkosti pôdy ako využiteľnej vodnej kapacity W_{VV} [mm] alebo VVK [%]:

$$W_{VV} = W - W_{BV}$$

$$VVK = \frac{\theta - \theta_{BV}}{\theta_{PK} - \theta_{BV}} \cdot 100$$

Aktuálna vlhkosť pôdy θ a hodnoty hydrolimitov θ_{PK} a θ_{BV} sú počítané ako vážené priemery vlhkosti pôdy jednotlivých horizontov. Na základe tohto vzťahu ako základného kritéria pre hodnotenie vodného režimu bola vypracovaná agronomická klasifikácia vodného režimu pôdy (BENETIN a ŠOLTÉSZ, 1988). Tento vzťah sa využíva aj pri riadení závlahových režimov, pričom hodnota 50 % VVK sa všeobecne odporúča pre začiatok zavlažovania poľných plodín.

Získavať údaje o vlhkosti pôdy je možné okrem priameho merania aj riešením rovnice vodnej bilancie alebo matematickým modelovaním, ktoré umožňuje získať kontinuálne údaje v dennom kroku. Prezintované hodnotenie vodného režimu pôdy a výskytu sucha je založené na numerických simuláciách agroekologickým modelom DAISY (HANSEN a iní, 1990). Model DAISY simuluje tie časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu, ktoré súvisia s poľnohospodárskymi pôdnymi systémami (HANSEN, 2000). V rámci hydrologického cyklu sú modelované procesy akumulácie a topenia snehovej pokrývky, intercepcia, výpar z porastu, infiltrácia, výtopa, povrchový odtok, prúdenie vody v pôdnej matici a v makropóroch. Prúdenie vody v nenasýtenej zóne sa počíta podľa Richardsovej rovnice (ABRAHAMSEN a HANSEN, 2000). Plodinové parametre modelu boli pre slovenské podmienky optimalizované a verifikované na základe experimentálnych údajov z poľného pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave (TAKÁČ a ŠÍŠKA, 2011). Spoľahlivosť modelu bola preukázaná vo viacerých porovnávacích štúdiách (DIEKCRÜGER a iní, 1995, KRÖBEL a iní, 2010, PALUSAO a iní, 2011, RÖTTER a iní, 2012).

Vo vykonaných simuláciách boli použité denné údaje priemernej, maximálnej a minimálnej teploty vzduchu, priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu, trvania slnečného svitu, priemernej rýchlosti vetra a zrážkových úhrnov z 37 meteorologických staníc za obdobie 1961 – 2012. Simulácie boli vykonané pre 5 poľných plodín (ozimná pšenica, jarný jačmeň, kukurica, cukrová repa a zemiaky) a trvalé trávne porasty, čím boli zohľadnené rôzne požiadavky plodín na vodu v rôznych častiach vegetačného obdobia. Každá plodina bola simulovaná každý rok v oševnom postupe v 6 behoch modelu. V podhorských oblastiach bola zo simulácií vynechaná cukrová repa.

Tab. 1 Základné pôdne charakteristiky vybraných lokalít. W_{PK} – zásoba vody v pôdnom horizonte 0 – 100 cm pri polnej kapacite, W_{BV} – zásoba vody v pôdnom horizonte 0 – 100 cm pri bode vädnutia a W_{VV} – využiteľná zásoba vody v pôdnom horizonte 0 – 100 cm

Lokalita	Pôdny typ	Pôdny druh	W_{PK} [mm]	W_{BV} [mm]	W_{VV} [mm]
Kuchyňa	regozem	piesočnatohlinitá	230	51	179
Stupava	čiernica	piesočnatohlinitá	244	67	177
Malacky	čiernica	piesočnatohlinitá	264	78	186
Holíč	čiernica	hlinitá	355	158	197
Myjava	kambizem	ílovitohlinitá	377	168	209
Bratislava	černoziem	hlinitá	359	122	237
Hurbanovo	černoziem	hlinitá	340	124	216
Kráľová pri Senci	čenoziem	hlinitá	324	108	216
Žihárec	černoziem	hlinitá	349	133	216
Jaslovské Bohunice	černoziem	hlinitá	369	147	221
Piešťany	čiernica	ílovitohlinitá	377	192	185
Podhájska	černoziem	hlinitá	307	91	216
Nitra	hnedoziem	ílovitohlinitá	369	160	208
Mochovce	pseudoglej	ílovitohlinitá	403	198	205
Želiezovce	černoziem	ílovitohlinitá	393	165	228
Trenčín	hnedoziem	hlinitá	319	122	197
Beluša	luziem	hlinitá	346	128	218
Topoľčany	hnedoziem	ílovitohlinitá	376	165	211
Dudince	kambizem	ílovitohlinitá	395	212	183
Dolné Plachtince	hnedoziem	ílovitohlinitá	390	193	197
Bzovík	kambizem	hlinitá	363	176	187
Žiar nad Hronom	fluziem	piesočnatohlinitá	281	92	189
Sliač	luziem	hlinitá	346	135	211
Lučenec	luziem	ílovitohlinitá	387	196	191
Rimavská Sobota	luziem	ílovitohlinitá	379	164	215
Rožňava	kambizem	hlinitá	353	139	214
Moldava nad Bodvou	fluziem	hlinitá	324	121	213
Košice	hnedoziem	hlinitá	362	141	220
Prešov	luziem	hlinitá	331	118	213
Somotor	fluziem	piesočnatohlinitá	322	113	209
Michalovce	fluziem	ílovitohlinitá	383	163	220
Trebišov	fluziem	ílovitá	423	194	229
Vysoká nad Uhom	fluziem	ílovitohlinitá	394	173	221
Orechová	luziem	hlinitá	362	147	215
Kamenica nad Cirochou	fluziem	hlinitá	360	139	221
Stropkov	luziem	hlinitá	335	113	222
Spišské Vlachy	kambizem	hlinitá	344	133	211

Simulácie boli vykonané pre reprezentatívne pôdne profily vybraných regiónov (Tab. 1). Reprezentatívne pôdne profily boli vybrané z databázy KPP (SKALSKÝ a BALKOVIČ, 2002). Pôdne horizonty pôdnych profilov boli definované zrnitosťným zložením, objemovou hmotnosťou, parametrami retenčnej čiary, nasýtenou hydraulickou vodivosťou, obsahom humusu a pomerom C:N.

Na vyjadrenie anomálií v časových radoch sa hodia štandardizované indexy. Štandardizované indexy vyjadrujú relatívny vzťah odchýlok hodnôt od priemeru k smerodajnej odchýlke časových radov. Všeobecne sa používajú hlavne na porovnanie veľkých súborov údajov. Príkladom štandardizovaného indexu je SPI. Štandardizáciou sa dosiahne rozdelenie indexu blízke normovanému normálnemu rozdeleniu (TAKÁČ, 2012). Výhodou štandardizovaných indexov je, že umožňujú hodnotiť anomálie za rôzne dlhé časové úseky (rok, polrok, štvrtrok, mesiac).

Navrhovaný štandardizovaný index anomálie využiteľnej zásoby pôdnej vody AI_{VV} sa vypočíta pre každý deň z denných hodnôt vlhkosti pôdy podľa vzťahu (TAKÁČ, 2013):

$$AI_{VV} = \frac{W_{VV} - \overline{W}_{VV}}{\sigma(W_{VV})}$$

kde \overline{W}_{VV} je dlhodobý priemer využiteľnej zásoby vody v pôde pre daný deň a $\sigma(W_{VV})$ je smerodajná odchýlka prislúchajúca danému dňu. Podobne ako v prípade štandardizovaných klimatických indexov pre výpočet hodnôt \overline{W}_{VV} a $\sigma(W_{VV})$ sa vyžaduje dĺžka časového radu najmenej 30 rokov. Aby bolo možné historicky porovnávať intenzitu sucha a dopady zmeny klímy, zvolili sme klimatické normálové obdobie 1961 – 1990 ako referenčné obdobie.

V súlade s kvalitatívnym hodnotením zaužívaným v klimatológii (LAPIN a iní, 1988) boli podľa pravdepodobnosti opakovania stanovené hranice 25 % pre stredne silné sucho, 10 % pre silné sucho a 2 % pre mimoriadne sucho. Štandardizácia zásob vody v pôde umožňuje porovnanie intenzity sucha nielen v rôznych obdobiach, ale aj v rôznych regiónoch s rozdielnymi pôdnymi a klimatickými podmienkami. Aritmetický priemer hodnôt AI_{VV} zo súboru staníc pre stredne silné sucho bol -0,72, pre silné sucho -1,15 a pre mimoriadne sucho -1,81. Hodnoty zodpovedajúce mediánu pre jednotlivé stupne sucha boli -0,72, -1,16 a -1,80 (TAKÁČ, 2012).

Sucho sa vzťahuje k dlhodobým priemerným podmienkam a je chápané ako dlhodobý regionálny výskyt podpriemernej zásoby pôdnej vody. Pri splnení základnej podmienky $VVK < 50\%$ musí byť súčasne zásoba vody v pôde menšia ako je dlhodobý priemer pripadajúci na daný deň. Sucho bolo definované ako po sebe idúce dni so zápornou hodnotou AI_{VV} . Pri hodnotení závažnosti sucha sme posudzovali jednotlivé stupne sucha podľa hodnoty AI_{VV} v intervale zabezpečenia podľa tabuľky 2. Začiatok suchého obdobia daného stupňa bol daný dňom, keď AI_{VV} pokleslo pod prahovú hodnotu a sucho pokračuje do doby, kým nie je prahová hodnota prekročená. Aby bolo dané obdobie zaradené do príslušného stupňa sucha, musí trvať neprerušene minimálne 15 dní. V prípade, že príslušná podmienka trvá dlhšie ako 15 dní, kratšie vlhšie obdobia nie sú považované za ukončenie obdobia sucha v prípadoch, keď prerušenie trvá kratšie ako 10 % trvania predchádzajúceho suchého obdobia. Tieto dni sú zarátané do daného obdobia. Ak sucho prechádza z jedného roku do druhého, je formálne priradené

k tomu roku, kde je jeho väčšia časť. Kumulatívna hodnota indexu anomálie využiteľnej zásoby pôdnej vody za suché obdobie KAI_{VV} bola použitá na kvantifikáciu závažnosti obdobia sucha počas celej doby jeho trvania:

$$KAI_{VV} = \sum_{i=1}^N AI_{VV}^i$$

kde i je poradové číslo dňa v suchom období a N je počet dní v danom období so zápornou hodnotou AI_{VV} . Na základe pravdepodobnosti výskytu v referenčnom období 1961 – 1990 boli zvolené zaokrúhlené hodnoty KAI_{VV} pre hranice intervalov za účelom klasifikácie suchých období (Tab. 3).

Tab. 2 Hranice intervalov pre hodnotenie závažnosti sucha podľa standardizovaného indexu využiteľnej zásoby pôdnej vody AI_{VV}

Stupne sucha	Mimoriadne sucho	Silné sucho	Stredne silné sucho	Mierne sucho
Pravdepodobnosť	≤ 2 %	2,1 % to 10 %	10,1 % to 25 %	25,1 % to 50 %
Interval AI_{VV}	≤ -1,8	-1,8 to -1,151	-1,15 to -0,721	-0,72 to 0

Tab. 3 Hranice intervalov pre hodnotenie závažnosti sucha podľa kumulovaného indexu anomálie využiteľnej zásoby pôdnej vody KAI_{VV}

Klasifikácia	Mimoriadne závažné sucho	Veľmi závažné sucho	Závažné sucho	Mierne sucho
Pravdepodobnosť	≤ 2 %	2 % až 10 %	10,1 % až 25 %	25,1 % až 50 %
Interval KAI_{VV}	≤ -300	-299 až -200	-199 až -100	-99 až 0

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah vody v pôde je determinovaný nielen klimatickými podmienkami, hlavne zrážkami a evapotranspiráciou, ale závisí aj od pôdnych vlastností a vegetačného pokryvu. Významný je ročný režim a regionálny aspekt sucha.

Čas potrebný na vznik deficitu vody v pôde je rozdielny v závislosti od retenčnej schopnosti pôdy a tak aj čas, kedy meteorologické sucho (deficit zrážok) prechádza do agronomickeho sucha (deficit zásob pôdnej vody) je v závislosti od retenčnej schopnosti pôd rozdielny.

Všeobecne platí, že vlnosť pôdy má ročný cyklický charakter. Maximum zásob pôdnej vody je koncom zimy a minimum sa vyskytuje v letných mesiacoch. Na Podunajskej a Záhorскеj nížine dochádza k poklesu pôdnej vlhkosti pod hranicu 50 % VVK v priemere už v priebehu júna, na juhu stredného a východného Slovenska v júli. V niektorých rokoch môže tento stav nastať už začiatkom jari, prípadne môže následkom nedostatočných zrážkových úhrnov v jesenných a zimných mesiacoch pretrvávajúť aj počas jesene a zimy (TAKÁČ, 2012).

Striedanie suchých a vlhkých období podľa priemerných mesačných hodnôt AI_{VV} sa nezhoduje s kalendárnym cyklom. Relatívne suché alebo vlhké obdobia často trvajú viac ako rok.

Najdlhšie zaznamenané obdobia s podpriemernou vlhkosťou pôdy sa na väčšine staníc pohybovali okolo 2 rokov. Najdlhšie takéto obdobie bolo zaznamenané na Záhorskej nížine, trvalo od októbra 1988 do decembra 1991, teda 39 mesiacov (TAKÁČ, 2013).

Tab. 4 Kumulatívna hodnota indexu anomálie využiteľnej zásoby pôdnej vody za suché obdobie KAI_{VV} v piatich najsuchších rokoch hodnotených lokalít

Lokalita	1		2		3		4		5	
	rok	KAI_{VV}	rok	KAI_{VV}	rok	KAI_{VV}	rok	KAI_{VV}	rok	KAI_{VV}
Malacky	1978	-591,0	1990	-480,2	1974	-448,8	1973	-330,6	1983	-210,6
Holíč	1990	-673,1	1978	-524,0	1974	-278,7	2003	-270,6	1992	-261,1
Kuchyňa	1990	-695,6	1997	-339,3	1974	-264,8	2012	-263,2	1978	-257,7
Stupava	1990	-758,4	1974	-248,2	1978	-235,8	1983	-232,9	2012	-220,8
Myjava	1991	-177,0	2003	-168,9	2000	-168,3	1989	-145,9	1992	-138,1
Bratislava	1990	-585,7	1978	-365,7	1998	-338,2	1977	-279,3	2003	-278,2
Hurbanovo	1978	-603,1	1990	-569,2	2012	-285,0	1983	-198,0	2003	-171,8
Kráľová pri Senci	1990	-766,0	1978	-588,1	2012	-230,6	1983	-228,0	1991	-197,3
Žihárec	1990	-732,1	2012	-339,7	1978	-258,3	2011	-219,7	1968	-210,5
Jaslovské Bohunice	1990	-868,6	1978	-293,2	1991	-225,6	1997	-217,5	1998	-215,0
Piešťany	1989	-353,0	1978	-268,5	1983	-224,4	1990	-190,7	1971	-178,3
Podhájska	1990	-539,0	1978	-315,1	1971	-295,3	1983	-254,2	2012	-183,1
Nitra	1990	-684,2	2012	-273,7	1978	-230,8	2006	-218,1	1971	-203,1
Mochovce	1971	-322,3	1978	-321,3	1990	-294,8	1989	-227,7	1983	-191,2
Želiezovce	1990	-530,9	1971	-413,2	1989	-299,2	1978	-284,0	1983	-263,0
Trenčín	1989	-396,6	1997	-344,0	1996	-294,5	1990	-238,5	1973	200,0
Beluša	2003	-315,9	2011	-285,8	2012	-282,6	2000	-266,1	1983	-221,4
Topoľčany	1990	-697,6	1971	-290,2	1978	-273,0	1983	-268,4	2012	-202,0
Dudince	1990	-202,2	1997	-132,7	2000	-130,9	1962	-129,0	1983	-126,6
Dolné Plachtince	1986	-191,9	2011	-177,9	1990	-167,1	2000	-148,0	1983	-142,5
Bzovík	1990	-233,8	2000	-183,0	1993	-178,7	1982	-125,1	2007	-123,0
Žiar nad Hronom	2000	-265,8	1993	-241,5	2012	-227,4	2003	-199,5	2009	-195,7
Sliač	2012	-252,5	2000	-251,0	1993	-198,1	1983	-185,7	1973	-153,8
Lučenec	2002	-564,7	1989	-403,0	1988	-283,0	2012	-268,1	1983	-230,8
Rimavská Sobota	2012	-248,2	1963	-203,3	2000	-200,8	1986	-194,5	1993	-193,7
Rožňava	1986	-260,0	1982	-232,5	2012	-213,5	2003	-213,1	1993	-212,3
Moldava nad Bodvou	1986	-358,2	2011	-295,4	1993	-280,8	1964	-217,6	1968	-211,3
Košice	1973	-361,0	2002	-365,2	1986	-342,2	2012	-292,1	1993	-234,4
Prešov	1973	-435,3	1986	-261,2	1983	-251,2	1993	-209,8	1964	-202,9

Lokalita	1		2		3		4		5	
	rok	KAI _{vv}	rok	KAI _{vv}	rok	KAI _{vv}	rok	KAI _{vv}	rok	KAI _{vv}
Somotor	1990	-301,4	1986	-295,4	2002	-245,5	1962	-234,9	1964	-234,4
Michalovce	1986	-420,9	1963	-292,5	1961	-283,6	2011	-231,8	1987	-215,0
Trebišov	1986	-359,4	1999	-184,1	1973	-165,4	1993	-153,0	2009	-152,0
Vysoká nad Uhom	1986	-374,2	2011	-234,9	1961	-231,9	1962	-188,3	2009	-163,4
Orechová	1986	-332,9	1961	-268,4	1973	-252,2	1962	-194,9	1992	-164,7
Kamenica nad Cirochou	1961	-360,8	2003	-215,5	1962	-195,1	1964	-124,0	2007	-122,5
Stropkov	1961	-351,9	2003	-221,1	1962	-178,1	1964	-175,8	2011	-157,0
Spišské Vlachy	1961	-412,8	1962	-277,8	1964	-160,3	1993	-156,1	1967	-141,9

Tab. 5 Charakteristika sucha na vybraných lokalitách v roku 1990

Lokalita	Poradie	Začiatok obdobia sucha	Koniec obdobia sucha	Súvislé sucho			Z toho [dní]	
				[dní]	KAI _{vv}	Stredne silné sucho	Silné sucho	Mimoriadne sucho
Malacky	2	19.9.1989	9.12.1990	447	-480,2	360	208	41
Holíč	2	22.5.1989	25.11.1990	553	-673,1	408	273	132
Kuchyňa	1	10.5.1989	9.12.1990	579	-695,6	404	239	139
Stupava	1	24.5.1989	9.12.1990	565	-758,4	442	220	151
Bratislava	1	13.9.1989	17.11.1990	431	-585,7	376	225	147
Hurbanovo	2	17.9.1989	28.10.1990	433	-569,2	345	205	155
Kráľová pri Senci	1	12.4.1989	25.11.1990	593	-766,0	489	297	157
Žihárec	1	15.6.1989	18.11.1990	522	-732,1	436	258	166
Podhájska	1	23.9.1989	28.10.1990	401	-539,0	370	218	130
Nitra	1	18.9.1989	17.11.1990	426	-684,2	380	260	156
Jasl. Bohunice	1	13.4.1989	16.11.1990	583	-868,6	503	350	197
Piešťany	4	19.5.1990	28.10.1990	163	-190,7	140	112	54
Trenčín	4	21.5.1990	23.9.1990	126	-238,5	109	57	35
Topoľčany	1	12.5.1989	28.10.1990	535	-697,6	426	233	142
Dudince	1	20.5.1990	28.10.1990	162	-202,2	162	107	0
D. Plachtince	3	16.6.1990	28.10.1990	135	-167,1	135	41	0
Bzovík	1	17.5.1990	28.10.1990	165	-233,8	165	107	22
Lučenec	23	22.6.1990	28.10.1990	129	-109,6	67	0	0
Rimavská Sobota	27	21.7.1990	7.10.1990	79	-67,0	54	0	0
Michalovce	30	16.7.1990	6.10.1990	83	-50,3	35	0	0
Trebišov	11	21.7.1990	28.10.1990	100	-82,6	71	0	0
Somotor	1	23.3.1990	2.11.1990	225	-301,4	220	103	53

Na 14 z 37 uvažovaných staníc hlavne na západnom Slovensku bol podľa kumulatívnej hodnoty KAI_{wv} ako najsuchší rok identifikovaný rok 1990 (Tab. 4). Rok 1986 bol najsuchším rokom na juhu východného Slovenska a rok 1961 na severovýchode Slovenska. Rok 1978 bol druhý najsuchší rok na západnom Slovensku. Rok 1983 bol najčastejšie nájdený ako štvrtý alebo piaty najsuchší rok na západnom a strednom Slovensku. Rok 2012 bol najčastejšie tretím najsuchším rokom, ale v Rimavskej Sobote a v Sliachi bol najsuchším za celé hodnotené obdobie. Závažné sucho, ktoré sa vyskytlo v iných rokoch, malo menší regionálny rozsah.

Tab. 6 Počet lokalít s výskytom sucha podľa KAI_{wv} vo vybraných rokoch v období 1961 – 2012

Rok	Priemer KAI_{wv}	Medián KAI_{wv}	Sucho [počet lokalít]	Z toho [počet lokalít]		
				Závažné sucho	Veľmi závažné sucho	Mimoriadne závažné sucho
1990	-249,0	-190,7	31	7	5	13
2012	-179,1	-184,5	35	12	17	1
2003	-160,8	-148,2	36	22	9	1
1983	-157,6	-185,7	33	16	13	0
1978	-147,3	-31,2	21	1	8	7
1993	-139,2	-138,2	35	22	6	0
1986	-137,6	-89,3	34	8	4	6
1973	-136,2	-121,7	32	17	4	3
2011	-134,4	-129,4	35	18	7	0
2000	-131,0	-131,1	35	23	6	0
1989	-130,2	-86,6	26	5	7	5
1961	-123,8	-91,2	37	9	3	3
1992	-113,4	-121,8	35	20	2	0
1971	-111,8	-99,2	30	11	4	2
1962	-111,3	-107,8	36	18	3	0
2007	-109,5	-110,5	36	22	0	0
1964	-104,0	-98,4	34	15	3	0
1968	-103,9	-107,0	35	18	2	0
1991	-98,5	-98,2	30	17	1	0
1997	-90,1	-76,4	28	10	3	2
2002	-88,1	-75,4	32	9	1	2
1974	-86,9	-76,5	25	11	3	1
1987	-85,6	-82,4	31	13	2	0
2009	-83,7	-87,6	32	13	0	0
1998	-76,6	-64,2	24	11	1	1

Súvislé obdobie sucha v období 1989–1990 trvalo viac ako 400 dní, najviac v Kráľovej pri Senci, a to 593 dní (Tab. 5). Najmenšia KAI_{wv} bola vypočítaná v Jaslovských Bohuniciach, a to -868,6. Mimoriadne závažnému suchu v roku 1990 (Obr. 6) predchádzalo na západnom

Slovensku stredne silné až silné sucho v roku 1989, ktoré na Záhorskej nížine a juhozápade Podunajskej nížiny súvisle pokračovalo do roku 1990, kým inde bolo prerušené na rôzne dlhé obdobia. Na niektorých miestach bolo sucho v predchádzajúcom roku 1989 závažnejšie ako v roku 1990 (Myjava, Piešťany a Lučenec). Napríklad v Lučenci sa silné sucho vyskytlo už v roku 1988. Silné a mimoriadne sucho pokračovalo aj v roku 1989 od apríla až do apríla 1990. Stredne silné sucho nastúpilo koncom júna a trvalo do konca októbra 1990. Rok 1989 bol najsuchším na dvoch miestach na strednom Považí.

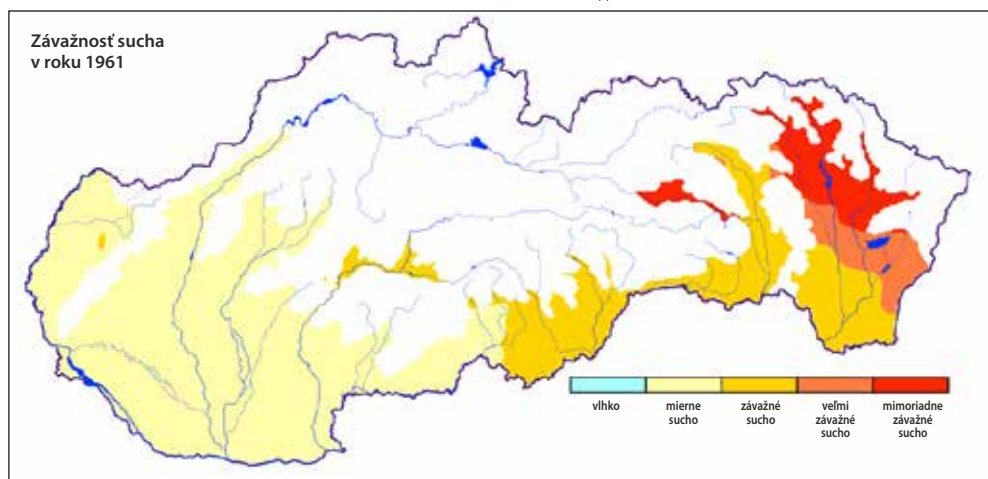
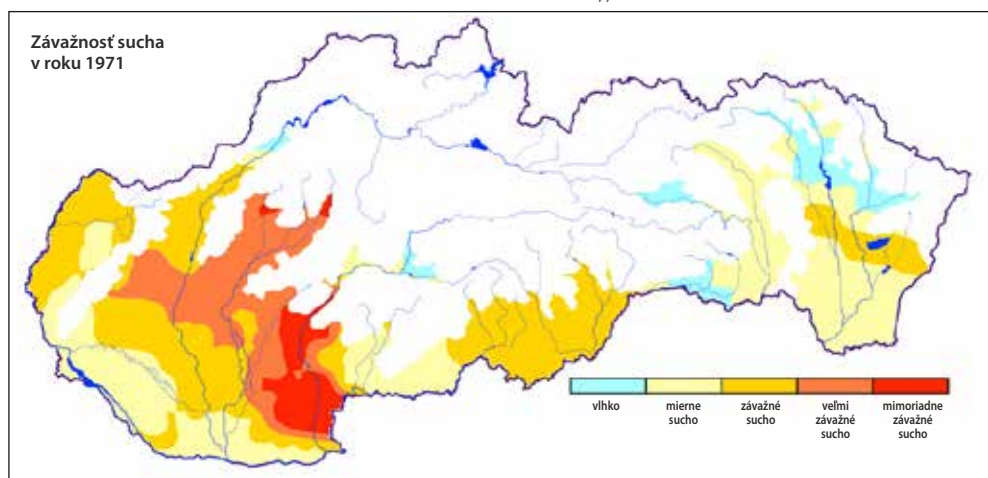
Na západnom Slovensku bol mimoriadne suchý aj rok 1978 (Obr. 3), ktorému predchádzalo stredne silné až silné sucho v predchádzajúcom roku 1977. Na juhu Podunajskej nížiny pokračovalo silné až mimoriadne sucho aj v roku 1979. Súvislé obdobie sucha trvalo viac ako 200 dní, v Hurbanove a Kráľovej pri Senci takmer 600 dní. Najmenšia hodnota KAI_{W} bola vypočítaná pre Hurbanovo, a to -603.1. Na juhu stredného Slovenska a na východnom Slovensku sa v roku 1978 mimoriadne sucho nevyskytlo, keď napr. v roku 1978 bolo v Lučenci súvisle len 47 dní s miernym až stredne silným suchom a v Michalovciach len 39 dní s miernym suchom. V tejto časti Slovenska boli suchšie ako rok 1978 roky 1977 a 1979.

Na Východoslovenskej nížine trvalo súvislé suché obdobie viac ako 200 dní len raz v roku 1986 (Obr. 5). Najmenšia hodnota KAI_{W} bola vypočítaná v tomto roku pre Michalovce, a to -420.9.

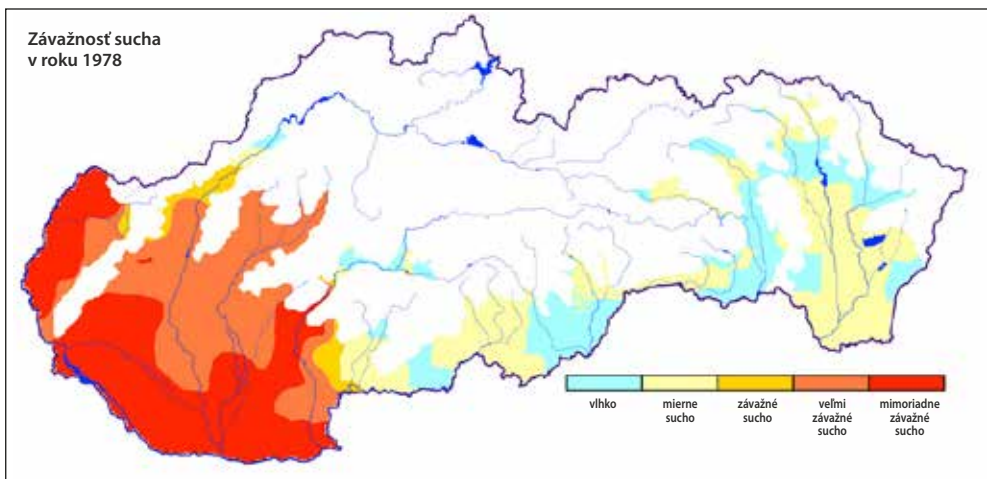
Medián KAI_{W} z 37 staníc bol v referenčnom období 1961 – 1990 -53 a dolný kvartil -110. Hodnoty mediánu a dolného kvartilu poklesli v období 1961 – 2012 na -74 a -133. Podľa priemeru KAI_{W} z 37 staníc bol rok 1990 najsuchším rokom (-249). Hodnota KAI_{W} zodpovedala v roku 1990 závažnému suchu na 7 miestach, na 5 miestach veľmi závažnému suchu a na 13 miestach mimoriadne závažnému suchu (Tab. 6).

Mimoriadne závažné sucho sa podľa hodnôt KAI_{W} vyskytlo na 7 hodnotených lokalitách západného Slovenska v roku 1978 a v roku 1986 na 6 lokalitách východného Slovenska (Tab. 6). Veľmi závažné sucho s hodnotou $KAI_{W} < -200$ prevládalo v rokoch 2012 (Obr. 12) a 1983 (Obr. 4), spolu na 17, resp. 13 z 37 hodnotených lokalít. V roku 1961 sa mimoriadne závažné sucho vyskytlo na severovýchode Slovenska (Obr. 1) a v roku 1971 vo východnej časti Podunajskej nížiny (Obr. 2).

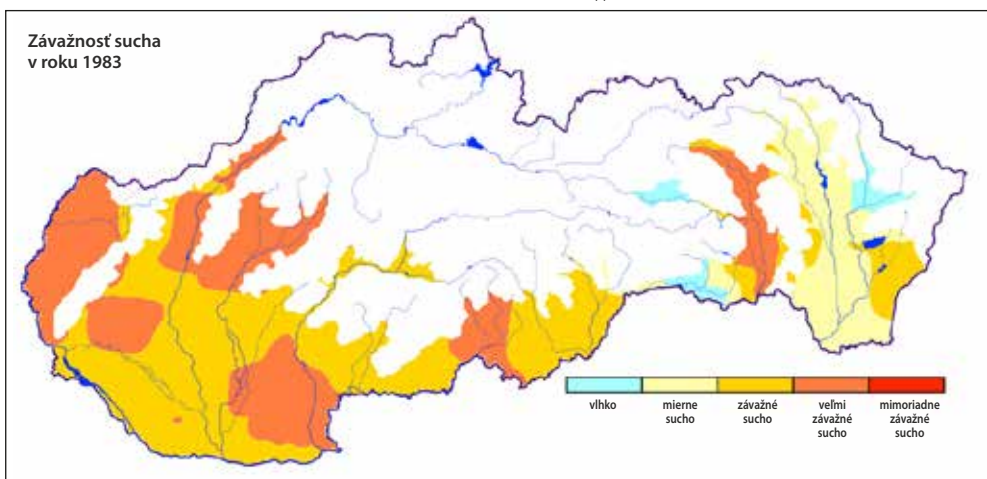
Najčastejšie postihlo mimoriadne závažné sucho s hodnotou $KAI_{W} < -300$ juhozápad Záhorskej nížiny, a to štyrikrát. Na Podunajskej nížine sa mimoriadne závažné sucho vyskytovalo v priemere dvakrát za hodnotené 52ročné obdobie. Na lokalitách na východnom Slovensku sa mimoriadne závažné sucho za toto obdobie objavilo len raz. V niektorých z hodnotených miest, hlavne na strednom Slovensku, sa nevyskytlo mimoriadne závažné sucho vôbec (Tab. 4).

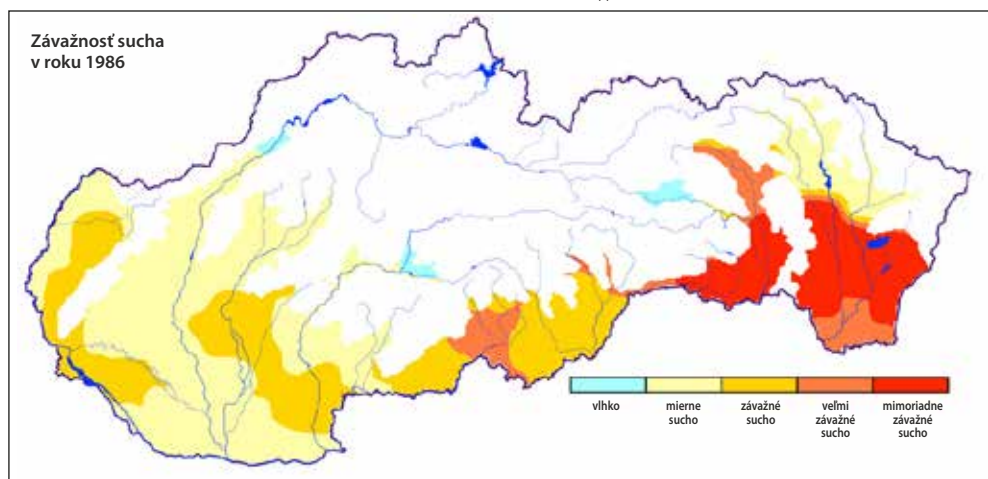
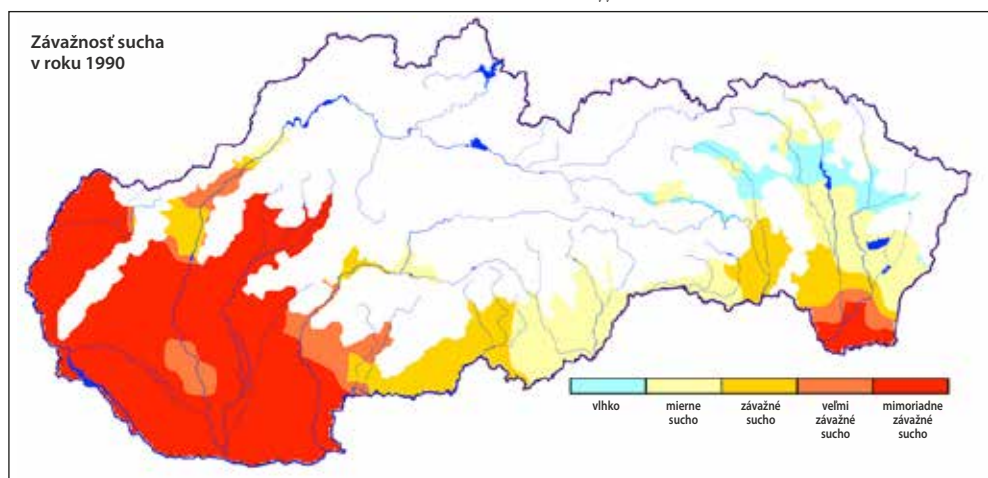
Obr. 1 Výskyt sucha v roku 1961 podľa ročných hodnôt KAI_w **Obr. 2** Výskyt sucha v roku 1971 podľa ročných hodnôt KAI_w 

Obr. 3 Výskyt sucha v roku 1978 podľa ročných hodnôt KAI_{W}

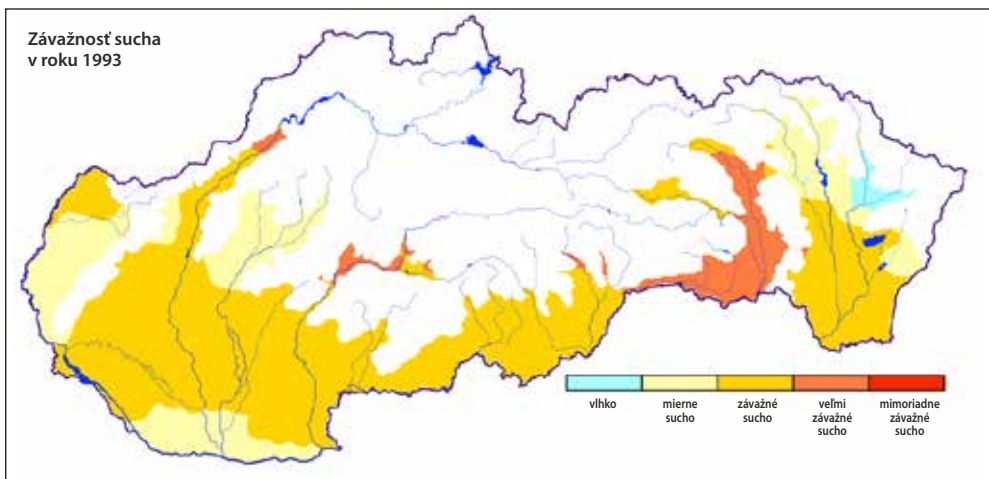


Obr. 4 Výskyt sucha v roku 1983 podľa ročných hodnôt KAI_{W}

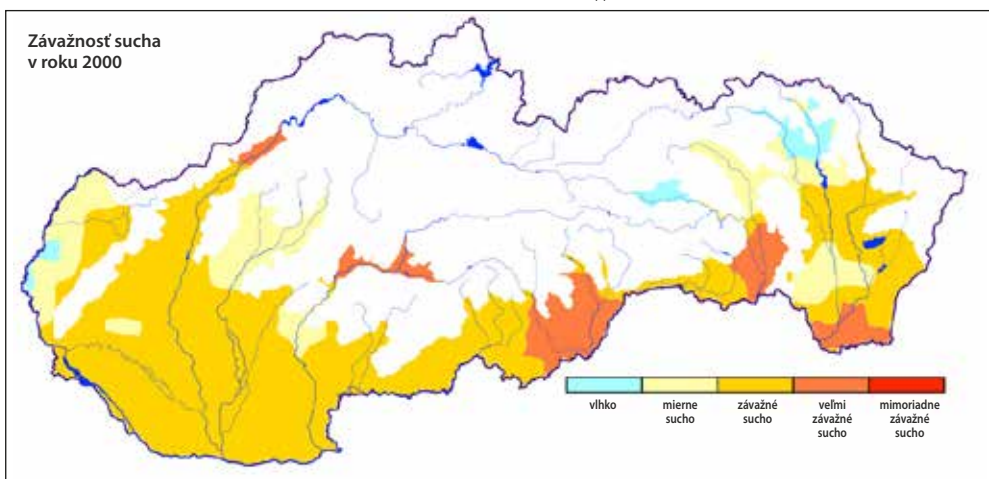


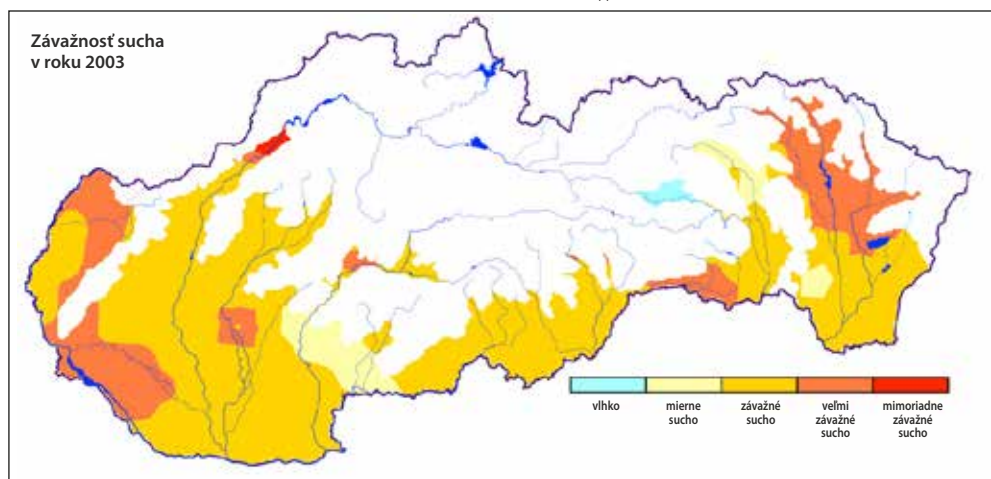
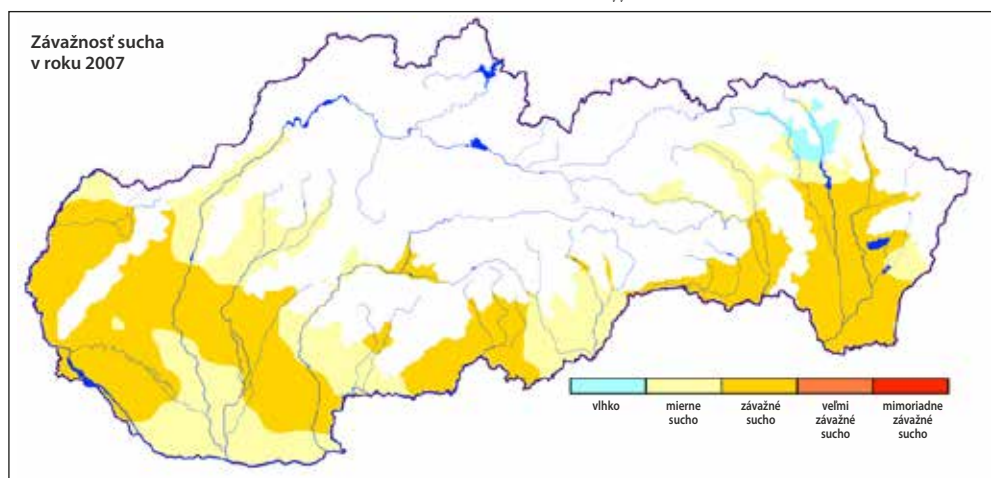
Obr. 5 Výskyt sucha v roku 1986 podľa ročných hodnôt KAI_w **Obr. 6** Výskyt sucha v roku 1990 podľa ročných hodnôt KAI_w 

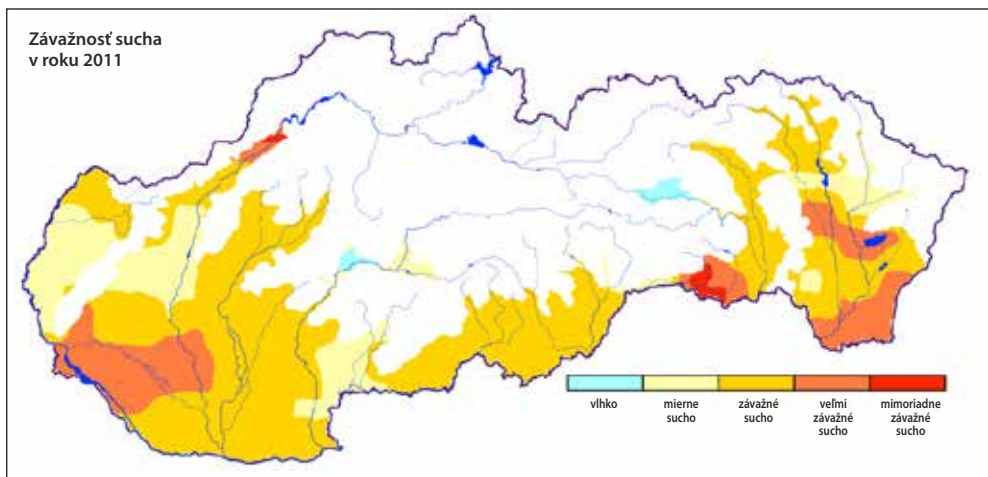
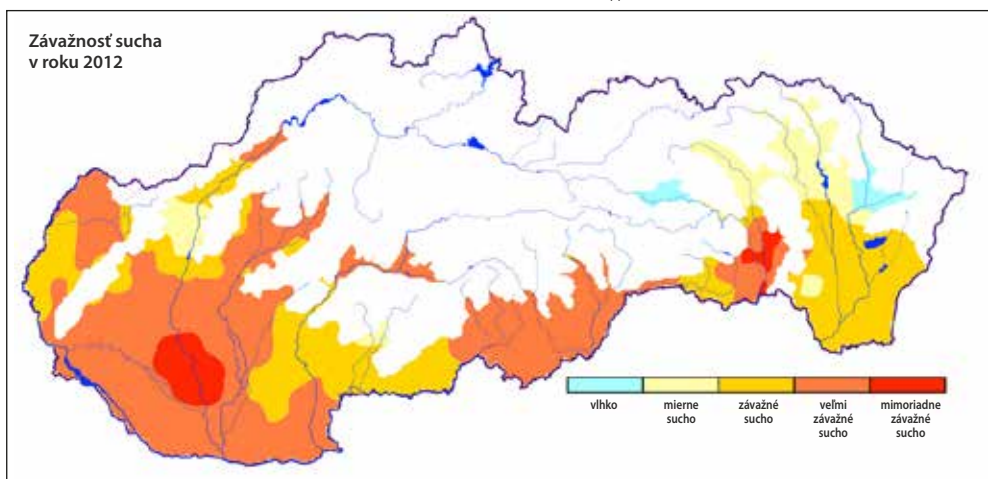
Obr. 7 Výskyt sucha v roku 1993 podľa ročných hodnôt KAI_{W}



Obr. 8 Výskyt sucha v roku 2000 podľa ročných hodnôt KAI_{W}



Obr. 9 Výskyt sucha v roku 2003 podľa ročných hodnôt KAI_w **Obr. 10** Výskyt sucha v roku 2007 podľa ročných hodnôt KAI_w 

Obr. 11 Výskyt sucha v roku 2011 podľa ročných hodnôt KAI_W **Obr. 12** Výskyt sucha v roku 2012 podľa ročných hodnôt KAI_W 

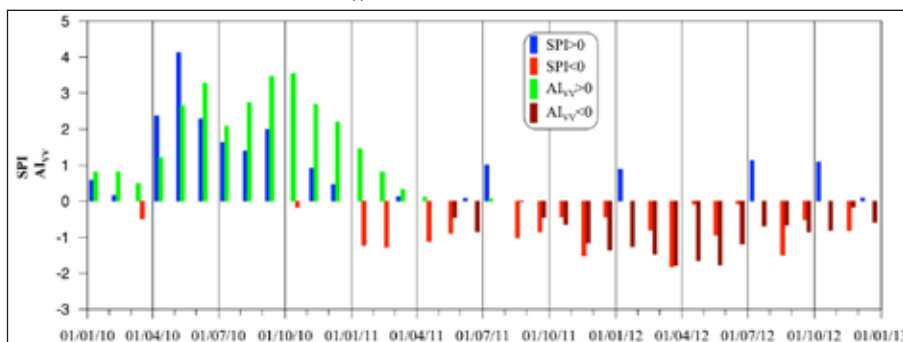
Z hodnotenia výskytu a trvania sucha podľa KAI_W je zrejmé, že mimoriadne závažné sucho sa v posledných desaťročiach vyskytuje aj v regiónoch, v ktorých sa v prvých desaťročiach hodnoteného obdobia vyskytovalo len zriedka. Päť najsuchších období sa vyskytlo v Myjave po roku 1989 a v Žiari nad Hronom po roku 1993. V Beluši sa štyri najsuchšie obdobia vyskytli od roku 2000 (tab. 4).

V posledných dvoch desaťročiach sa zväčšil regionálny rozsah sucha. Veľmi až mimoriadne závažné sucho sa podľa hodnôt KAI_W na 20 a viac miestach vyskytlo v rokoch 1962, 1968, 1973, 1983, 1990, 1992, 2000 (Obr. 8), 2003 (Obr. 9), 2007 (Obr. 10), 2011 (Obr. 11) a 2012, teda väčšina po roku 1990. Závažné až mimoriadne závažné suché obdobie malo najväčšie priestorové rozšírenie v rokoch 2003, 2012, 2000, 1983 a 1993 (Obr. 7), teda opäť v posledných rokoch, keď sa vyskytlo na 32, 30, 29, 29, resp. 28 miestach z 37 hodnotených miest. Najväčšie územné

rozšírenie veľmi závažného sucha bolo v roku 2012, keď táto hodnota bola dosiahnutá až na 16 miestach.

Z klimatologického hľadiska sú obdobia sucha kratšie, ale v pôde sucho pretrváva aj po skončení meteorologického sucha a v prípade, že prerušenie meteorologického sucha obdobia zrážok je kratšie a nasleduje ďalšie obdobie meteorologického sucha, závažnosť pôdneho sucha sa zosilňuje (Obr. 13).

Obr. 13 Mesačné hodnoty SPI a AI_{VV} v rokoch 2010–2012 v Hurbanove



ZÁVER

Závažnosť a trvanie sucha sú v jednotlivých rokoch rozdielne. S výnimkou rokov 1965 a 2010 sa vyskytlo sucho každý rok aspoň na časti územia. Najzávažnejšie sucho sa vyskytlo v rokoch 1990, 2003 a 2012. Najviac zraniteľné oblasti suchom sú Záhorská a Podunajská nížina.

Vykonané analýzy poukázali na nárast závažnosti sucha v posledných desaťročiach, čo je zapríčinené zvyšovaním teplôt a tým aj zvýšenými nárokmi na výpar a transpiráciu rastlín. Závažnosť sucha v danom roku je väčšia vtedy, ak sa závažné sucho vyskytlo aj v predchádzajúcom roku a zásoba vody v pôde nebola dostatočne doplnená v mimovegetačnom období.

Priestorové vymedzenie sucha a stanovenie pravdepodobnosti jeho výskytu je základným predpokladom pre formulovanie následných opatrení a aktivít súvisiacich s budovaním potrebných kapacít a so zmierňovaním jeho dôsledkov. Použitá metodika dovoľuje klasifikovať aj extrémne dlhotrvajúce sucho v celej dĺžke trvania jeho účinkov. Je použiteľná v reálnom čase na hodnotenie vývoja aktuálnej situácie. Zavedenie referenčného obdobia umožňuje vyjadrenie závažnosti sucha v historickom kontexte. Prepojenie klimateckej databázy s pôdnou databázou a GIS dáva možnosť vybudovať pomocou tejto metodiky informačný systém o suchu.

LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P., HANSEN, S. 2000. *Daisy: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model*. In Environmental Modelling & Software, vol. 15, pp. 313–330.
- BENETIN, J., ŠOLTÉSZ, A. 1988. *Hydrologické charakteristiky vodného režimu pôd a ich výpočet*. In: Agromelio, Nitra, ČSVTS, s.12–20.
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, K., HLAVINKA, P., ŽALUD, Z. 2009. *Variability of Droughts In Czech Republic, 1881 – 2006*. Theor Appl Climatol (2009) 97: 297–315.
- DIEKKRÜGER, B., Söndgerath, D., Kersebaum, K. C., McVoy, C. W. 1995. *Validity of Agroecosystem Models: a Comparison of Results of Different Models Applied to the Same Data Set*. In Ecol. Model., 81, 3–29.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. 2012. *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012*. An Indicator Based Report. EEA Report No. 12/2012. EEA, Copenhagen, 2012. 300 pp. ISBN 978–92-9213–346-7.
- HANSEN, S., JENSEN, H. E., NIELSEN, N. E., SVENDSEN, H. 1990. *DAISY – a soil plant system model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system*. Copenhagen: National Agency for Environmental Protection, 272 p. ISBN 87–503-8790–1.
- HANSEN, S. 2000. *Daisy, a flexible soil – plant – atmosphere system model. Equation section 1*. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University. 47 p.
- KRÖBEL, R., SUN, Q., INGWERSEN, J., CHEN, X., ZHANG, F., MÜLLER, T., RÖMHELD, V. 2010. *Modelling water dynamics with DNDC and DAISY in a soil of the North China Plain: A comparative study*. In Environmental Modelling & Software, vol. 25, pp. 583–601.
- LAPIN, M., FAŠKO, P., KVETÁK, Š. 1988. *Metodický predpis 3 – 09-1/1. Klimatické normály*. Bratislava: SHMÚ. 25 p.
- PALOSUO, T., KERSEBAUM, K. C., ANGULO, C., HLAVINKA, P., MORIONDO, M., OLESEN, J. E., PATIL, R. H., RUGET, F., RUMBAUR, CH., TAKÁČ, J., TRNKA, M., BINDI, M., CALDAG, B., EWERT, F., FERRISE, R., MIRSCHEL, W., SAYLAN, L., ŠÍŠKA, B., RÖTTER, R. 2011. *Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models*. In European journal of agronomy, vol. 35, no. 3, pp. 103–114.
- RÖTTER, R., PALOSUO, T., KERSEBAUM, K. C., ANGULO, C., BINDI, M., EWERT, F., FERRISE, R., HLAVINKA, P., MORIONDO, M., NENDEL, C., OLESEN, J. E., PATIL, R. H., RUGET, F., TAKÁČ, J., TRNKA, M. 2012. *Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models*. In Field Crops Research, vol. 13, pp. 23–36. ISSN 0378–4290.
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J. 2002. *Digital Database of Selected Soil Profiles of Complex Soil Survey of Slovakia (KPP-DB)*. In Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, 25, Bratislava: VÚPOP, pp. 129–140, ISBN 80–89128-07–6.
- SOBÍŠEK, B. a iní 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. ACADEMIA, MŽP ČR: Praha. 594 s. ISBN 80–85368-45–5.
- TAKÁČ, J. 2012. *Hodnotenie závažnosti sucha založené na modelovaní vlhkosti pôdy*. In Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, 34, Bratislava: VÚPOP, pp. 153–168. ISBN 978–80-89128–98-3.
- TAKÁČ, J. 2013. *Assessment of Drought in Agricultural Regions of Slovakia Using Soil Water Dynamics Simulation*. Agriculture (Poľnohospodárstvo), 59, 2013 (2): 74–87.
- TAKÁČ, J., ŠÍŠKA, B. 2011. *Kalibrácia a validácia modelu DAISY pre podmienky Slovenska*. In Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, 33, Bratislava: VÚPOP, pp. 161–172. ISBN 978–80-89128–91-4.
- TRNKA, M., KERSEBAUM, K. C., EITZINGER, J., HAYES, M., HLAVINKA, P., SVOBODA, M., DUBROVSKÝ, M., SEMERÁDOVÁ, D., WARDLOW, B., POKORNÝ, E., MOŽNÝ, M., WILHITE, D., ŽALUD, Z. 2013. *Consequences of Climate Change for the Soil Climate in Central Europe and the Central Plains of the United States*. Climate Change, Volume 120, Issue 1–2, pp 405–418.

ANALÝZA STAVU A DÔSLEDKOV APLIKÁCIE MINERÁLNYCH HNOJÍV V ČÍNSKEJ PROVINCII SHAANXI

THE ANALYZE OF STATE AND CONSEQUENCES OF MINERAL FERTILIZERS APPLICATION IN CHINESE PROVINCE SHAANXI

**Yanan TONG¹, Lianyou LIANG¹, Puhui JI¹, Tingyu HOU¹, Stanislav TORMA²,
Jozef VILČEK², Štefan KOCO², Gabriela BARANČÍKOVÁ²**

¹ Northwest Agricultural and Forest University, 3 Taicheng Street, Yangling City, Shaanxi Province, P. R. of China,

² Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne pracovisko Prešov, Slovensko, e-mail: s.torma@vupop.sk

Abstrakt

Neustále stúpajúca spotreba minerálnych hnojív má v posledných rokoch za následok nielen zvyšovanie úrod pestovaných plodín, ale vyvoláva aj environmentálne problémy, a to nielen v Číne. V príspevku je analyzovaná spotreba minerálnych hnojív a úrod dvoch pre Čínu najvýznamnejších plodín – pšenice letnej, formy ozimnej (*Triticum aestivum* L.) a kukurice siatej (*Zea mays* L.). Údaje boli získané od jednotlivých poľnohospodárov v provincii Shaanxi na Sprásovej tabuli za obdobie rokov 1970 až 2010. Výsledky ukazujú, že v jednotlivých regiónoch provincie sa za hodnotené obdobie spotreba hnojív, ale aj úrody plodín neustále zvyšovali. Bilancia dusíka a fosforu sa postupne menila zo zápornej na kladnú, zatiaľ čo bilancia draslíka je stále vysoko negatívna. Z hľadiska zabezpečenia produkcie potravín, ale aj ochrany životného prostredia, by mali byť v budúcnosti opľnohospodári motivovaní a podporovaní v snahe o primerané zníženie spotreby dusíkatých hnojív a výrazné zvýšenie hnojenia draslíkom a tiež organickými hnojivami.

Kľúčové slová: Sprásová tabuľa, minerálne hnojivá, pšenica, kukurica, úrody, bilancia živín

Abstract

Increased fertilizer input in agricultural systems during the last decades has resulted in large yield increases, but also environmental problems, not least in China. Both the mineral fertilizer consumption and the yield of two of the most important crops for China – winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) are analyzed in the paper. Data were get used from the individual farmers in the Loess Plateau in China from 1970s to 2000s. The results showed that in the different regions of the province, chemical fertilizer NPK inputs and yields of wheat and maize were all increased. The both nitrogen and phosphorus balance gradually changed from deficit to surplus, while K deficiency was more and more serious. In order to food safety and environmental protection, from the perspective of fertilization, farmers should

be encouraged to reasonable reduce nitrogen and phosphate fertilizer inputs significantly and increase potassium fertilizer and organic manure on cereal crops from now on.

Keywords: Loess Plateau, mineral fertilizers, wheat, maize, yield, nutrient balance

ÚVOD

V Číne je v rámci celého sveta len 9% ornej pôdy, ale táto živí takmer 22% svetovej populácie (GAO a iní, 2006, CUI a iní, 2010). Takýto stav je možné zabezpečiť len neustále stúpajúcou produkciou pestovaných plodín, ktorá je v prvom rade závislá na aplikácii minerálnych hnojív. Ešte pred 50 rokmi poľnohospodári v Číne preferovali pre zachovanie pôdnej úrodnosti a kontrolu nad škodcami a chorobami „tradičnú“ poľnohospodársku prax, ako je dodržiavanie osevných postupov, pestovanie viacerých druhov plodín, aplikáciu organických hnojív, zaraďovanie strukovín do osevných postupov atď. Od roku 1980 aplikácia organických hnojív na poľnohospodárske pôdy prakticky vymizla (ZHU, CHEN 2002, GAO a iní 2006, JIANG a iní 2006). Zachovala sa len pri pestovaní zeleniny a ovocia, kým orné pôdy sú hnojené výlučne minerálnymi hnojivami. Od roku 1970 do roku 2010 vzrástla v Číne celková ročná produkcia zrnín (v prevažnej miere len pšenice a kukurice) z 239,9 na 546,5 miliónov ton (čo predstavuje nárast o 127,7%), avšak aplikácia minerálnych hnojív v tom istom čase vzrástla z 3,5 na 55,6 miliónov ton (čo je nárast o 1484,6%). Čína je najväčším producentom, ale i spotrebiteľom minerálnych hnojív na svete (China rural statistical yearbook 1971 – 2011).

Odborná verejnosť i samotná poľnohospodárska prax si uvedomuje že zlepšenie pôdnej úrodnosti je síce dôležité pre dosiahnutie vyšších výnosov pestovaných plodín, musí sa však realizovať aj racionalizáciou hnojenia ohľadom na ochranu pedosféry i hydrosféry (CUI a iní, 2010). Takéto postupy si vyžadujú kvalifikovanú kvantifikáciu a bilanciáciu živín v pestovateľských systémoch, čo je nesmierne užitočné pre zisťovanie trendov v úrodnosti pôd, ale tiež pre hodnotenie dopadov na životné prostredie (LU a iní, 2000, HUANG a iní, 2007).

Cieľom práce je prezentovať bilanciáciu živín v poľnohospodárstve na príklade čínskeho hospodárenia na pôde so zvýšenou aplikáciou minerálnych hnojív, najmä dusíkatých.

MATERIÁL A METÓDY

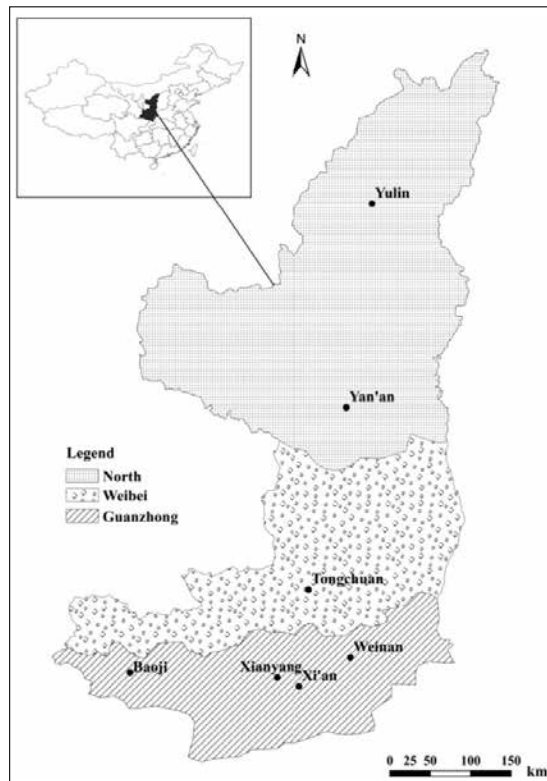
Provincia Shaanxi (Obr. 1) sa rozprestiera na strednom toku Žltej rieky vo východnej časti severozápadnej Číny. Leží medzi 31°42' a 39°35' severnej zemepisnej šírky a medzi 105°29' a 111°15' východnej zemepisnej dĺžky. Rozloha provincie je 205 800 km², pričom severojužným smerom má asi 800 km a východozápadným od 160 do 490 km. Priemerná ročná teplota vzduchu je 12 – 14 °C, priemerný ročný úhrn zrážok dosahuje 550 – 750 mm. Počet dní bez mrazu je 190 – 210 (WANG, 2003). Celá provincia sa delí na štyri agroekologické oblasti: Sprašová tabuľa na severe provincie, Suchá oblasť Weibei, zavlažovaná oblasť Guanzhong a horská oblasť Qin Ba na juhu provincie. V príspevku sme sa zaoberali Sprašovou tabuľou, ktorá sa člení na regióny

ny North, Weibei a Guanzhong. Sprašová tabuľa je charakterizovaná typickými semiaridnými a aridnými oblasťami so zavlažovaným poľnohospodárstvom (LIU 1999, GUO a iní, 2012). V regiónoch Weibei a Guanzhong sa pestuje predovšetkým pšenica letná, forma ozimná, zatiaľ čo v regióne Guanzhong prevláda pestovanie kukurice.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Čína je známa svojím poľnohospodárstvom už viac ako 5000 rokov. Pred érou minerálnych hnojív sa poľnohospodári v záujme udržania pôdnej úrodnosti spoliehali výhradne na hnojivá organické. Zmena nastala v polovici 60. rokov minulého storočia, kedy sa vo veľkom začali používať syntetické látky (GAO a iní, 2006). Pretože prírastky úrod po aplikácii minerálnych hnojív boli výrazne vyššie, ako pri používaní organických hnojív, podiel živín aplikovaných do pôdy z organických hnojív neustále klesal (LIU a iní, 2009). Po roku 1980, keď podiel živín z minerálnych hnojív prevýšil podiel živín z hnojív organických (YANG, 2006), minerálne hnojivá sa stali hlavným zdrojom živín pri pestovaní zrnín. CIU a iní (2006) uvádzajú, že relatívne nízke náklady na obstaranie minerálnych hnojív a nepochopenie faktu, že tieto nemôžu zvyšovať úrody plodín do nekonečna, spôsobilo nežiaduce prehnojovanie pôdy, najmä dusíkom.

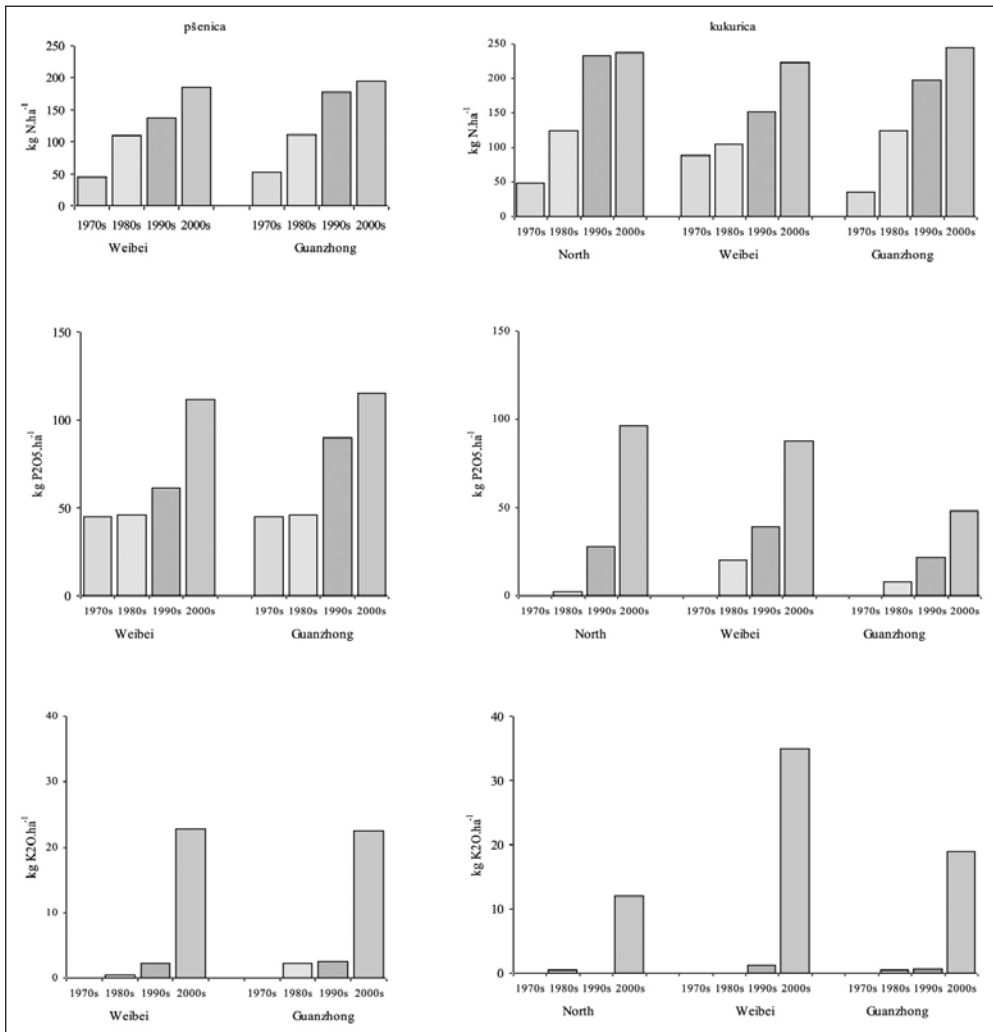
Obr. 1 Regióny Sprašovej tabule v provincii Shaanxi (Čína)



Priemerné dávky minerálnych živín aplikovaných pod pšenicu a kukuricu sa zvyšovali počas jednotlivých dekád v sledovaných regiónoch tak, ako ich uvádza obrázok 2. V regióne Weibei a Guanzhong sa dávky dusíka za ostatných 40 rokov zvýšili zo 45, resp. 52 kg N.ha⁻¹ na 185, resp. 195 kg N.ha⁻¹. Podobne je to aj v prípade fosforu. Dávky tejto živiny sa zvýšili zo 45, resp. 46 kg na 112, resp. 115 kg P₂O₅.ha⁻¹. Od roku 1980 poľnohospodári v spomenutých dvoch regiónoch začali používať aj draselné hnojivá, ktorých dávky od roku 1980 do roku 2000 stúpili z 0,5, resp. 2,3 na 22,8, resp. 22,5 kg K₂O.ha⁻¹.

V prípade hnojenia kukurice je nárast dusíka podobný. V regiónoch North, Weibei a Guanzhong stúpili dávky dusíka v priebehu rokov 1970 až 2000 z 48 kg, 89 kg a 36 kg na 237 kg, 223 kg, resp. 244 kg N.ha⁻¹ (DEPARTMENT OF RURAL SURVEYS, 1971-2011).

Obr. 2 Vývoj spotreby minerálnych hnojív v jednotlivých regiónoch provincie Shaanxi za ostatných 40 rokov

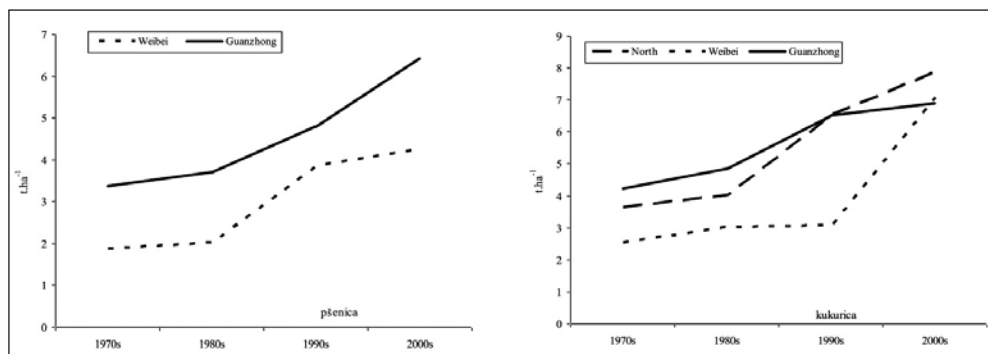


Ako uvádza ZHANG a iní (2008), účinnosť hnojenia obilnín a kukurice v Číne v porovnaní s 80. rokmi výrazne poklesla, čo znamená, že väčšina aplikovaných živín je prakticky nevyužitá. Nadmerné hnojenie dusíkom neznamená len oveľa nižšiu účinnosť hnojenia, ale má to tiež za následok vážne problémy životného prostredia, ako je ohrozenie povrchových a podzemných vôd, emisie skleníkových plynov a kyslé dažde (Ju a iní, 2009). Okrem toho, mimoriadne vysoké dávky dusíka spôsobili značnú acidifikáciu pôdy v hlavných čínskych pestovateľských regiónoch (Guo a iní, 2010).

Zníženie súčasných vysokých dávok dusíkatých hnojív až o 30–60% môže zvýšiť účinnosť dusíkatých hnojív pri zachovaní výšky úrod plodín, ale pri výrazne nižšom zaťažení životného prostredia (PENG a iní, 2006, Yi a iní, 2010).

S podstatne vyššími dávkami minerálnych hnojív však boli za posledných 40 rokov dosiahnuté aj výrazne vyššie úrody pšenice a kukurice (Obr. 3). Úroda pšenice v regiónoch North a Weibei vzrástla o 126,7, resp. 90,6% (z 1,88 na 3,37 t.ha⁻¹ v regióne North a zo 4,27 na 6,44 t.ha⁻¹ v regióne Weibei). Podobne je to v prípade kukurice – jej nárast za ostatných 40 rokov je 116,3% v regióne North, 180,9% v regióne Weibei a 62,7% v regióne Guanzhong.

Obr. 3 Úroda pšenice a kukurice v jednotlivých regiónoch provincie Shaanxi od roku 1970



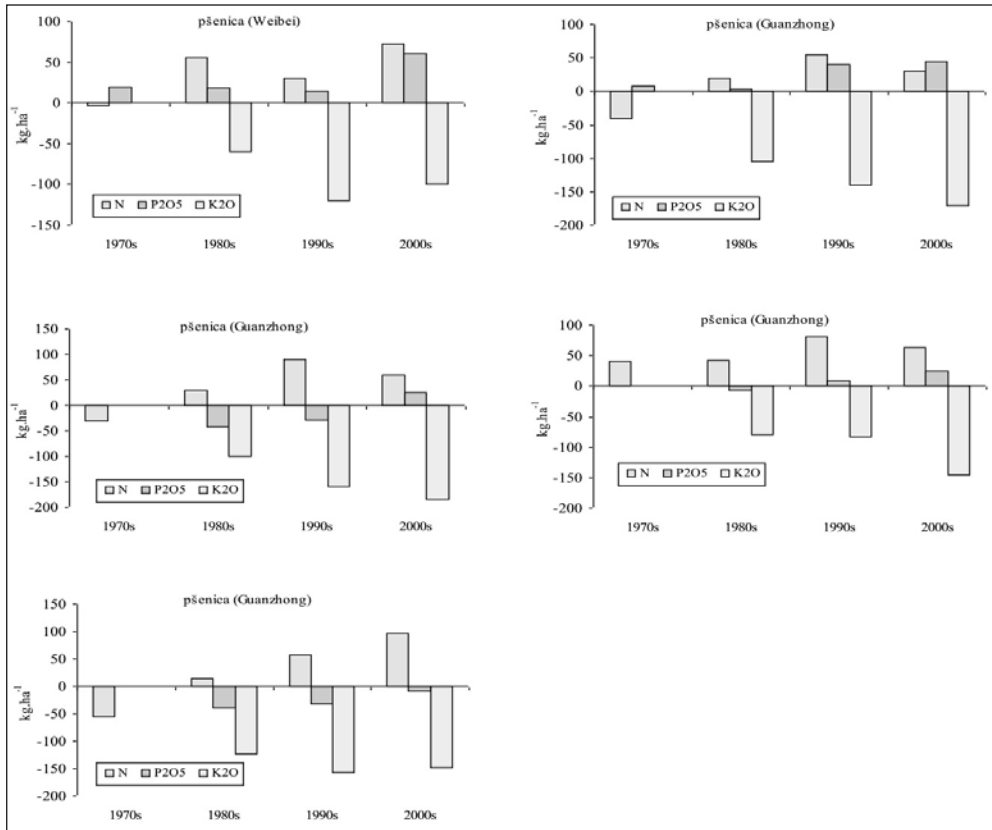
Keďže poľnohospodári prakticky nepoužívajú organické hnojivá (najmä od roku 1980), vypočítaná bilancia živín v pôde zahŕňa iba vstupy živín z minerálnych hnojív a ich výstupy s dosiahnutou úrodou plodín. Výsledky bilancie sú prezentované na obrázku 4.

V 70. rokoch minulého storočia bola dosiahnutá negatívna bilancia dusíka pri pestovaní pšenice a kukurice vo všetkých sledovaných regiónoch s výnimkou kukurice v regióne Weibei. Avšak od 80. rokov až do dneška je bilancia dusíka vysoko pozitívna, pričom napr. v regióne Guanzhong dosahuje pri pestovaní kukurice takmer 100 kg.ha⁻¹.

Plusová bilancia fosforu v pôde pri pestovaní pšenice vzrástala od roku 1970 v oboch sledovaných regiónoch (Weibei a Guanzhong) a v súčasnosti dosahuje hodnoty 65, resp. 44 kg.ha⁻¹. Pri pestovaní kukurice bola bilancia fosforu ešte v 80. rokoch záporná (-34; -7; -34 kg.ha⁻¹), ale v dôsledku zvýšených dávok minerálnych hnojív dosiahla hodnoty +29; +28 a -11 kg.ha⁻¹.

Hoci sa v poslednom čase používajú aj draselné hnojivá (väčšinou však ako len súčasť kombinovaných hnojív), je ich stále málo. To sa odzrkadľuje aj na bilancií draslíka, keď jeho záporná hodnota dosahuje v niektorých prípadoch aj takmer 200 kg.ha⁻¹.

Obr. 4 Bilancia živín pri pestovaní pšenice a kukurice v jednotlivých regiónoch provincie Shaanxi od 70. rokov minulého storočia



ZÁVER

Sprašová tabuľa v provincii Shaanxi v strednej Číne patrí medzi najdôležitejšie regióny z hľadiska pestovania pšenice a kukurice. V jej jednotlivých častiach North, Weibei a Guanzhong bol sledovaný vývoj spotreby minerálnych hnojív, úrody dvoch najvýznamnejších plodín, ako aj bilancia živín na úrovni individuálnych poľnohospodárov. V 70. rokoch minulého storočia bola spotreba minerálnych hnojív na minimálnej úrovni, úrody pšenice dosahovali 2–3 tony a úrody kukurice 2,5–4,5 tony na jeden hektár pôdy. V nasledujúcich rokoch však spotreba hnojív (najmä dusíka) vzrástla v niektorých oblastiach až 8násobne a úrody pšenice sa zvýšili na 4,5–6,5 tony a kukurice na 7–8 ton z hektára. Adekvátne k tomu však nastal aj environmentálny problém s prebytkom dusíka v pôde. Bilancia dusíka dosahuje v regióne Guanzhong prebytok takmer 100 kg N.ha⁻¹. Na druhej strane, takmer vôbec sa nehnojí draselnými hnojivami a jeho negatívna bilancia sa blíži k hodnote 200 kg.ha⁻¹. Z hľadiska zabezpečenia výroby potravín, ale aj ochrany životného prostredia by mali byť v budúcnosti poľnohospodári podporovaní v primeranom znížení spotreby dusíkatých hnojív a výraznom zvýšení hnojenia draslíkom a najmä organickými hnojivami.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV SK-CN-0022 – 12.

LITERATÚRA

- CUI, Z. L., CHEN, X. P., ZHANG, F. S. 2010. *Current nitrogen management status and measures to improve the intensive wheat–maize system in China*. *AMBIO*, 39, 376 – 384.
- DEPARTMENT OF RURAL SURVEYS, National Bureau of Statistics. 1971 – 2011. *China Rural Statistical Yearbook*. China Statistics Press. Beijing, China. (in Chinese)
- GAO, C., SUN, B., ZHANG, T. L. 2006. *Sustainable nutrient management in Chinese agriculture: challenges and perspective*. *Pedosphere*, 16 (2), 253–263.
- GUO, J. H., LIU, X. J., ZHANG, Y., SHEN, J. L., HAN, W. X., ZHANG, W. F., CHRISTIE, P., GOULDING, K. W. T., VITOUSEK, P. M., ZHANG, F. S. 2010. *Significant acidification in major Chinese croplands*. *Science* 327:1008–1010
- GUO, S. L., ZHU, H. H., DANG, T. H., WU, J. S., LIU, W. Z., HAO, M. D., LI, Y., SYERS, J. K. 2012. *Winter wheat grain yield associated with precipitation distribution under long-term nitrogen fertilization in the semiarid Loess Plateau in China*. *Geoderma*, (180 – 190):442 – 450.
- HUANG, S. W., JIN, J. Y., BAI, Y. L., YANG, L. P. 2007. *Evaluation of nutrient balance in soil-vegetable system using nutrient permissible surplus or deficit rate*. *Commun Soil Sci Plant Anal* 38:959–974
- JIANG, D., HENGSDIJK, H., DAI, T. B., BOER, W. D., JING, Q., CAO, W. X. 2006. *Long-Term Effects of Manure and Inorganic Fertilizers on Yield and Soil Fertility for a Winter Wheat-Maize System in Jiangsu, China*. *Pedosphere*, 16(1): 25 – 32.
- LIU, G. B. 1999. *Soil conservation and sustainable agriculture on the Loess Plateau: challenges and prospects*. *Ambio*, 28: 663–668.
- LU, R. K., SHI, Z. Y., SHI, J. P. 2000. *Nutrient balance of agroecosystem in six provinces in southern China (in Chinese)*. *Sci Agric Sin* 33(2):63–67
- MEI, X. R. 2011. *China agricultural environment*. Science Press. Beijing, China. (in Chinese), 356 pp.
- PENG, S. B., BURESH, R. J., HUANG, J. L., YANG, J. C., ZOU, Y. B., ZHONG, X. H., WANG, G. H., ZHANG, F. S. 2006. *Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China*. *Field Crops Research*, 96: 37 – 47.
- WANG, J. (2003) *Study on water resources rational distribution of Guanzhong irrigation area (in Chinese)*. Dissertation, Xi'an University of Technology, 165 pp.
- YANG, H. S. 2006. *Resource management, soil fertility and sustainable crop production: Experiences of China*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116: 27 – 33.
- YI, Q., ZHANG, X. Z., HE, P., YANG, L., XIONG, G. Y. 2010. *Effects of reducing N application on crop N uptake, utilization, and soil N balance in rice-wheat rotation system*. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16, 1069 – 1077. (in Chinese with English abstract)
- YU, W. T., JIANG, Z. S., ZHOU, H., MA, Q. (2009) *Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 84: 203–213
- ZHANG, F. S., WANG, J. Q., ZHANG, W. F., CUI, Z. L., MA, W. Q., CHEN, X. P., JIANG, R. F. 2008. *Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement (in Chinese)*. *Acta Pedol Sin* 45:915–924
- ZHU, Z. L., CHEN, D. L. 2002. *Nitrogen fertilizer use in China-Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 63: 117 – 127.
-

VYHODNOTENIE ÚČINNOSTI A VHODNOSTI PÔDOOCHRANNÝCH OPATRENÍ PROGRAMU ROZVOJA VIDIEKA V SR

ASSESSMENT OF SOIL PROTECTION MEASURES EFFICIENCY AND FEASIBILITY OF THE RURAL DEVELOPMENT PROGRAMME IN SLOVAKIA

Adriana ZVERKOVÁ, Michal SVIČEK

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, Slovenská republika,
e-mail: a.zverkova@vupop.sk*

Abstract

Rural development Programme (RDP) represents the second pillar of Common Agricultural Policy – CAP of the European Union. The SAPS – Single Area Payment Scheme, direct payments represents the first pillar of CAP in EU countries.

Both pillars are based on Land Parcel Identification System – LPIS, which was created and is regularly updated in Slovakia on Soil Science and Conservation Research Institute Bratislava. This system is compulsory for each EU member's state and its purpose is to enable assign to each LPIS reference parcel exact agriculture area, exact geographical location, unique code and several attributes concerning Cross Compliance (CC/XC) and the Rural Development Programme. The LPIS was created and is regularly updated on the background of actual digital orthophotomaps which have to meet EC technical requirements. LPIS in Slovakia is based on reference parcel – physical blocks which represent agriculture land with stable boundaries.

One of the most significant problems of agricultural land degradation in Slovakia is accelerated water erosion. The system of agri-environmental subsidies to farmers of the Rural Development Programme (RDP) aspires to contribute to reducing the negative impacts of agricultural production on land and other basic environmental components, as well as strengthening greening of agriculture in Slovakia. A Group of soil protection measures, whose main purpose is reducing the extent of accelerated water erosion, is aimed at protecting agricultural land use in the frame of RDP. This contribution evaluates the application of soil protection measures on agricultural land in Slovakia during the second programming period of the Rural Development Programme 2007 – 2013 by the Slovak regions. The analysis of ten agri-environment measures as well as their geographic location and cartographic interpretation were performed using geographic information system tools. Its results form the basis for an important input for the development and evaluation of the effectiveness of state environmental measures with regard to the formulation of proposals and recommendations for action to the next programming period 2014 – 2020.

Keywords: soil protection measures, agri-environmental measures, anti-erosion control measures, LPIS, GIS, agricultural soil, Rural Development Programme

INTRODUCTION

The Rural Development Programme 2007 – 2013 (RDP) significantly influences the current trend in the development and formation of the rural, predominantly agricultural utilized area. The RDP helps to reduce the negative impacts of agricultural production on the environment and enhance the greening of agriculture in the Slovak Republic. This year (2013) is finishing his second programming period. In the framework of the RDP does exist Group of soil protection measures, which goals are focused on agricultural land degradation prevention by accelerated water erosion. These measures were involved in the frame of the Agri-environment payments: measures focused on sustainable use of agricultural land (part of Axis 2: Improving the environment and countryside).

The RDP is follow-up to earlier programming period of the Rural Development Plan 2004-2006, which included also agri-environment measures. The first plan was created after accession to the EU in 2004, when the possibility to obtain direct funding from the EU Structural Funds was opened. Rural Development Plan represents a programming tool of the Common Agricultural Policy on the basis of Council Regulation (EC) no. 1257/1999 – support for rural development from the EAGGF (European Agricultural Guidance and Guarantee Fund), which (together with contributions from the state budget supported the environment respectful practices and acceptable actions) may to protect, preserve and improve the quality of soil, water and rural country.

The study of ZVERKOVÁ *et al.* (2012) deals with the State and development effectiveness of agri-environmental measures of the Rural Development 2007-2013, as well as realisation of concrete measures through Less Favourable Areas (LFA), vulnerable areas in terms of Nitrate directive, Natura 2000 sites and of high nature value (HNV). Environmental effects resulting from the implementation of selected measures were evaluated in scientific paper of Bujnovský (2010). Protection against erosion on arable soil through three agro-environmental measures (stabilizing crop rotation, acceptable size of the parcel and the greening of arable land) analyzed in his paper STYK and PÁLKA (2012). On the specific issue of slope values, which constitutes one of the main criteria for the approval of subsidy payments for the conservation of agri-environment sub-measures is focused contribution of MATEČNÁ, JENČO and MATEČNÝ (2010).

The aim of this paper is to evaluate the implementation of agri-environmental measures (soil protection) on Slovakian agricultural land during the second programming period 2007 – 2013 of the Rural Development Programme.

The analysis was made for the period 2008 – 2012 for different regions of Slovakia, at the regional level. Evaluations of soil protection measures, as well as the identification of its geographic location and final cartographic interpretation were performed using the tools of Geographic Information System (GIS).

Analysis of the period 2008–2012 is considered sufficiently for the purpose of evaluating the status and development effectiveness of agri-environmental measures with regard to the formulation of proposals and recommendations for measures in the frame of the next programming period 2014–2020.

DATA AND METHODS

Creating of digital GIS layers and derived graphic cartographic outputs relevant to the soil conservation measures included: data collection, analysis and generation of new spatial data. Preparation of table's data and selection of attributes was carried out in an MS Access database programme. All data analysis, creation of GIS layers, subsequent export of graphical cartographic outputs was realized in software. Arc GIS 9. Input database for GIS data analysis consisted of farmers and agricultural subjects that may implement specific soil protection measures. This information is stored in the Integrated Administration and Control System IACS database which is maintained on APA (Agricultural Payment Agency). SSRI obtained these data in the of spreadsheet exports form.

This export was supplemented by an explanation of the data structure for the years 2008–2012. Next inputs data were represent by digital LPIS unit of physical blocks vector layer and information about the agricultural land use registered in the LPIS for the years 2008–2012. This information is stored in the Soil Science and Conservation Research Institute. The basic unit used in spatial data analysis was the unit of LPIS blocks, the smallest size KD is 0.3 ha, that is the minimum surface area required for RDP agri-environmental financial support.

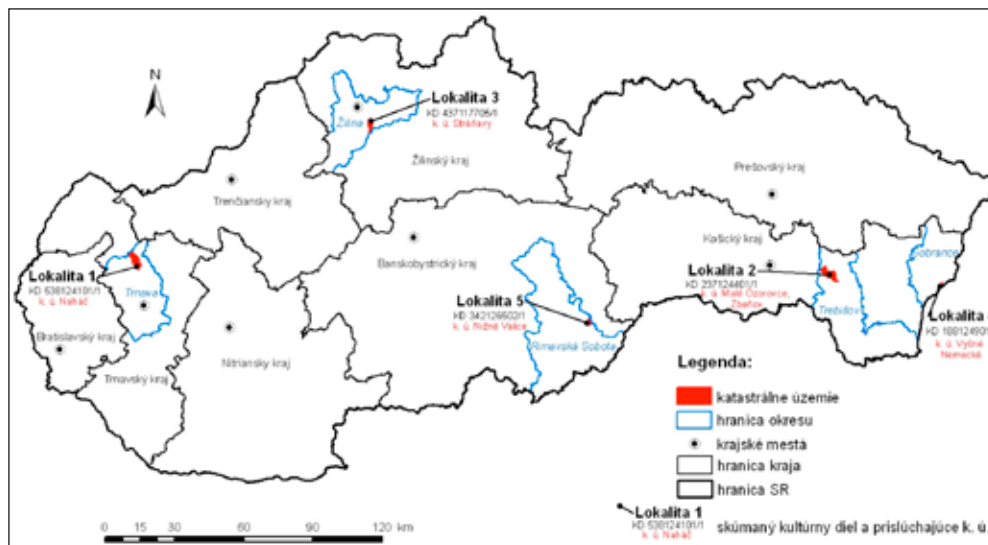
The identifying of the sub-measures surface extent was based on values of area "SAPS set" (approved area for the Single Area Payment Scheme – under APA, 2011) mentioned in applicants declarations Tables for years 2008–2012 stored in IACS. The declared area in HA obtained from previous Rural Development Plan 2004–2006 (of the Ministry of Agriculture 2007) applications was added to this data.

Also implemented several obligations transferred from the previous planning period 2004-2006 were analyzed within our soil protection measures RDP. Implementation of these measures have significant environmental effects and importance in the protection of agricultural land, but it was not possible to include them in our spatial analysis, because their evidence on the APA has not yet been carried out on individual LPIS unit of blocks and therefore does not exist exact geographical location inside LPIS unit of blocks. Available is only information, that given agro-environmental measures are realised on LPIS units of blocks, together with declared area of agri-environmental measures inside LIS unit of block, but no information is available about exact geographical location inside LPIS unit of block.

Because the soil loss values were not available (were not measured in field - baseline), the informative soil loss values for the year 2007 and 2012 were modelled. The validity of the implementation of soil protection anti-erosion control measures for the five specific reference parcels in different parts of Slovakia was analyzed too. We obtained our modeling results using

erosion prediction model, the structure of which was incorporated universal soil loss equation – USLE (WISCHMEIER, SMITH, 1978). We compared the potential water erosion (without taking into account the protective effect of crop production and soil protection measures) with the current water erosion of the reference parcel (for specific agriculture crops and the land management) “before” and “after” the implementation of soil protection measures.

Picture 1: Model reference parcel areas distribution



Characteristics of soil protection measures (Rural Development Programme 2007 – 2013)

The objective of RDP agri-environment support payments is the implementation of agricultural production methods corresponding with the protection and improvement of the environment, land and natural resources that are beyond the relevant mandatory standards of CAP direct payments. Especially on soil conservation the Soil protection measures are targeted. Soil protection practice group consists of four measures: protection against erosion on arable land, protection against erosion in vineyards, protection against erosion in orchards, greening of arable land. The main objectives of soil protection measures are reducing of the extending water erosion, and thus prevent soil erosion and prevent water contamination. At the same time also contribute to preserving and enhancing biodiversity through the enlargement of green areas (grassing, stabilizing bio-belts) and participate in the mitigating climate change by reducing greenhouse gas emissions and increase removals by sinks of greenhouse gases.

The main criterion for assessing the area in terms of approval and the amount of agri-environmental support for the implementation of anti-erosion measures laid down (in accordance with the terms of arable land in vineyards and orchards) is a morphometric parameter – the slope, respectively average slope of reference parcel.

Erosion protection of arable land through the Stabilisation crop rotation and / or Acceptable size of the parcel, erosion protection in vineyards and orchards is supported on soils vulnerable to erosion in LPIS units of blocks with an average sloping over 3 °, while areas with higher erodibility in vulnerable areas (defined in accordance with Directive 91/676/EEC) and Less Favourable areas (LFA) be prioritized.

Within protection against erosion measure in vineyards is the amount of support for the implementation of anti-erosion measures scaled to the average limits sloping vineyard 3 °, 10 °, 18 ° and for erosion protection in orchards is the average sloping 3 ° and 10 °.

For protection against erosion on arable land through the realizing appropriate size of the parcel measures can farmer get a subsidy and / or parts of the soil block larger than 30 ha.

Greening of arable land is supported on the LPIS unit of blocks with an average of 7°; the preferred areas are vulnerable and LFA.

In addition, the applicant for support on the protection against erosion on arable land measure should also enter one other measure of agri-environmental payments: basic support, protection of habitats of selected species of birds or organic agriculture (MINISTRY OF AGRICULTURE, 2007).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil protection measures implementation in Slovakia during the years 2008 – 2012

- The largest land area supported under the protection against erosion on arable land measure was reached in 2010. For the whole country, this represents 85,581 ha (of which 22,293 ha was the current RDP and 63,288 ha were transfers from the previous programming period 2004–2006). Protection against erosion on arable land was implemented across the whole area of the Slovak Republic, but it has been recorded significant regional disparities (Table 1). In implementing this measure prevailed stabilization crop rotation, which was used for 99.7% from all measure. Protection against erosion on arable land realized by acceptable size of the parcel was used to a minor extent, only 0.3% from all measures (only 12 LPIS reference parcel). The implementation of agro-technical practices of this measure, which should be a large-scale hunt divided into smaller parts (sideways), which should be separated by at least 10m wide strips stabilizing sow various grasses, significantly reduces the intensity of the impact of water erosion on soil and thus significantly protects the land against its degradation. By the applicants was low interest in this measure, which will ultimately reduce the overall effectiveness of its positive effect on agricultural land in Slovakia. It can be assumed that this is the result of economic "inefficiencies" and a considerable undersized of compensation payments. The measure was also implemented on the reference parcels of Trnava region, which had an average slope
-

of less than 0.5 °. This was a flat area that is not threatened by flash water erosion. It was caused by improper defining the conditions for obtaining payments (it is said that it can get parts soil block above 3 ° and / or greater than 30 ha (MP SR, 2007)). Reference parcels thus fulfilled the criterion of size greater than 30 ha, but in terms of erosion control has been drawing support under such conditions totally ineffective.

- The largest land area supported under the measure protection against erosion in vineyards was reached in 2009. For the whole country on 707 ha (of which 61 ha was the current RDP and 646 ha were from the previous programming period 2004–2006). Implementation of this measure should be regional differences in the SR, while it was only implemented in Nitra and Košice region.
- The largest land area supported by the measures against erosion protection in orchards was reached in 2010. For the whole country it was 919 ha (353 ha was from the current RDP and 566 ha were from the previous programming period 2004–2006). Although the implementation of this measure should be regional differences in the SR, and was implemented mainly in the Trenčín region.
- The largest land area supported by the measures greening of arable land was reached in 2010. For the whole country it was 18,659 ha (1,672 ha was from the current RDP and 16,987 ha were from the previous programming period 2004–2006). Greening of arable land were implemented very unevenly within the region Slovakia. Prevailed in Žilina and Trenčín region, while the minimum occurred in Nitra and Banská Bystrica.

Table 1: Geographical distribution of soil protection measures RDP 2007–2012

Region	Share in the region of the Slovak Republic (%)				
	protection against erosion on arable land		Greening of arable land	Protection against erosion in vineyards	Protection against erosion in orchards
	protection of arable land through the Stabilisation crop rotation	protection against erosion on arable land through reasonable sized plots			
Banskobystrický	10.63	0.00*	1.84	0.00*	22.83
Bratislavský	0.60*	0.00*	14.22	0.00*	1.50
Košický	16.23	37.23**	6.77	35.03	6.20
Nitriansky	25.44**	0.00*	1.49*	64.97**	7.97
Prešovský	8.58	34.72	9.72	0.00*	0.00*
Trenčiansky	22.63	0.00*	25.84	0.00*	61.51**
Trnavský	14.92	28.05	10.03	0.00*	0.00*
Žilinský	0.96	0.00*	30.10**	0.00*	0.00*

* region with the lowest share of measure ** region with the highest share of measure
Source: My own research according to Declaration 2008-2012 (APA); LPIS 2008-2012 (VÚPOP).

Evaluation of the effectiveness of soil protection measures under the RDP in the frame of LPIS

Environmental effects of the soil-protection measures consist of reducing the water erosion, risk to stabilize or increase soil organic matter content of the soil, reducing the risk of nitrogen transport into water resources and improve biodiversity (BUJNOVSKÝ, 2010). Greening of arable land and protection against erosion on arable land through a reasonable sized plot measures are environmental measures with the highest environmental effects.

Partial view of the measures effectiveness implemented under the RDP SR can be obtained through the comparison of the agricultural land area proportion where the soil conservation measures were carried out with proportion of whole agricultural land area registered in the LPIS (area which meets the criteria for the implementation of anti-erosion measures, Table 2, 3).

We analyzed the area of measures from year, when the maximum area was reached. Among the arable land, vineyards and orchards managed in Slovakia meets the criteria for obtaining support for anti-erosion protection within the soil protection measures RDP 64% managed area of them. RDP conservation measures were made but only on 7.5% of their area. More than half of the arable land registered in the LPIS is LPIS units of blocks with average slopping over 3°, while protection measures have been implemented on only 6%.

Table 2 LPIS units of blocks meeting the criteria for the implementation of soil protection measures on arable land in vineyards and orchards

LPIS units of blocks	Area (ha)	Number	Share from whole area of certain land use in LPIS (%)
Arable land above 3° and to 30 ha	467,712	4,451	33.55
Arable land above 3° and above 30 ha	312,364	22,798	22.41
Arable land above 7° and to 30 ha	80,227	6,527	5.75
Arable land above 7° and above 30 ha	36,545	662	2.62
<hr/>			
Vineyards from 3° to 9°	8,316	893	47.19
Vineyards from 10° to 17°	513	92	2.91
<hr/>			
Orchards from 3° to 9°	3,816	424	41.69
Orchards above 10°	503	98	5.50
Source: My own research according to LPIS 2008 – 2012 (VÚPOP).			

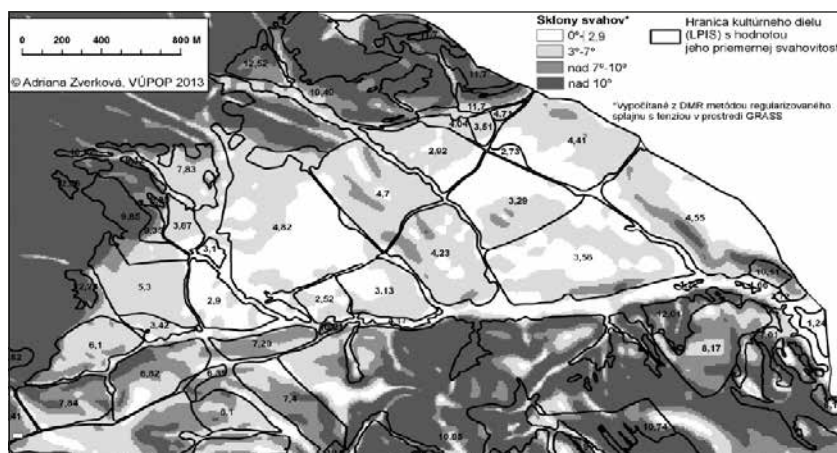
Table 3 Share of agricultural land where the soil protection measures were carried out from the agricultural land area of LPIS, which meets the criteria for their implementation

Soil protection measure (SPM)	Realization (ha)	LPIS (ha)*	Share of SPM from LPIS** (%)
Protection against erosion on arable land	85,581	780,076	10,97
Protection against erosion in vineyards	707	8,829	8,01
Protection against erosion in orchards	919	4,319	21,28
Greening of arable land	18,659	116,772	15,98

Soil protection measure (SPM)	Realization (ha)	LPIS (ha)*	Share of SPM from LPIS** (%)
Soil protection measures together	105,866	909,996	11,63

* the agricultural land area of LPIS, which meets the criteria for their implementation
 ** Share of agricultural land where the soil protection measures were carried out from the agricultural land area of LPIS, which meets the criteria for their implementation
 Source: My own research according to Declaration 2008-2012 (APA); LPIS 2008 – 2012 (VÚPOP).

Picture 2: Sloping variability in the frame of reference parcel



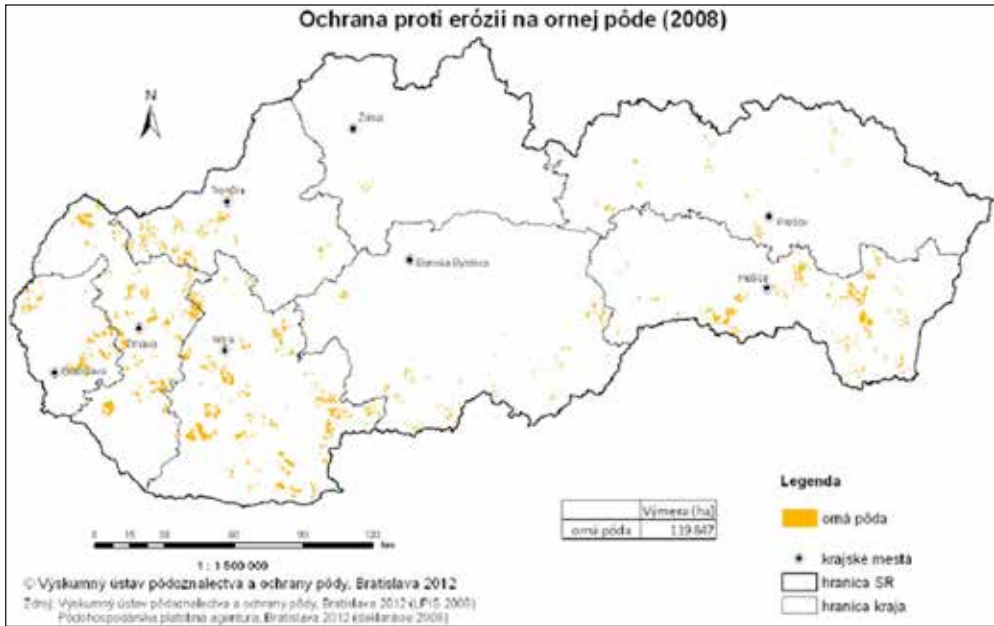
Almost half of the vineyard LPIS units of blocks registered in LPIS, has an average slope of 3 ° to 9 °, only less than 3 % have a slope of 10 ° to 17 ° and cultural parts of vineyards with an average sloping above 18 ° do not occur at all (Table 2). However, within these LPIS units of blocks also occurs a vineyards area with sloping over 18°. For these areas farmers cannot get more support as it is fixed, because support is tied to the value of the LPIS units of blocks average sloping.

This problem has been met, eg. 114 LPIS units of blocks with an area of 678 ha, which belong to the category with an average sloping from 3 ° to 9 ° and 50 KD LPIS units of blocks with an area of 158 ha, with an average sloping from 10 ° to 17 °. A similar problem occurs also by other limits of the average sloping vineyards (3 °, 10 °). Orchard LPIS units of blocks KD with an average sloping from 3 ° to 9 ° constitute just over 40% of registered orchards in LPIS and above 10 ° they are less than 6% (Table 2).

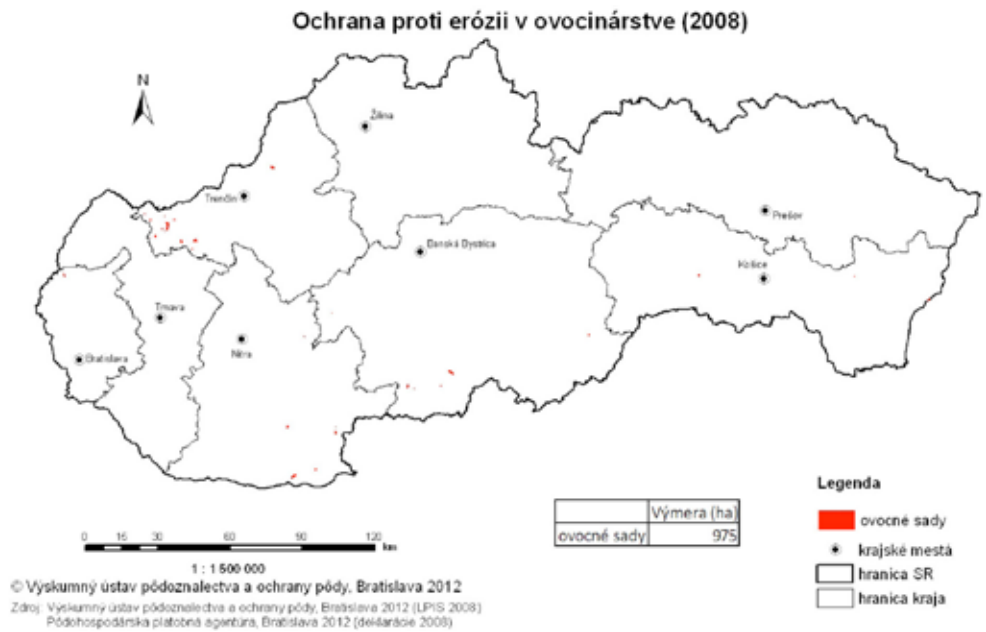
However, the LPIS units of blocks with an average sloping from 3 ° to 9 ° represents 252 LPIS units of blocks (1 975 ha), but within these units of blocks also exists orchards areas with an average sloping above 10°.

The geographical distribution of all four soil protection measures are presented on Picture 2, 3, 4, 5.

Picture 3 Geographical distribution of soil protection measure on arable land



Picture 4 Geographical distribution of soil protection measure in orchards



Picture 5 Geographical distribution of soil protection measure in vineyards



Picture 6 Geographical distribution of soil protection measure, greening of arable land



Picture 7 LPIS unit of block after realisation of soil protection on arable land – Acceptable size of the parcel situation left and before realisation soil protection measure, situation on right side



CONCLUSION

All analyzed soil-conservation measures proved appropriate conservation practices, significantly reducing the intensity of the impact of water erosion on the soil, and thus sufficiently protecting soil from erosion. Protection against erosion on arable land through an acceptable size of the parcel and greening of arable land are environmental measures with the highest environmental effects, but were carried out on a very small proportion of farmland SR and with large regional disproportion. This fact significantly reduces the effectiveness of these measures in Slovakia. The overall effectiveness of soil protection measures RDP was reduced due to the economic "inefficiencies" of certain compensatory payments.

The results of soil-conservation measures RDP evaluation by using GIS tools have limited capabilities for applying basic spatial data unit (LPIS reference parcels). The large area of many LPIS reference parcels was the cause of great slopping variability, which was main morphometric attribute for assessment of the suitability for payment to anti-erosion protection of the RDP. Another problem represented impossibility of space identification of implemented soil protection measure if it has not been implemented on the whole parcel, but only in the part.

LITERATURE

- BUJNOVSKÝ, R. 2010. *Hodnotenie efektov vyplývajúcich z realizácie vybraných agroenvironmentálnych opatrení*. In: BUJNOVSKÝ, R. (ed.) *Výskumné práce Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy č. 32*. Bratislava: VÚPOP, 2010, s. 24 – 32. ISBN 978 – 80-89128 – 82-2.
- MATEČNÝ, I., JENČO, M., MATEČNÁ, G. 2010. *Sklon reliéfu ako súčasť kritérií pre plnenie environmentálne šetrných postupov v poľnohospodárstve Slovenskej republiky*. In: *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, Vol. 54. Bratislava, 2010, s. 33 – 52.
- MINISTERSTVO PŔODOHOSPODÁRSTVA SR. 2007. *Program rozvoja vidieka SR 2007 – 2013*. Bratislava: MP SR, 2007. 234 s.

- Nariadenie Rady (ES) č. 1257/1999 zo 17. mája 1999 o podpore rozvoja vidieka z Európskeho poľnohospodárskeho usmerňovacieho a záručného fondu (EPUZF).
- PŮDOHOSPODÁRSKA PLATOBNÁ AGENTÚRA. 2011. *Príručka pre žiadateľa o priame podpory na poľnohospodárskej pôde*. Bratislava: APA, 2011, 31 s.
- STYK, J., PÁLKA, B. *Pôdochranné agroenvironmentálne opatrenia vo vzťahu k erózii pôdy*. Naše pole, roč. 16, 2012, č. 12, s. 26–27. ISSN 1335–2466.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978: *Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning*. Agricultural Handbook 537, USDA, 1978, 58 p.
- ZVERKOVÁ, A. a iní. 2012. *Vytvorenie GIS vrstvy pre vykazovanie indikátorov Agroenvironmetálneho opatrenia v rámci Programu rozvoja vidieka SR 2007 – 2013*. Záverečná správa úlohy Vytvorenie GIS vrstvy pre vykazovanie indikátorov Agroenvironmetálneho opatrenia v rámci Programu rozvoja vidieka SR 2007–2013 riešenej na základe zmluvy o dielo č. 251/2012-600/MPRVSR. Bratislava: VÚPOP, 2012, 85 s.
-

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 35

© Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava

Zodpovedný redaktor: RNDr. Beata Houšková, CSc.

Recenzenti: prof. Ing. Jaroslav Antal, DrSc.

doc. Ing. Zoltán Bedrna, DrSc.

prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc.

Ing. Róbert Fencík, PhD.

doc. Ing. Erika Gömöryová, CSc.

RNDr. Beata Houšková, CSc.

prof. Ing. Juraj Hraško, DrSc.

prof. RNDr. Tatiana Hrnčiarová, CSc.

prof. Ing. Libor Janský, CSc.

prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.

Ing. Viliam Novák, DrSc.

RNDr. Vladimír Píš, PhD.

doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Grafická úprava: Ing. Karol Végh

Vydal: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy
Gagarinova 10, Bratislava

Tlač: Edičné stredisko
Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava
Gagarinova 10

Počet strán: 211

Náklad: 100 ks

ISBN 978-80-8163-003-3

Texty neprešli jazykovou úpravou.



ISBN 978-80-8163-003-3



9 788081 630033 >