Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy

Societas pedologica slovaca

DIAGNOSTIKA, KLASIFIKÁCIA A MAPOVANIE PÔD

Jaroslava Sobocká
(editor)

Bratislava 2011

Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy

Societas pedologica slovaca

DIAGNOSTIKA, KLASIFIKÁCIA A MAPOVANIE PÔD

Jaroslava Sobocká

(editor)

Monografia

Bratislava 2011

SOBOCKÁ, J. (ed.). 2011. Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd. Monografia. VÚPOP Bratislava, 335 s., ISBN 978-80-89128-90-7

Recenzenti:

Prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc.

Prof. RNDr. Jan Němeček, DrSc.

Monografia bola spracovaná na základe vybraných príspevkov prezentovaných na 2. konferencii Slovenskej a Českej pedologickej spoločnosti „Nové trendy v diagnostike, klasifikácii a mapovaní pôd“, konanej v dňoch 29.9. – 1.10. 2010 v Rožňave.

Táto publikácia bola schválená ako monografia na základe odborného vyjadrenia Odboru pôdoznalectva a ochrany pôdy Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied dňa 9.8.2011.

Návrh obálky: Ing. Karol Végh

Vydal: © Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, 2011

ISBN 978-80-89128-90-7

Editor

Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc. je samostatnou vedeckou pracovníčkou na Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave, kde vedie Oddelenie pôdoznalectva a mapovania pôd. Je absolventkou Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského Bratislava v odbore Fyzická geografia a kartografia. Dizertačnú prácu s názvom „Príspevok k aplikácii metód numerickej taxonómie pre účely klasifikácie pôd“ obhájila v roku 1986 na Geografickom ústave SAV v Bratislave. Habilitačnú prácu: „Úvod do štúdia problematiky urbánnych pôd – teória, prieskum a aplikácia“ obhájila v roku 2008 na Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva v Nitre. Pracovala ako národný koordinátor medzinárodných projektov (SOVEUR, URBAN SMS, SONDAR AT-SK a iné), národných projektov: Dopady klimatickej zmeny na pôdny kryt, Urbánne pôdy ako environmentálny faktor kvality života v mestách, Súbor máp geologických faktorov životného prostredia a iné. Je riešiteľom úloh pre MPRV SR: expert pre znevýhodnené oblasti (LFA), expert pre zábery pôd. Je editorom publikácie Morfogenetický klasifikačný systému pôd Slovenska (2000), multi-jazyčného pôdoznaleckého slovníka, spoluautor príručky BPEJ, editor zborníkov z konferencií a seminárov. Prednáša na viacerých univerzitách (UJEP Ústí nad Labem, SPU Nitra). Jej vedecké aktivity majú pomerne široký rozsah, avšak dominantnými sú prieskum a mapovanie pôd, výskum zameraný na genézu, klasifikáciu a geografiu pôd, využívanie GiSových aplikácií pre mapovanie pôd a pôdnych vlastností, hodnotenie antropogénnych (urbánnych) pôd, riešenie globálnych zmien pôdneho fondu (klimatická zmena). Je členkou viacerých vedeckých medzinárodných komisií (ICOMANTH, SUITMA, DG ENVI, DG AGRI, UNCCD, WRB a iné), redakčnej rady pre Agriculture (Poľnohospodárstvo) a členkou Rady APVV pre pôdohospodárske vedy.

ÚVOD

Predložená monografia predstavuje kompiláciu 42 vybraných vedeckých príspevkov, ktoré sa týkajú diagnostiky, klasifikácie a mapovania pôd na Slovensku a v Českej republike. Príspevky boli prezentované na 2. spoločnej pedologickej konferencii Societas pedologica slovaca a Českej pedologickej spoločnosti konanej v dňoch 29. 9. – 1. 10. 2010 v Rožňave. Konferencie v Rožňave sa zúčastnili poprední českí a slovenskí pôdoznalci, ktorých vedecké výskumy a praktické skúsenosti v terénnom prieskume, či mapovaní a klasifikácii pôd sa premietli do hodnotných príspevkov. Predstavujú v súčasnosti to najlepšie, čo sa v tomto odbore pôdoznalectva dosiahlo.

Základným smerovaním konferencie s názvom „Nové trendy diagnostiky, klasifikácie a mapovania pôd" bolo oboznámiť sa s najnovšími poznatkami týkajúcimi sa pomerne zložitej problematiky diagnostikovania pôd pomocou hlavných, či podružných kritérií, tvorby klasifikačných princípov a procesu samotnej klasifikácie. Táto oblasť pôdoznalectva sa v predchádzajúcom období ocitla mimo centra záujmu najmä preto, že sa považovala do istej miery za vyriešenú a záujem sa sústredil na iné oblasti (hlavne na výskum pôdnych funkcií a hodnotenia pôd). V súčasnosti sa problematika diagnostiky a klasifikácie pôd opäť dostáva do popredia v súvislosti so vzrastajúcim množstvom medzinárodných projektov riešených v rámci spolupráce v Európskej Únii ako aj v súvislosti s budovaním európskej pôdnej databázy (projekty ENVASSO, MEUSIS, e-SOTER, DIGISOIL, SoCo, BIOSOIL, DSM a iné).

Snahou publikácie je zdokonaliť a prehĺbiť poznatky o klasifikácii pôd pre pripravovanú novú verziu slovenského klasifikačného systému pôd (ale aj pre inováciu Taxonomického klasifikačného systému pôd Českej republiky). Téma monografie je chápaná širšie, a to z dôvodu zachytenia nových trendov hodnotenia pôdnych vlastností, pôdnych procesov, nových prístupov v mapovaní pôd a ich vlastností s akcentom na ich využitie v aplikačných programoch. Je rozdelená na 3 sekcie: I. Nové trendy hodnotenia pôdnych vlastností a procesov vo vzťahu k diagnostike pôd, II. Inovačné prístupy v kategorizácii a klasifikácii pôd a III. Najnovšie trendy terénneho prieskumu a mapovania pôd. Príspevky boli vybrané na základe rozhodnutia spoločného vedeckého výboru konferencie, t.j. do publikácie sa dostali všetky ústne prezentácie a niektoré posterové prezentácie. Všetky príspevky prešli úpravou editorky a boli recenzované. Editorka rešpektovala právo na vedecký názor prispievateľov. Je to preto, že pôda je extrémne zložité teleso, ktorého komplexné poznanie vyžaduje pomerne náročné štúdium. Preto aj v diagnostických či klasifikačných otázkach býva často nejednotnosť a názorová rôznorodosť, s ktorou však treba počítať a snažiť sa hľadať spoločné východiská.

Medzi hlavné výstupy tohto diela možno považovať hodnotenie vlastností a procesov z hľadiska prehlbovania diagnostiky pôd, zavádzanie nových moderných laboratórnych metód i metód nepriameho stanovenia vlastností pôd povrchovými detekčnými metódami. Úplne nových spôsobom je ponímané rozvíjanie problematiky preferenčnej stavby pôdneho telesa z hľadiska prúdenia pôdneho roztoku a preferenčného príjmu vody, živín i kontaminantov. V diagnostike možno uplatniť aj širšie používanie mikrobiologických a enzymatických testov. Zvýšená pozornosť bola venovaná lesným pôdam vo vzťahu k inovačným klasifikačným prístupom. Veľmi cennými sú príspevky venované spresňovaniu koncepcie diagnostiky andosolov, kryosolov, antropogénnych pôd, či paleosolov. Mnohé z nich sú vzťahované na koreláciu medzi národnými klasifikáciami a referenčným systémom (hlavne WRB). Veľmi zaujímavé sú príspevky interdisciplinárneho charakteru (pedológia a biologické resp. geologické vedy). Uvedené sú nové návrhy inovácie taxonomickej klasifikácie a metódy nových systémov moderného mapovania pôd. Ide napr. o digitálne mapovanie pôd v nadväznosti na metódy rýchleho získavania údajov o vlastnostiach pôd, využívanie geofyzikálnych a diaľkových metód, kompilácia máp rôznych pôdnych vlastností, degradácie (kontaminácie) pôd a vôd. Zvýraznila sa heterogenita pôdneho pokryvu i budovanie GIS vo vzťahu k európskym programom.

Prajeme si, aby publikácia vzájomne obohatila poznatkami českých a slovenských pôdoznalcov a priniesla nové impulzy či smerovanie nielen pre skúsených vedcov, ale aj pre nádejných mladých vedeckých pracovníkov.

Jaroslava Sobocká
editorka

SEKCIA I.

NOVÉ TRENDY HODNOTENIA PÔDNYCH VLASTNOSTÍ A PROCESOV VO VZŤAHU K DIAGNOSTIKE PÔD

1. *Jozef Kobza*
Nové trendy hodnotenia pôdnych vlastností a procesov vo vzťahu k diagnostike pôd 9

2. *Michal Džatko*
Od tradičnej klasifikácie a mapovania pôd k holistickej integrácii vzťahov pôda, prostredie a človek 16

3. *Rudolf Šály, Jozef Capuliak, Pavel Pavlenda*
Pokrývkový humus na bývalých poľnohospodárskych pôdach na objekte vrch Dobroč 25

4. *Gabriela Barančíková*
^{13}C nukleárna magnetická rezonancia ako účinný nástroj detailnej charakteristiky humínových kyselín 32

5. *Erika Gömöryová.*
Variabilita vlastností lesných pôd vo vzťahu k rozľahlosti výskumného priestoru (mierke mapy) 41

6. *Miroslav Fér, Radka Kodešová*
Vliv vlastností jílových povlaků agregátů na transport vody 50

7. *Jiří Martinec, Jan Hladký, Ľubica Pospíšilová*
Hodnocení pufrační schopnosti černozemí a regozemí 56

8. *Ladislav Menšík, Jiří Kulhavý*
Frakcionace humusových látek lesních půd na příkladu kambizemí v oblasti Drahanské vrchoviny 62

9. *Dušan Reininger, Přemysl Fiala, Stanislav Malý*
Alternativní přístupy při studiu erozních procesů v zemědělsky intenzivně využívané krajině 70

10. *Eva Břízová, Peter Pišút*
Výsledky paleoekologickej analýzy aluviálnej pôdy (lokalita Štúrová, Žitný ostrov, Slovensko 76

11. *Šárka Dlouhá, Eduard Petrovský, Luboš Borůvka, Ondřej Drábek*
Využití magnetické susceptibility pro sledování znečistění půd těžkými kovy v okolí řeky Litavky 85

1. NOVÉ TRENDY HODNOTENIA PÔDNYCH VLASTNOSTÍ A PROCESOV VO VZŤAHU K DIAGNOSTIKE PÔD

1. Latest trends of soil properties assessment and processes in relation to diagnostics of soils

Jozef Kobza*

ABSTRAKT
V príspevku sú zohľadnené viaceré poznatky z doterajších prieskumov a výskumov pôd, ako aj ich permanentného monitorovania vo vzťahu k diagnostike pôd. Na pôdy totiž nazeráme v určitom okamžiku ich vývoja, t.j. zisťujeme konkrétne parametre vlastností pôd, ktoré sú výsledkom ich doterajšieho vývoja. Jedná sa predovšetkým o špecifické morfologické – morfogenetické, fyzikálne, chemicko-fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti pôd, ktorých výpovedná hodnota sa zvyšuje pri posudzovaní ich vzájomnej interakcie. Pre posúdenie diagnostiky pôd nám často slúžia nielen kvantitatívne ale aj kvalitatívne parametre vlastností pôd, ktoré nám často indikujú intenzitu procesov, ktoré buď prebiehali v minulosti, alebo prebiehajú v súčasnosti. Práca je zameraná na dôležitosť a komplexnosť hodnotenia pôdnych vlastností a procesov, čo vyplýva často z nejasnej definície modálnych subtypov a tzv. medzitypov, t.j. pôd s interreferenčnými vlastnosťami dvoch alebo viacerých klasifikačných jednotiek. Pretože pôdne indivíduá sú multivariabilné objekty, práve novší prístup hodnotenia pôdnych vlastností a procesov so zohľadnením genézy pôd sa javí najvýhodnejším integračným kritériom diagnostiky pôd.
Kľúčové slová: pôdne vlastnosti, pôdne procesy, genéza pôd, diagnostika pôd

ABSTRACT
Some obtained knowledge from previous survey and research of soils as well as their permanent monitoring in relationship to soil diagnostics are described in this contribution. We try to evaluate the soils in concrete short time of their development; it means we indicate concrete parameters of soil properties which are the result of previous development of soils. It is going above all about morphological – morphogenetic, physical, chemical-physical, chemical and biological properties of soils and their interactions. For the soil diagnostics are very important not only quantitative, but also qualitative parameters of soil properties which often indicate the intensity of soil processes running in the past or at present. The submitted works is directed to importance and complexity of evaluation of soil properties and processes what is resulted from often vague definition of modal soil subtypes and so-called intertypes – it means the soils with inter-referenced properties of two or more classified units. As the soils are multivariable objects, just the new access of evaluation of soil properties and processes regarding to genesis of soil seems to be the most suitable integrated criterion of soil diagnostics.
Key words: soil properties, soil processes, soil genesis, soil diagnostics

1.1 ÚVOD

Individuálne pôdne jednotky sú otvorené dynamické systémy a sú výsledkom určitého vývoja (dlhodobejšieho, ale na základe niektorých novších poznatkov i krátkodobejšieho vývoja – genézy pôd). Nachádzajú sa v stave dynamickej rovnováhy so súčasným stavom pôsobenia aktívnych zložiek ich okolia, ktorými sú klíma, vegetácia, ľudský činiteľ a jeho vplyv a na veľkej časti územia aj podzemná voda. Okrem toho sú v rovnováhe aj pôsobením prevažne pasívnych zložiek, ktorými sú geologický pôdotvorný substrát a reliéf.

Dynamická rovnováha jednotlivých pôd s ich okolím sa prejavuje zmenami stavov, t.j. parametrov vlastností, ktoré v danom časovom okamžiku sú predmetom zisťovania. Výsledkom posudzovania je hodnotenie konkrétnych pôdnych vlastností (morfologické – morfogenetické, fyzikálne, chemicko-

* Prof. Ing. Jozef Kobza, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava – Regionálne pracovisko, 974 04 Banská Bystrica, Mládežnícka 36, SR, e-mail: j.kobza@vupop.sk

fyzikálne, chemické a biologické), ktoré odrážajú určité procesy, ktoré buď prebiehali v minulosti, alebo prebiehajú v súčasnosti. Tu vstupujú do popredia hlavne merateľné parametre vlastností pôd, často vo svojej nielen kvantitatívnej, ale aj kvalitatívnej charakteristike. Práve tie často pomôžu hodnotiť pôdy vo vzťahu k ich diagnostike.

1.2 MATERIÁL A METÓDY

Analytické výsledky boli získané z doterajších prieskumov a výskumov pôd, ako aj z realizácie monitoringu pôd SR. Dosiahli sme tak údaje z celého pôdneho pokryvu Slovenska. Taktiež boli implementované niektoré poznatky zo zahraničných pedologických stáží a exkurzií. Pre stanovenie dôležitých parametrov pôdnych vlastností boli použité prevažne analytické metódy (Fiala a kol., 1999), v súčasnosti pripravujeme vydanie novších analytických postupov, ako aj zaužívané pedologické postupy. Tieto boli vykonávané na Pracovisku laboratórnych činností pri VÚPOP v Bratislave.

1.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

1.3.1 Morfológia pôd

Morfológia pôd predstavuje prvý vizuálny kontakt s pôdou a okolitým reliéfom. Dôležitú úlohu tu zohráva práve konfigurácia pôdnych horizontov a ich charakteristika (napr. farba, štruktúra, oxidačno-redukčné prejavy, výskyt novotvarov, tvorba puklín a pod.). Táto časť vyjadruje aktuálny stav v momente otvorenia pôdneho profilu. Pokiaľ tento pôdny profil zostane aspoň niekoľko dní otvorený, môže za určitých podmienok dochádzať k určitým vizuálnym zmenám (najmä vplyvom zmien hydromorfizmu), čo môže spôsobiť ich odlišné diagnostikovanie vo veľmi krátkom čase (napr. Vertisoly).

V zmysle klasických princípov Dokučajeva určitá pôda vzniká a vyvíja sa len pri určitej kombinácii pôsobenia pôdotvorných faktorov a podmienok. Z toho vyplýva, že pôdy s rovnakou skladbou diagnostických horizontov sú geneticky zhodné, i keď ich genézu často presnejšie nepoznáme. Ide tu v podstate o aplikáciu princípu tzv. „čiernej skrinky“ (*black box*) z teórie všeobecných otvorených systémov (Linkeš, 1978), kde zvyšuje dôraz na fungovanie systému ako celku. „Tie isté pôdy“ však v odlišných klimatických podmienkach sa môžu morfologicky prejavovať značne odlišne. I keď sa môže jednať o „tú istú konfiguráciu pôdnych horizontov“ tieto sa môžu prejavovať odlišným sfarbením, hĺbkou, obsahom skeletu a pod.

Preto pre výstižnejšiu diagnostiku pôd nám slúžia merateľné parametre vlastností pôd, ktoré sú často významné z viacerých aspektov.

1.3.2 Organický podiel a jeho vlastnosti

Organický podiel zohráva veľmi významnú úlohu pri hodnotení produkčných ako aj mimoprodukčných funkcií pôdy. S vyššou nadmorskou výškou a humídnosťou sa jeho obsah spravidla zvyšuje, čo sa však nedá povedať o jeho kvalite. Preto okrem hodnotenia kvantitatívnych vlastností, čoraz významnejšiu úlohu zohrávajú aj kvalitatívne vlastnosti.

Základným kvalitatívnym parametrom organického podielu pôdy je pomer humínových kyselín a fulvokyselín (C_{HK}/C_{FK}). Prevládanie humínových kyselín nad fulvokyselinami je charakteristické pre vyzretejšiu, viac humifikovanú pôdnu organickú hmotu (Sotáková, 1982), ktorá je charakteristická hlavne pre černozeme a čiernice. V rámci monitorovania pôd Slovenska sa zaoberáme aj poznaním detailnej chemickej štruktúry organického podielu na základe izolácie humínových kyselín a monitorovaním ich základných chemických parametrov. Základným chemickým parametrom pri sledovaní štruktúry HK je elementárna C, H, N, O analýza, ktorá odráža charakteristiky pôdnej humifikácie. Vyššie zastúpenie uhlíka a nižšie zastúpenie vodíka je charakteristické pre HK s vyšším humifikačným stupňom.

Ďalším dôležitým parametrom pri posudzovaní kvality HK je obsah karboxylových funkčných skupín. Vyššie hodnoty COOH charakterizujú vyzretejšiu pôdnu organickú hmotu s vyšším stupňom humifikácie a nízke hodnoty tohto parametra nízky humifikačný stupeň HK (Rossel a kol., 1989).

Veľký prínos pri poznávaní chemickej podstaty HK predstavujú spektrálne metódy vo viditeľnej oblasti spektra. Kumada (1987) na hodnotenie optických vlastností doporučuje optický parameter

$E^{1\%}_{6}$, ktorý reprezentuje extinciu roztoku HK nameranú pri vlnovej dĺžke 600 nm. Uvedený optický parameter Kumada nazýva stupňom humifikácie. Nízke hodnoty tohto parametra indikujú slabo humifikovateľnú pôdnu organickú hmotu. Barančíková (2009) v rámci systematického monitorovania pôd SR zistila nízke hodnoty uvedeného parametra v prevažnej časti kambizemí v porovnaní s černozemami, kde boli hodnoty optického parametra $E^{1\%}_{6}$ často nad 30.

Pri štúdiu štruktúry HK je v súčasnosti z novšie používaných spektrálnych techník nukleárna magnetická rezonancia ^{13}C, ktorá umožňuje kvantitatívne stanovenie jednotlivých typov uhlíka v štruktúre pôdnej organickej hmoty (Mathers a kol., 2000). Z parametrov ^{13}C NMR spektier je z hľadiska chemickej štruktúry HK najdôležitejšie percentuálne zastúpenie alifatického (C_{alif}) a aromatického uhlíka (C_{ar}), z ktorých sa stanovuje stupeň aromaticity α. Ako uvádza Gonzáles-Peréz (Gonzáles-Peréz a kol., 2007) neobhospodarované pôdy vykazujú nižšie percento C_{ar} ako orné pôdy, čo sme potvrdili aj v rámci monitorovania pôd SR (badateľný trend ďalšieho zlabilňovania HK najmä na kyslých pôdach pod trvalými trávnymi porastmi).

Výrazné rozdiely sme zistili aj pri obsahu labilného uhlíka, keď jeho priemerný obsah bol v orných pôdach päťkrát nižší v porovnaní s trvalými trávnymi porastmi (Zaujec, Kobza, 2002). Súčasne pre lepšie ocenenie kvality organického podielu sme navrhli používať pomer $C_L : N_{pot}$, pričom nižšie hodnoty tohto pomeru indikujú vyššiu kvalitu organického podielu (Zaujec, Kobza, 2002).

1.3.3 Chemické vlastnosti

Jedná sa o široké spektrum vlastností, ktoré možno zaradiť do troch základných skupín, a to z pohľadu úrodnosti pôd – pôdna reakcia, obsah prístupných živín a mikroživín, sorpčné vlastnosti a pod. (ide o tzv. agrochemické vlastnosti pôd), ďalej ide o hygienický stav pôd (obsah anorganických a organických kontaminantov), ako aj o chemické vlastnosti, ktoré možno spájať do značnej miery s genézou a diagnostikou pôd.

Tab. 1 Voľné oxidy železa

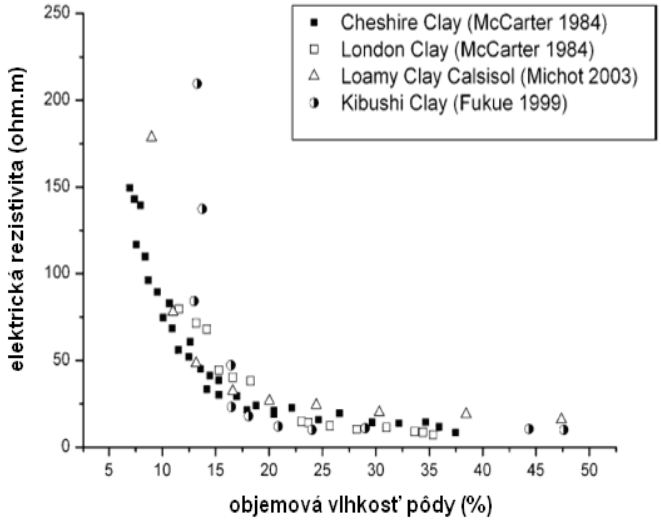
Pôdny predstaviteľ a lokalita	**Hĺbka (cm)**	**Podiel oxidov (%)**		**Fe_d - Fe_o**	**Fe_o/Fe_d**
		Fe_o (Tamm)	**Fe_d (Coffin)**		
Luvizem pseudoglejová kultizemná (LMga) Horňany pri Trenčíne	5-15	0,51	0,83	0,32	0,61
	30-40	0,50	1,00	0,50	0,50
	50-60	0,40	1,50	1,10	0,26
	70-80	0,41	1,75	1,34	0,23
Pseudoglej kultizemný rubifikovaný (PGar) Gregorova Vieska pri Lučenci	5-15	0,45	3,23	2,78	0,14
	30-40	0,40	4,11	3,71	0,10
	50-60	0,35	5,35	5,00	0,06
	70-80	0,32	8,85	8,53	0,03

V tejto časti sa zameriavame na poslednú skupinu vo vzťahu k diagnostike pôd. Tu možno spomenúť najmä Fe_o a Fe_d, ktoré tvoria súčasť chemických zlúčenín v pôde, označovaných ako pedogénne oxidy. Rozumejú sa pod nimi všetky väzby systému Fe_2O_3 – FeO – H_2O vyskytujúce sa v pôde. Uvoľňovanie týchto oxidov z minerálov obsahujúcich dvojmocné železo je veľmi intenzívne pri pH prostredia menšom ako 7 (Koreň, 1984). Ich množstvo sa preto považuje za jedno z najdôležitejších diagnostických kritérií niektorých pôdnych horizontov. Pomer aktivity Fe_o : Fe_d pri profilovom hodnotení charakterizuje stupeň migrácie železa v pôdnom profile, pomer kryštalických foriem k amorfným sa všeobecne používa na posúdenie vývojového stupňa pôdy, resp. na odlíšenie produktov starých pôdotvorných procesov (Schlichting a Blume, 1961).

Hodnoty Fe_o sú zvýšené v povrchovom horizonte, čo do určitej miery súvisí s procesmi pseudoglejenia. Obsahy Fe_d dosahujú na rubifikovaných plochách Točnickej formácie pomerne vysoké hodnoty, ktoré sa približujú hodnotám mediteránnych pôd (7 – 8 %). Pomerne vyrovnaný obsah kryštalických foriem (Fe_d - Fe_o) v prvom pôdnom profile svedčí skôr o eróznej forme tohto pôdneho profilu, pri ktorej sa starší materiál dostáva až na povrch.

1.3.4 Fyzikálne vlastnosti

Fyzikálne vlastnosti pôd na rozdiel od chemických vlastností je možné posúdiť často už v teréne (farba, štruktúra, textúra a pod.), ako aj ich bližšie špecifikovať vo fyzikálnom laboratóriu (pórovitosť, objemová hmotnosť a pod.). Napokon objemová hmotnosť môže plniť aj funkciu diagnostického kritéria, napr. pri posudzovaní andických vlastností andozemí ($\leq$ 0,9 g.cm^{-3}). Jedná sa v podstate o priame sledovanie a hodnotenie fyzikálnych vlastností (zaužívaných z rozboru fyzikálnych valčekov o objeme 100 cm^{-3}). Okrem priamych metód v monitoringu pôd Slovenska sa venujeme aj možnostiam využitia nepriamych metód najmä pri sledovaní a hodnotení hydrofyzikálnych vlastností pôd. Ide o využitie tzv. metódy elektrickej rezistivitnej tomografie (ERT), ktorá má svoj pôvod v geofyzike. V súčasnosti sa vyvíja nový aplikovaný vedný odbor hydrogeofyzika, ktorý sa využíva pre účely environmentálneho prieskumu, vrátane monitoringu pôd. Potenciál tejto metódy spočíva v možnosti priestorovo i časovo kontinuálnych meraní bez deštrukčného vplyvu na pôdu, t.j. bez narušenia pôdnej štruktúry. Táto metóda nám za predpokladu správnej interpretácie a v súčinnosti s geoštatistickými nástrojmi môže pomôcť odkryť širšie priestorové súvislosti skúmaných pôdnych vlastností, presnejšie napr. určiť zásoby pôdnej vody či odhadnúť kontamináciu podzemnej vody, čomu sa chceme venovať v nasledujúcom období.



Obr. 1 Závislosť medzi momentálnou pôdnou vlhkosťou a elektrickou rezistivitou pôdy pre rôzne pôdy meraná v laboratórnych podmienkach (in: Samouëlian *et al.* 2005)

1.3.5 Vlastnosti ako odraz pôdnych procesov

Pôda sa vyvíja spolu s vývojom krajiny, to znamená, že pôdne vlastnosti sú jednak odrazom prebiehajúcich pôdnych procesov v súčasnosti, ale môžu byť aj výrazom procesov, ktoré prebiehali v pôde v minulosti. Tieto vlastnosti nemiznú bez stopy, ale môžu sa zachovávať dlhší alebo kratší čas. Môžu sa prejavovať vo forme určitých fenoménov, pričom sa často vzťahujú na konkrétnu lokalitu i taxón klasifikácie pôd, pretože rôzne typy pôd reagujú svojím vývojom na meniace sa interakcie pôdotvorných faktorov rôzne.

1.3.6 Fenomény (paleo)hydromorfizmu

Posudzovanie pôd v podmienkach určitého vodného režimu nie je jednoduché, pretože tento môže prebiehať pod vplyvom povrchovej alebo podzemnej vody, mohol prebiehať v dávnej alebo nedávnej minulosti, ale môže prebiehať aj v súčasných podmienkach. Navyše podmienky vyraznejšieho alebo menej výrazného hydromorfizmu sa môžu striedať, čo sa prejavuje v štruktúre a stavbe pôdneho profilu. Stretávame sa tak s určitými prejavmi a fenoménami hydromorfizmu a paleohydromorfizmu, ktoré sa môžu vyskytovať buď vo vrchnej časti, alebo v spodnej časti, príp. v celom pôdnom profile.

Taktiež veľká variabilita analytických znakov často neumožňuje ich vyhodnotenie spôsobom použitým pri anhydromorfných pôdach (Němeček, 1981).

O prekonanom hydromorfnom štádiu vo vývoji pôdneho pokryvu svedčí aj výskyt tmavých humusových horizontov, kde v súčasných podmienkach akumulácia humusu nie je charakteristickým (prevládajúcim) pôdotvorným procesom (Kobza, 2005). Takýmto príkladom sú pravdepodobne aj tmavosfarbené pôdy v oblasti Turčianskej kotliny. Významnú úlohu tu zohráva práve kvalitatívne zloženie pôdneho humusu.

Tab. 2 Kvalitatívne zloženie humusu v pôdach pri rozdielnych podmienkach hydromorfizmu (hĺbka 0-10 cm)

Lokalita	Pôda	pH v H_2O	pH v $CaCl_2$	C_t (%)	C_L ($g.kg^{-1}$)	Podiel C_Lz C_t (%)	C_{NL} ($g.kg^{-1}$)	L (C_L/C_{NL})	N_{pot} ($mg.kg^{-1}$)	C_L:N_{pot}
Voderady	$ČM^c_a$	7,54	7,12	1,75	2,03	11,60	15,47	0,13	147	13,80
Sp. Belá	ČAa	6,75	6,31	2,51	4,23	16,80	20,87	0,20	109	38,80

Vysvetlivky: C_t – celkový uhlík, C_L – labilný uhlík, L – index lability, N_{pot} – potenciálne mineralizovateľný dusík

Pri porovnaní pôd s odlišnou genézou pozorujeme vyšší obsah labilného uhlíka práve na pôdach, ktoré vo svojom vývoji boli ovplyvnené (paleo) hydromorfizmom, v súčasnosti sa však nachádzajú v automorfnejších podmienkach (lokalita Spišská Belá). Taktiež podiel labilného uhlíka z jeho celkového obsahu je na týchto pôdach vyšší (16,80 %). Pomer C_L : N_{pot} je v týchto pôdach výrazne vyšší (38,80) čo determinuje nižšiu kvalitu pôdneho humusu oproti automorfným pôdam. Zároveň sa ukazuje, že tento pomer lepšie vystihuje kvalitu humusu než zaužívaný pomer C : N (Zaujec, Kobza, 2002).

1.3.7 Fenomény zasoľovania

Hlavným zdrojom solí v pôde sú mineralizované podzemné vody v oblastiach s úsporným vodným režimom, kedy sa rozpustené soli vzlínaním dostávajú do pôdneho profilu. Na základe nami doteraz získanými výsledkami (Kobza a kol., 2009) sa ukazuje, že procesy salinizácie a sodifikácie prebiehajú súčasne, avšak proces sodifikácie je prevládajúci. Procesy salinizácie a sodifikácie prebiehajú od substrátových horizontov smerom k povrchu pôdy pričom tento vývoj je zreteľnejší v pôdach so slabým až stredným vývojom soľných pôd.

Špecifickým prípadom je proces sekundárneho zasoľovania pôd, ku ktorému môže dochádzať aj v tých pôdno-klimatických podmienkach, ktoré nie sú charakteristické pre vznik zasolených pôd. Takýmto príkladom je vplyv skládky alkalických odpadov z výroby hliníka v Žiari nad Hronom. Zasoľovací proces, ktorý tu neustále prebieha, je spôsobený silne alkalickými tekutými odpadmi z porušených nádrží cez starý drenážny systém do okolitých pôd. I keď tento proces tu rádovo pôsobí niekoľko desaťročí, hodnoty základných ukazovateľov zasoľovania pôd sú výrazne vyššie ako pri primárnom procese zasoľovania vo výparnom vodnom režime (Kobza, 2008), čo zároveň môže ovplyvňovať aj diagnostiku pôd.

1.3.8 Fenomény rubifikácie

Tieto sú pôvodne výsledkom zvetrávania v subtropických podmienkach, a to od vrchného miocénu do staršieho pleistocénu (Mazúr a kol., 1971). Červené sfarbenie takýchto pôd môže zapríčiniť iba obalenie jemných minerálnych frakcií pôdy vysoko dispergovaným hematitom a goethitom pri ich nízkom pomere, alebo prevahe hematitu ako výsledok procesov rubifikácie (Kämpf, Schwertmann, 1983).

Takéto pôdy predstavujú dnes prakticky iba sedimenty, pretože ide o pôdny materiál sekundárne premiestnený, a teda chápaný ako pôdotvorný substrát, na ktorom sa v podmienkach recentnej pedogenézy vytvorili pôdne horizonty . V takto premiestnených sedimentoch v procese ich diagenézy (Polanski, Smulikowski, 1978) môže dochádzať postupne k celému radu premien, t.j. na jednej strane môžu byť ďalším pokračovaním procesu sedimentácie (napr. soliflukcia), na druhej strane často prebiehajú procesy, ktorých dôsledkom je migrácia chemických látok a ich diferenciácia po vzniku

sedimentu. Najtypickejším produktom takejto diagenetickej diferenciácie sú konkrécie (hlavne Fe a Mn konkrécie), ktoré sú v popisovaných pôdach často viditeľné.

Pôdy s uvedeným náčrtom takejto genézy sú prevažne lokalizované na oblasť semipolií (krasových kotlín), resp. sú akumulované na bázach svahov, pričom ide o pôdy často veľmi hlboké. Okrem už uvedených procesov sa v nich uplatňujú tiež recentné procesy pseudoglejenia i translokácie ílu (Kobza, Linkeš, 1990, Kobza, 1992). I keď v súčasnosti v našom klasifikačnom systéme pôd už nerozlišujeme terra fusca a terra rossa (napokon pre ich klasifikáciu nie sú vo svete jednotné a použiteľné kritériá), majú tieto pôdy podľa základnej farby (Hue) Munsellových tabuliek s hodnotou 7,5R, 10R, 2,5YR, 5YR za vlhka bližšie k subtypu terra rossa. Dokazuje to aj často vysoký obsah Fe_2O_3 v dithioničitanovom extrakte v týchto pôdach.

Tab. 3 Voľné oxidy železa v rubifikovanom pôdnom profile

Lokalita	Hĺbka v cm	Podiel oxidov Fe (%)		Fe_d - Fe_o	Fe_o/Fe_d
		Fe_o (Tamm)	Fe_d (Coffin)		
Kečovo	5-10	0,50	3,69	3,19	0,13
	30-35	0,46	3,92	3,46	0,12
	50-55	0,46	4,12	3,66	0,11
	100-105	0,42	4,78	4,36	0,09

1.4 ZÁVER

I keď na tomto mieste nebolo možné vyčerpať širšie možnosti hodnotenia pôdnych vlastností a procesov, v tomto príspevku sme sa pokúsili ich zvýraznenie aspoň na niektorých príkladoch. Ukazuje sa, že dôležité postavenie vo vzťahu k diagnostike pôd zohrávajú nielen kvantitatívne, ale aj kvalitatívne parametre vlastností pôd. Taktiež novšie poznatky vychádzajú z výskumu a hodnotenia separovanej pôdnej hmoty napr. pri posudzovaní pôvodu kontaminácie pôd (Wilcke *et. al*., 1996), príp. separácie hrdzavých a sivých zátekov pri textúrne diferencovaných pôdach (Kobza, 1991). Zároveň tento prístup nám lepšie pomáha indikovať aj procesy v pôdach, ktoré prebiehajú v súčasnosti, resp. prebiehali v dávnejšej minulosti.

Literatúra

BARANČÍKOVÁ G. 2009. Monitoring kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdneho humusu. In: Kobza a kol. 2009. *Monitoring pôd SR,. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. VÚPOP Bratislava, 55-79, ISBN 978-80-89128-54-9.

FIALA K., KOBZA J., BARANČÍKOVÁ G., BREČKOVÁ V., BÚRIK V., HOUŠKOVÁ B., CHOMANIČOVÁ A., LITAVEC T., MAKOVNÍKOVÁ J., MATÚŠKOVÁ L., PECHOVÁ B., VÁRADIOVÁ D. 1999. *Záväzné metódy rozborov pôd.* VÚPOP Bratislava, 142 s.

GONZÁLES-PERÉZ M., MILORY D.M.B.P., COLNAGO L.A., MARTIN-NETO L., MELO W.J. 2007. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Geoderma*, vol. 138, 20-24.

KÄMPF M., SCHWERTMANN V. 1983. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma* 29, 1983, 27-39.

KOBZA J., LINKEŠ V. 1990. Pôdy Silickej planiny z hľadiska využívania a ochrany krajiny. In: *Slovenský kras*, roč. XXVIII, 1990, 103-115, ISBN 80-217-0214-1.

KOBZA J. 1991. Význam pedogénnych oxidov vo vzťahu ku genéze textúrne diferencovaných pôd. *Vedecké práce VUPU*, Bratislava, č. 16, 1991, 103-115.

KOBZA J. 1992. Poznámky ku charakteristike rubifikovaných textúrne diferencovaných pôd v oblasti Slovenského krasu a priľahlej časti Košickej kotliny. *Vedecké práce VUPU,* Bratislava, č. 17, 1992, 91-100.

KOBZA J. 2005. Hydromorfizmus a paleohydromorfizmus v pôdotvornom procese. *Zborník ref. Ochrana a využití půdy v podhorských oblastech. Jihočeská univ. České Budějovice*, Zemědělská fakulta, 1. a 2. září 2005, Nové Hrady, 17-21.

KOBZA J. 2008. Tvorba niektorých degradačných fenoménov kontaminácie pôd v oblasti Žiarskej kotliny. *Vedecké práce VÚPOP,* Bratislava, č. 30, 45-54.

KOREŇ M. 1984. Pôdy na pelokarbonátových horninách Chočských vrchov. *Náuka o zemi, Pedológia* 20, 1984, č. 10, 184 s.

KUMADA K. 1987. *Chemistry of soil organic matter*. Tokyo, Elsevier, 17-30.

LINKEŠ V. 1978. Moderná klasifikácie pôd z hľadiska organizácie informácií o pôdach a ich interpretácie. *Vedecké práce VÚPOP* č. 9, Bratislava, 1978, 39-51.

LINKEŠ V. 1884. Reliktné fenomény v pôdnom pokryve Slovenska a príspevok k ich interpretácii. *Geografický časopis,* roč. 36, 1984, č. 2, 163-178.

MATHERS M.J., MAO X.A., XU Z.H., SAFFIGNA P.G., BERNERS-PRICE S.J., PERERA M.C.S. 2000. Recent advances in the application of ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Aust. J. Soil Res*., vol. 38, 769-787.

MAZÚR E. a kol. 1971. Slovenský kras. *Geograf. práce 2*, SPN Bratislava, 1971, 154 s.

NĚMEČEK J. 1981. Základní diagnostické znaky a klasifikace půd ČSR. *Studie ČSAV,* č. 8, 1981, Academia Praha, 110 s.

ROSSEL R.A., ANDRIULO A.E., SCHITZER M., CRESPO M.B., MIGLIERINA A.M. 1989. Acid properties of an Argiudoll soil under two tillage systems. *Sci. Tot. Envir*. Vol. 81/82, 391-400.

SAMUËLIAN A., CONSIN I., TABBAGH A., BRUAND A., RICHARD G. 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil & Tillage Research* 83, 2005, 173-193.

SCHLICHTING E., BLUME H.P. 1961. Art und ausmass der Veränderungen des Bestandes mobiler Oxyde in Böden aus Jungpleistoränen Geschiebemergel und ihren Horizonten. 2. *Pfl.- Ernähr. Düng. Bodenkunde* 96, 1961, 144-169.

SOTÁKOVÁ S. 1982. *Organická hmota a úrodnosť pôdy*. Bratislava, Príroda, 234 s.

WILCKE W., ZECH W., KOBZA J. 1996. PAH-pools in soils along a PAH-deposition gradient. In: *Environ. Pollution*, Vol. 92, No 3, 307-313, Elsevier Science Ltd.

ZAUJEC A., KOBZA J. 2002. The content and quality of soil organic matter in key monitoring sites observing by soil monitoring system of the Slovak Republic. *Agriculture (Poľnohospodárstvo),* 48, 2002 (9): 492-499.

2. OD TRADIČNEJ KLASIFIKÁCIE A MAPOVANIA PÔD K HOLISTICKEJ INTEGRÁCII VZŤAHOV PÔDA, PROSTREDIE A ČLOVEK NA SLOVENSKU

2 From the traditional soil classification and soil mapping to the holistic integration of relations soil, environment and human in Slovakia

Michal Džatko*

Mottá

„Pôda nie je komplexom obmedzeného počtu vlastností, ale „entita“, kde existencia prírodného poriadku (založeného na kauzalite) je objektívnym testom našich prác v systematike pôd, ktorá ukáže, či sme boli úspešní, alebo nie. (Kubiena, 1958).

„Žiadna vlastnosť pôdy, ktorú neindikuje rastlina, nemá praktický význam“ (Tuxen in: Zonneveld 1966).

Motto

"The soil is not regarded as a complex of restricted number of properties but as an entity. The existence of a natural order (based on causality) is the objective test of our work in soil systematic that shows whether we have succeeded or failed." (Kubiena, 1958)

„Any property of the land not indicated by vegetation has not practical importance“ (Tuxen in: Zonneveld 1966).

ABSTRAKT

Primárnym zámerom príspevku je odborná snaha o evokáciu otázok, či sa aj po 50-ročných poznatkoch a výsledkoch klasifikácie a hodnotenia pôd na Slovensku, nemáme hlbšie zamyslieť aj o vzájomne nadväzných, ale v podstate ani nie nových otázkach holistickej integrácie vzťahov pôda, prostredie a človek. Impulzom pre takéto zamyslenia sa sú najmä: 1) postoje Ruellana (2002): „Pedon nie je prírodná jednotka pôdneho poryvu, jeho laterálne limity sú umelé, zle reprezentujú reality a funkčnosť pôdneho pokryvu“; 2) veľmi výpovedný výrok Oduma (1977): „Matematická sústava je nedokonalým abstraktným obrazom súčasného sveta, preto sa dva prístupy k výskumu ekosystému (syntetický a analytický) musia spojiť a vytvoriť program aktivít, ak človek chce prežiť environmentálnu krízu, vytvorenú ním samým“; 3) názor Tuxena (1961) „Čo neindikuje rastlina, nemá praktický význam“. Prvé impulzy pre prehodnotenie tradičných metód „bonitácie“ pôd na Slovensku vznikli po roku 1950 a vychádzali nielen z poznatkov a postojov v danom čase už známych kapacít: Kubiena, Tuxen, Odum, Zonneveld, ale aj našich autorít: najmä Novák, Pelíšek, Šály, Nemeček, Jurko, Hraško, Bedrna, Mikloš, Michalko, Džatko, Linkeš, ktorí v málo rozdielnych formách, ale jednotnom chápaní zámerov a cieľov holistickej integrácie prispeli k progresívnejšiemu rozvoju klasifikácie a hodnotenia pôdno-ekologických jednotiek a nadväzných modelov udržateľného využívania pôdy a krajiny. Finálnym zámerom príspevku je zdôvodniť naše postoje, že výsledkom spoločných snáh by nemala byť len nová klasifikácia pôdnych typov, ale vytvorenie nových schém integrujúcich okolité prvky prostredia do pôdnoekologických systémov. Na základe našich, viac ako 30 ročných výskumov klasifikácie a hodnotenia pôd (nielen ich vlastností), je už možné poskytnúť niektoré výstupy ako napr. kategorizácia typologicko-produkčných jednotiek, ktoré ponúkajú relevantné podklady nielen pre hodnotenie ekologických, ale aj ekonomických aspektov ochrany a udržateľného využívania krajiny na Slovensku.

Kľúčové slová: holistický prístup, klasifikácia pôd, pôdne vlastnosti, pôdnoekologická jednotka, OIKOS

ABSTRACT

Primary aim of this contribution is the question, if we can also after 50 years results of soil classification and land evaluation in Slovakia, contribute to the very actual discussion about holistic integration of relations between the soil, environment and human. The impulses for such thinking come out mainly from these attitudes: 1) Ruellan (2002): "Pedon (type of soil) is not a natural unity of the soil cover, its lateral

* RNDr. Michal Džatko, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: m.dzatko@vupop.sk

limits are artificial and so, the soil maps based on pedons are artificial"; 2) from the very fact-finding affirmation of Odum (1977): "Mathematical pattern is imperfect picture of present world, therefore the two approaches for the ecosystem research (synthetic and analytical) must join and develop the programme of common activities, if human beings intend to survive environmental crisis which was created by themselves; and 3) by Tuxen (1961): "Any land property which is not indicate by vegetation, has not practical significance". First initiatives for re-evaluation of traditional methods of land assessment in Slovakia arose after 1950 which come out not only from the knowledge and attitudes in that time famous scientists like Kubiena, Tuxen, Odum, Zonneveld. There were also our authorities: notably Novák, Pelíšek, Šály, Nemeček, Jurko, Hraško, Bedrna, Mikloš, Michalko, Džatko, Linkeš who in less different ways but in unified concept of intends and goals of holistic integration contributed to the more progressive development of soil classification and assessment of soil-ecological units and pursuing models of sustainable soil-land use. The final aim of the contribution is point out that the results of our enforces are not only new soil types classification but also the creation of new schemes integrating environmental elements into soil-ecological systems. On the base of our more than 30 years researches of classification and assessment (not only soil properties), there is a possibility to provide some outputs e.g. typological-production units categorization, which provide the relevant background solving ecological and economic aspects of the sustainable land use and protection in Slovakia.

Keywords: holistic approach, soil classification unit, soil properties, soil-ecological unit, OIKOS

2.1 ÚVOD

Nebývalý rozvoj pôdoznalectva v európskych krajinách po roku 1950, zákonito podmienil rozvoj aj progresívnych holistických metód hodnotenia a využívania pôd (*land evaluation and land use),* ktoré sa postupne zdokonalili až na súčasnú úroveň nielen hodnotenia, ale aj modelovania udržateľných sústav využívania zdrojov pôdy a krajiny (*sustainable land use planning,* resp. *land use modelling*): Zonneveld (1966), Troll (1971), Beek, Bennema (1972), Brinkman, Smyth (1973), FAO (1975), ako aj novších pojmov, najmä: *landscape ecology*.

Dlhodobo neakceptovateľné holistické postoje k hodnoteniu vzťahov medzi vlastnosťami pôd a zložkami prostredia na Slovensku, prezentovali už v rokoch 1960-70 nielen pôdoznalci, ale aj renomovaní botanici, lesníci a prírodovedci: (Jurko 1958, Šály 1962, Michalko, Džatko 1965, Džatko, Bedrna 1973), ktorých inšpiráciou bola dostupnosť prác zahraničných autorov. Uvedení autori prispeli k novému progresívnemu rozvoju myslenia, ktoré vyústilo do rozpracovania pôdnoekologických jednotiek, ale aj nadväzných modelov udržateľných sústav ochrany a využívania zdrojov pôdy a krajiny aj na Slovensku, (Džatko, Vilček, 1994, 1995).

Konkrétnym výsledkom aplikácie holistických metód hodnotenia pôd na Slovensku nie sú len nové súbory hodnotenia poľnohospodárskych pôd (BPEJ), ale aj nadväzných sústav hodnotenia produkčných potenciálov poľnohospodárskych pôd (BH BPEJ), typologicko-produkčných kategórií (TPK BPEJ), ako aj indexov hodnotenia potenciálov pôd a územných celkov Slovenska. Vytvorili sa nové výpovedné podklady použiteľné nielen pre „tradičné" hodnotenie a kvantifikáciu poľnohospodárskej produkcie, ale aj pre riešenie aktuálnych otázok ochrany a udržateľného využívania zdrojov pôdy a krajiny.

2.1.1 Človek ako správca Zeme

Vieme, že pojmy človek, pôda, voda, zem, príroda a im nadväzné, patria do prvej skupiny výpovedných slov, ktoré vznikli súbežne s kreáciou človeka ako „správcu, čiže nie vlastníka Zeme" (*Genezis 1*). Pretože ich výpovednosť sa prezentuje nielen v bežnej reči, ale aj pri odborných hodnoteniach ich funkcií, pojmy Adam, Eva, raj, záhrada, zem, pôda, voda, krajina a im nadväzné, sa zákonito hodnotia a interpretujú nielen vo vedeckej, ale aj v teologickej literatúre.

Viac ako len názorným príkladom účelovej kombinácie vedeckých a teologických pojmov a poznatkov je aj úvodná stať prednášky prof. Zonnevelda (1979): *„Raj sa stratil a Adam a Eva sa osamotení našli v krutom prostredí, kde dynamická koncentrácia bola len cestou k prežitiu...".*

Prof. Zonneweld, ktorý začal poznávať prírodné vzťahy ako pôdoznalec a neskôr ako renomovaný profesor a zakladateľ Medzinárodnej asociácie pre krajinnú ekológiu (*International Association for Landscape Ecology* – IALE)", na nadväzné otázky ako ďalej... odpovedá: „Adam, muž, si najprv prezrel fyzikálne ohraničenia, ktoré sa podľa ekologického filozofa Chris van Leuvena môžu začleniť do štyroch kategórii, v rámci ktorých výrazne rezonuje aj etická otázka: Prečo si má jeden organizmus

(človek) vziať celý priestor pre seba?“ Chápem to aj ako výzvu: nepreferujme len osobné a parciálne otázky, lebo aj Adam si musel hneď uvedomiť dôsledky nerešpektovania etických otázok, ktoré sa žiaľ, veľmi často a nesprávne preferujú aj pri riešení súčasných závažných otázok ochrany života a životného prostredia.

Pretože naším finálnym cieľom je len a len snaha o dôslednejšie poznávanie a rešpektovanie zásad holistickej integrácie vzťahov pôda, prostredie a človek, nemôžeme nezvýrazniť, že negatívne dôsledky viac ako polstoročnej eskalácie znečisťovania pôd a životného prostredia nielen evokujú, ale aj odborne potvrdzujú nevyhnutnosť prehodnotenia a zdokonalenia súčasných konceptov a prijímajú sa princípy holistickej integrácie vzťahov pôda, voda, prostredie a človek. Finálnym výsledkom riešenia naznačených tém, by mala byť taká integrácia veľmi veľkého súboru poznatkov o prírodných vzťahoch, ktoré by dôsledne garantovali nielen ich výpovednosť, ale aj antickú dôslednosť rešpektovania zásad ochrany, využívania a rozvoja prírodných zdrojov aj ako „Spoločného obydlia správcov Zeme“, čiže OIKOSu, od ktorého je nielen odvodený, ale žiaľ, aj veľmi málo rešpektovaný pojem ekológia.

2.2 PRVÉ VÝSLEDKY HOLISTICKEJ INTEGRÁCIE A HODNOTENIA VZŤAHOV PÔDA, KLÍMA A PROSTREDIE NA SLOVENSKU

Nebývalý rozvoj pôdoznalectva po roku 1945 podmienil na území bývalej ČSSR rozvoj nových integrovaných metód hodnotenia a využívania poľnohospodárskych pôd. Takto sme vďaka ekonomickým požiadavkám vykonať „Komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd (KPP)“, získali nielen neoceniteľné poznatky, ale aj bohaté súbory výsledkov hodnotenia vlastností a priestorových štruktúr nielen pôdnych, ale aj pôdnoekologických jednotiek na celej výmere poľnohospodárskych pôd. Tak vznikli aj súčasné podmienky pre progresívny rozvoj nielen pôdoznalectva, ale aj ochrany pôdy a prostredia ako OIKOSu aj na Slovensku.

Za veľmi progresívny výsledok metodických príprav pre novú klasifikáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd ČSSR, považujeme: „nebývalú zhodu riešiteľov, že finálnym cieľom riešenia má byť cieľavedomé hodnotenie celého komplexu ekologických, technických a ekonomických faktorov, ktoré vplývajú na špecifický charakter (bonitu) stanovíšť vo vzťahu k poľnohospodárskej produkcii“. Čiže, už v období veľmi málo uznávaných a rešpektovaných pojmov ako holistická integrácia zložiek prostredia a krajiny sme nepriamo vychádzali aj z poznatkov a zásad holistickej integrácie hodnotenia vzťahov pôda, klíma a reliéf .

V rokoch 1960-1980 vznikol nový, progresívnejší interdisciplinárny smer „hodnotenie zeme (*land evaluation)“* (Stewart 1968, Zonneveld 1966, FAO 1976 a iní), ktorý je definovaný ako „proces získavania a interpretácie základných údajov o vlastnostiach pôd, vegetácie, klímy a iných zložiek krajiny za účelom identifikácie a vypracovania výhľadových alternatív využitia zeme v daných sociálno-ekonomických podmienkach″ (Brinkman, Smyth 1973).

Na základe aj takto definovaných cieľov a postupov riešenia, vznikli aj samostatné sústavy nielen pôdnych, ale aj pôdnoekologických jednotiek Slovenska a Česka, ktoré sa stali a aj sú východiskovým podkladom aj pre nadväzné účelové hodnotenia a využívania nielen poľnohospodárskych pôd, ale aj krajiny ako geosystémového celku (podrobnejšie in: Miklós, Izakovičová (1997).

Pod pojmom „pôdnoekologická jednotka“ chápeme rovnorodý územný celok, ktorý má v dôsledku vzájomného pôsobenia celého komplexu zložiek prostredia, najmä pôdy, klímy, reliéfu a vegetácie špecifický a neopakovateľný charakter ekologických vlastností a tým aj produkčného potenciálu“. Rozdielne vlastnosti konkrétnych územných celkov sú podrobnejšie dokumentované v nadväznej hierarchií topických a regionálnych jednotiek Džatko (1973, 1974, 1976).

2.2.2 Výpovedné hodnoty pôdnych a pôdnoekologických jednotiek Slovenska

Jednostranná interpretácia pôvodných postojov genetického pôdoznalectva je, že „pôda je funkciou všetkých dynamicky sa meniacich faktorov prostredia“. Táto definícia veľmi často zvádzala k názoru, že produkčný potenciál pôd a územia je podmienený predovšetkým vlastnosťami genetických pôdnych jednotiek.

Už v roku 1973 sme prezentovali, že preukazné vzťahy medzi genetickými pôdnymi typmi a úrodami plodín (tab.1 a 2) sa prejavia len pri ich sumárnom hodnotení v rámci celého Slovenska, resp. len na veľkých územných celkoch.

Tab. 1 Indexy hektárových úrod a HPP na pôdnych typoch

Pôdny typ / Plodina	Pšenica	Kukurica	Lucerna	HPP*
ČA – čiernica	99,5	87,9	100,0	95,6
ČM – černozem	90,3	83,2	81,9	91,0
LM – luvizem	83,9	74,7	80,3	76,2
FM – fluvizem	73,5	69,2	71,2	67,2
PG – pseudoglej	42,5	35,8	43,3	31,0

*HPP – hrubý poľnohospodársky produkt

Ale ak tie isté vstupné údaje vyhodnotíme len v rámci regionálnych hraníc zistíme, že produkčné predpoklady toho istého pôdneho typu sa výrazne menia podľa špecifických podmienok rozdielnych územných celkov (tab. 2).

Tab. 2 Indexy úrod a HPP na černozemiach (ČM) Podunajskej nížiny

Región / Plodina	Pšenica	Kukurica	Cukrová repa	Lucerna	HPP*
Podunajská nížina	91,0	84,0	81,2	81,3	91,5
Trnavská pahorkatina	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Nitrianska pahorkatina	90,3	81,3	79,7	79,5	93,7
Pohronská pahorkatina	85,9	85,8	78.9	77,9	80,4

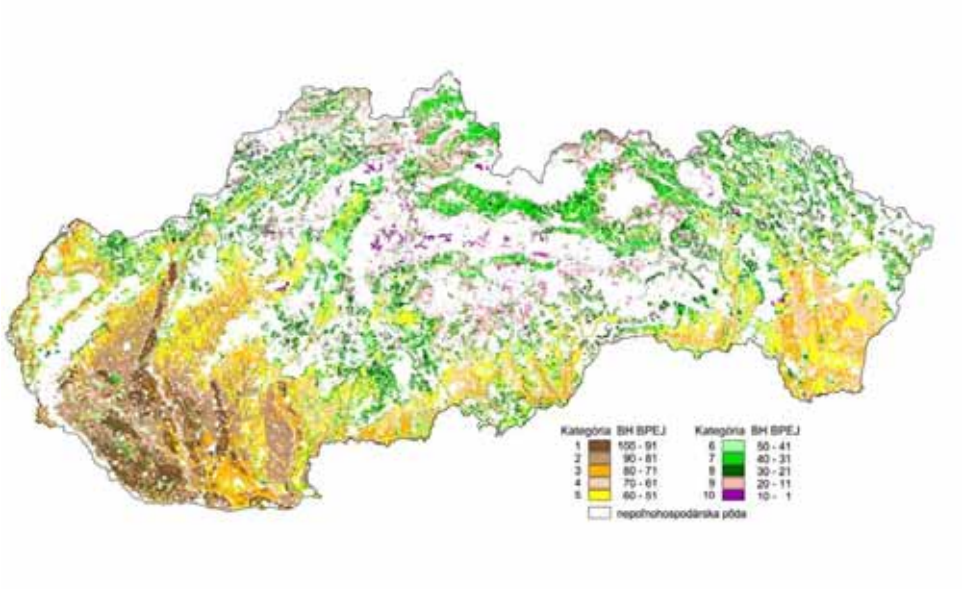
*HPP – hrubý poľnohospodársky produkt

Tieto a nadväzné údaje potvrdzujú, že, výpovedná hodnota pôdnych jednotiek je priamo úmerná nielen počtu analyzovaných a hodnotených pôdnych a prírodných zložiek, ale aj ich vzájomných vzťahov, ktoré priamo podmieňujú aj stupeň produkčného potenciálu konkrétnej pôdnej, resp. územnej jednotky. Vďaka aj takejto logike sme nielen zdôvodňovali, ale aj zdokonalili nové postupy hodnotenia a kategorizácie pôdnoekologických jednotiek (BPEJ) Slovenska, ktoré nevznikli len na základe hodnotenia vlastností pôd, ale aj klímy, svahovitosti a reliéfu územných celkov (Džatko a kol., 1973, 1976, Linkeš, Pestún, Džatko 1996, Džatko, 1989, 1992, 2001, Vilček, 1999).

Konkrétnym výsledkom ich prehodnocovania sú relevantné súbory pôdnoekologických jednotiek, ktoré poskytujú relevantné východiskové podklady nielen pre hodnotenia produkčného potenciálu konkrétnych územných celkov poľnohospodárskych pôd (BH BPEJ), ale aj nových typologicko-produkčných kategórií (TPK), ako aj indexov udržateľných sústav využívania potenciálov pôd a územných celkov na celej výmere poľnohospodárskych pôd Slovenska. Ich odborná výpovednosť bola a je aj v poskytovaní hodnoverných podkladov pre udržateľnú lokalizáciu a kvantifikáciu poľnohospodárskej produkcie, ako aj pre riešenie nadväzných otázok ochrany a udržateľného využívania zdrojov pôdy a krajiny.

Domnievame sa, že preceňovanie analytických a morfogenetických znakov v klasifikácii pôd nie je správne, lebo tieto „konvenčné“ znaky sú len súčasťou veľkého komplexu tých známych a neznámych vlastností, ktoré určujú charakter pôdy ako stanovišťa pre rastliny“ (Džatko, Bedrna 1973). To potvrdzujú aj žiaľ, len veľmi názorne prezentované mapy:

V snahe o názornejšiu dokumentáciu rozdielnosti výpovedných hodnôt pôdnych a pôdno-ekologických jednotiek, stručne demonštrujeme dva príklady nie malých rozdielov priestorovej diferenciácie bodových, čiže produkčných hodnôt (BPEJ) na rozdielnych, ale pritom susediacich pôdnych jednotiek čierníc (BH BPEJ 100-82) a fluvizemí (BH BPEJ) na území Šale (obr. 2), na väčšom území (obr. 3), ako aj príklad dostupných máp typologicko-produkčných kategórií pôd (TPK) na Podunajskej nížine (obr. 3).



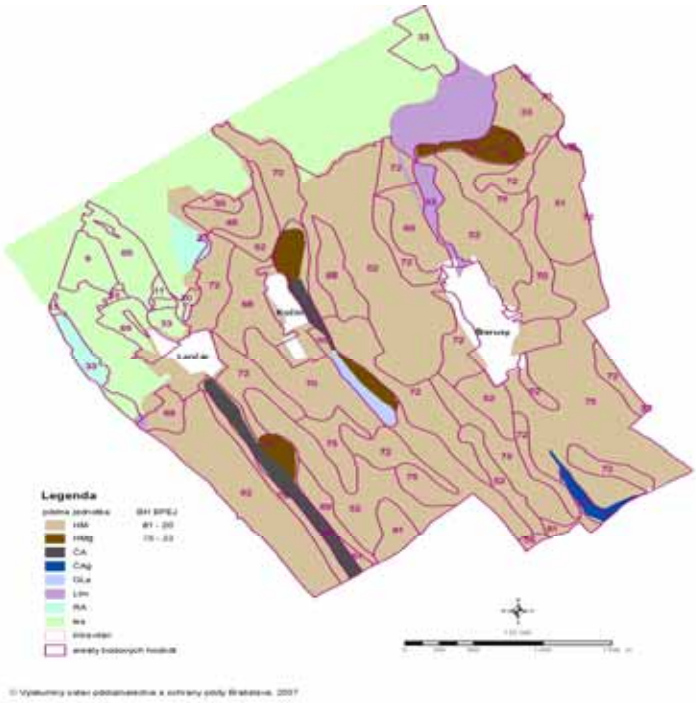
Obr. 1 Produkčný potenciál poľnohospodárskych pôd Slovenska

Obr. 2 Priestorová diferenciácia typologicko-produkčných kategórií (O1 – OT2) na Podunajskej nížine

Pretože poľnohospodárske pôdy nie sú na celej výmere prírodného, alebo územného regiónu, vyjadrujeme jeho potenciál pre poľnohospodárske využívanie súčinom priemernej bodovej hodnoty produkčného potenciálu regiónu a podielom príslušnej výmery poľnohospodárskej pôdy podľa vzorca: (podrobnejšie in Džatko, 2002):

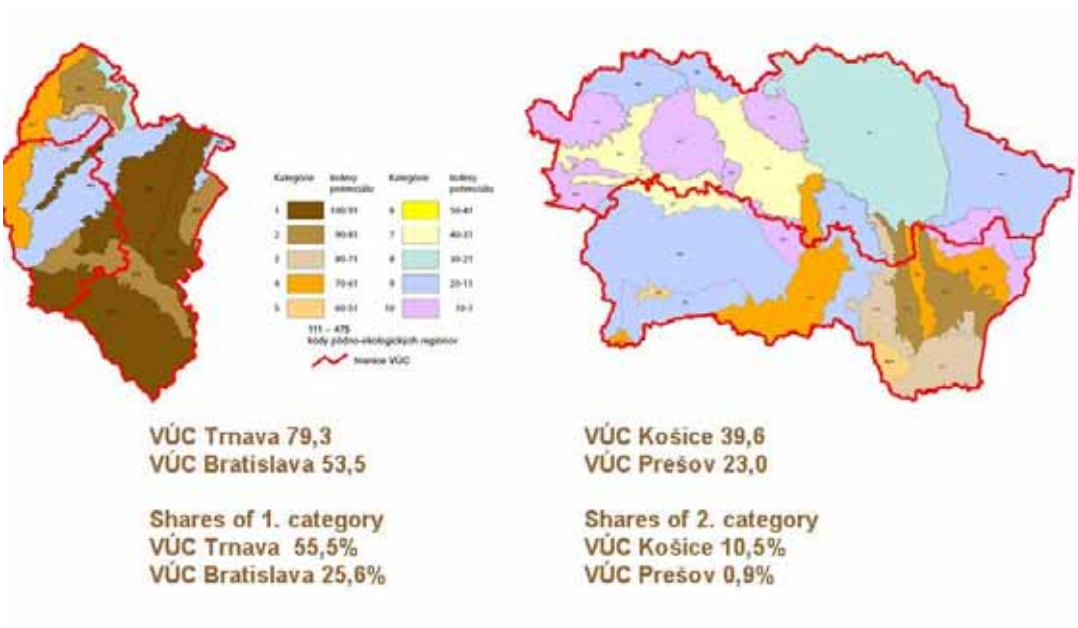
$$IPPV = \frac{BH\ PEJ\ .\ \%\ výmery\ \ poľnohospodárskej\ pôdy}{100}$$

Je to nielen názorný, ale aj výpovedný príklad poznatku, že výpovedná hodnota vhodnosti nielen topických, ale aj regionálnych územných celkov pre poľnohospodárske využívanie nie je podmienená len priemernou hodnotou produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd, ale aj ich výmerou, lebo menší podiel poľnohospodárskej pôdy konkrétnych územných celkov znižuje ich potenciál, ktorý je vyjadrený indexom potenciálu poľnohospodárskeho vyžívania (IPPV) konkrétnych územných celkov (Džatko 1999).

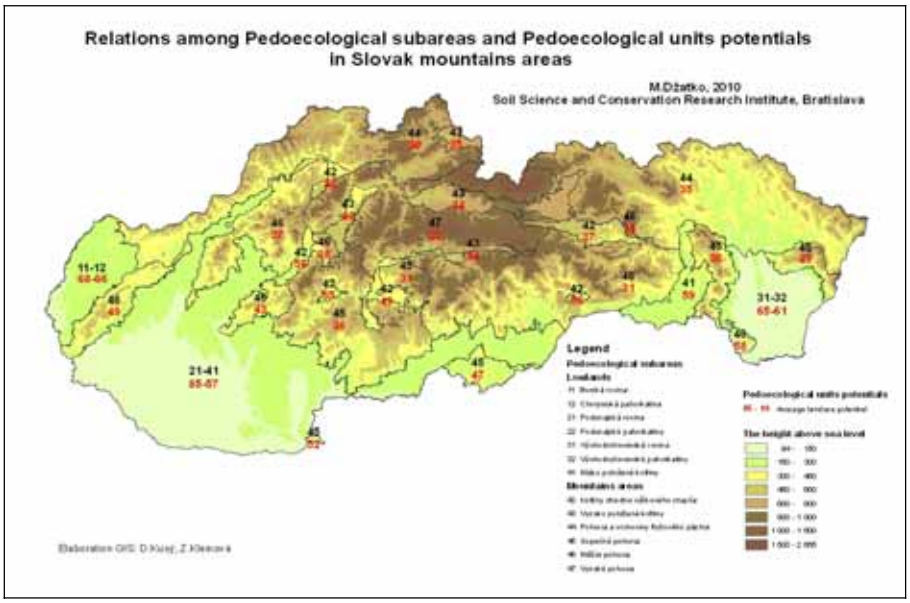


Obr. 3 Výpovedné hodnoty pôdnych jednotiek HM a HMg a príslušných pôdno-ekologických jednotiek na Podunajskej pahorkatine

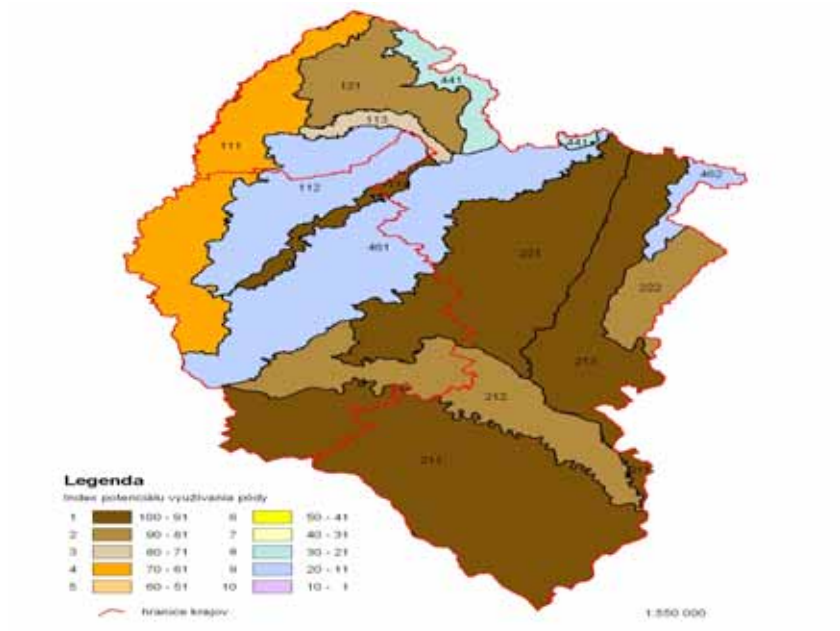
Mapa na obr. 4 konkretizuje výraznú rozdielnosť potenciálov poľnohospodárskeho využívania územia nielen medzi v samosprávnymi krajmi, ale najmä výraznú rozdielnosť potenciálov poľnohospodárskeho využívania pôd vo východnej a západnej časti Slovenska. Je to, presnejšie: mal by to byť východiskový dokument nielen o konkrétnych rozdieloch IPPV v rámci susedných územných jednotiek, ale aj o výrazne rozdielnych rozdieloch IPPV medzi krajmi v západnej a východnej časti Slovenska, ktorý v konkrétnejšom vyjadrení ich významu, mal by byť aj prvoradým východiskovým podkladom aj pre následné modelovanie diferencovaných zásad a postupov rozvoja nielen na topickej, ale aj regionálnej úrovni.



Obr. 4 Indexy potenciálu poľnohospodárskeho využívania krajiny v rozdielnych regiónoch



Obr. 5 Vzťahy medzi pôdnoekologickými regiónmi a potenciálmi pôdnoekologických jednotiek v horských územiach Slovenska



Obr. 6 Potenciál poľnohospodárskeho využívania regiónov VÚC Bratislava, Trnava

2.3 AKO ĎALEJ?

Pretože primárnym cieľom nášho príspevku nie je len prezentácia klasifikácie a hodnotenia pôdnych a pôdnoekolgických jednotiek Slovenska, osmeľujeme sa zaujať postoj aj k názorom prof. Ruellana a vyjadriť sa k budúcnosti pôdoznalectva (c*halenge for the future of soil science*“). Osobitne zdôrazňujeme, že výpovedné rozdiely medzi pôdnymi a pôdnoekologickými jednotkami Slovenska sú evidentne dokumentovateľné a rozdielne. Z tohto hľadiska sa žiada nielen prehodnotiť, ale nadväzne diferencovať a definovať terminológiu „pedologických systémov“, kde by sa do tohto pojmu zakomponovali aj vplyvy iných zložiek prostredia a aktivity by sa nesústreďovali len na morfologické

a fyzikálno-chemické vlastnosti, ale aj na hodnotenie funkčných ekologických vlastnosti pôdnych systémov vrátane ich potenciálov.

Súhlasíme, že primárnym krokom overovania ich výpovednosti by mala byť aj naša snaha o „integritu hodnotiacich a klasifikačných pedologických prístupov“, čo je v súlade s myšlienkami Prof. Ruellana, ale aj našich viac ako 30 ročných skúseností. Avšak v kontexte „mnohorakého“ videnia budúcnosti nemôžeme zanedbať ani otázku, či bude vôľa prehodnotiť výpovedné hodnoty klasifikačných systémov pôd ako výzvu pre budúcnosť pôdoznalectva aj s výpovednými hodnotami našich pôdnych a pôdnoekologických jednotiek?

Našim zámerom je len zdôrazniť, že úspech našich snáh a zámerov je podmienený len správnym stupňom poznávania a rešpektovania vzájomnej integrácie vzťahov medzi všetkými zložkami prostredia, nielen samotnej pôdy. Je to v zhode s názorom Zonnevelda (1966), ktorý tvrdí, že princípom holistického výskumu pôdy a krajiny nie je atribút (vlastnosť), ale pôda a krajina, čiže krajinná jednotka. Čiže, našim primárnym zámerom nie je len snaha prezentovať, ale aj evokovať otázku „Ako ďalej?“ nielen v klasifikácii a hodnotení pôd, ale aj v osvojení si holistickej integrácie klasifikačných a hodnotiacich prístupov.

Nehľadiac na výpovednosť, veľmi zjednodušene a možno aj neodborne vyjadrené poznatky, videnia a aj argumentácie o nevyhnutnosti aplikácie holistickej integrácie vzťahov pôda, prostredie a človek, nemôžem neoceniť tých známych a aj neznámych jednotlivcov, ktorí pochopili nielen úskalia súčasných tendencií, ale aj stavovskú nevyhnutnosť sústrediť pozornosť aj na žiaľ, v minulosti obmedzované konfrontácie medzi tradičnými a holistickými postupmi a metódami hodnotenia a využívania pôd a krajiny ako OIKOSu (spoločného domu).

Literatúra

BEEK K.J., BENNEMA J. 1972. *Land evaluation for agricultural land use planning. An ecological methodology*. Dept. Soil Sci. and Geol., Agric. University, Wageningen, 70p.

BRINKMAN R., SMYTH A.J. (eds). 1973. *Land evaluation for rural purposes*. Summary of an expert consultation, Wageningen, the Netherlands, 6-12 Oct. 1972.

DŽATKO M. 1973. System of Soilecological Units of Slovakia. In: *Papers of the Third Czechoslovak Soil Science Conference* in Nitra, Dom techniky Košice: 81-88.

DŽATKO M. 1974. Metodika a prax vyčleňovania pôdno-ekologických jednotiek. *Studijni informace* 74, 5. ÚVTI Praha, 30 s.

DŽATKO M. a kol. 1976. *Charakteristika bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek SSR, Metodická príručka na využitie máp BPEJ*. MPaV SSR Príroda, Bratislava, 102 s.

DŽATKO M. 1989. Pedoecological, productive and environment aspects of the land use classification in Slovakia. In: *Soil conservation and environment, Proceedings, VIIth Czechoslovak soil science conference*, Piešťany, VCPÚ Bratislava, 208-210.

DŽATKO M. 1992. Kurzer Abriss über die Vegetation (und) Die Klimatische Situation in der Slowakei. In: *Mitt. d.Osterr.Bodenkund.Gess.Heft* 45, Wien, 55-61.

DŽATKO M. 1995. Recent development in land evaluation and sustainable land use planning in Slovakia. In*: Proceedings of Soil Fertility Research Institute* 19/II, Bratislava, 1995, 203-210.

DŽATKO M. 1999. Ekologické a ekonomické aspekty hodnotenia pôd na regionálnej úrovni, *Zemědělská ekonomika*, 45, 1999 (6): 259-262.

DŽATKO M. 2001. Sustainable land use planning in Slovakia. In: *IX. Congress of Croatian Society of Soil Science*, Summaries, Brijuni, 28-29.

DŽATKO M. 2002. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. VÚPOP Bratislava, 87 s.

DŽATKO M., BEDRNA Z. 1973: Uber die Bodenbonitation vom Standpunkt naturwissenchaflich ökologischer Aspekte. In: *Vedecké práce VÚPVR* Bratislava 6, 1908-1916.

DŽATKO M., VILČEK J. 1994. Pedoecological Aspects of the Land Evaluation and Land Use Planning. In: *Mitt. d.Osterr.Bodenkund.Gess*., H.50, Sien, 111-114.

DŽATKO M., VILČEK J. 1995: Ekologické a ekonomické aspekty stratégie usporiadania a využívania produkčného potenciálu pôd. In: *Aktuálne otázky oživenia agrokomplexu,* OVÚA Michalovce, s. 60-70.

FAO 1975. Report on ad hoc expert consultation on land evaluation, Rome, Italy, 6-8 Jan. 1975. *World Soil Resources Report* 45, FAO, Rome, 152p.

FAO 1976. A Framework for Land Evaluation. *Soils bulletin* 32, FAO, Rome.

JURKO A. 1958. *Pôdno-ekologické pomery a lesné spoločenstvá Podunajskej nížiny*. Vyd. VEDA Bratislava, 264s.

KUBIËNA W.L. 1958. The classification of Soils. *Journal of Soil. Sci.,* vol. 9, Issue 1,

LINKEŠ V., PESTÚN V., DŽATKO M. 1996. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek – Príručka pre bonitáciu poľnohospodárskych pôd*. VÚPÚ Bratislava, 103 s.
MICHALKO J., DŽATKO M. 1965. Fytocenologická a ekologická charakteristika rastlinných spoločenstiev. *Biologické práce*, 11/5. Bratislava: SAV, 111s.
MIKLO L., IZAKOVIČOVÁ Z. 1997. *Krajina ako geosystém*. VEDA, Bratislava, 152s.
ODUM E.P. 1977. *Fundamentals of ecology*. Vyd. 1. Academia Praha, 733s.
RUELLAN A. 2002. Classification of pedological systems: a challenge for the future of soil science. *17th WCSS,* 14-21 August 2002, Thailand.
STEWART G.A. (Ed), 1968. *Land Evaluation*. MacMillan, Melbourne, 392 pp.
ŠÁLY R. 1962. *Hlavné typy lesných pôd na Slovensku*. Vyd. SAV Bratislava, 1962, 256 s.
TROLL C. 1971. Landscape Ecology (geoecology) and Biogeocenology – a Terminological Study. *Geoforum,* N.8, Braunschwieg.
TÜXEN R. 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Planzensoziol*., Stolzman/Weser 13: 5-42.
VILČEK J. a kol. 1999. Pôdnoekologické parametre usporiadania a využívania poľnohospodárskej krajiny, (VTP 514-79), VÚPOP Bratislava.
ZONNEVELD I.S. 1966. *Plant Ecology in Integrated Surveys of the Natural Environment.* Dept. Netherlands, 23p.
ZONNEVELD I.S. 1979. *Landscape science and land evaluation*. ITC textbook, Enschede, 134pp.

3. VRCH DOBROČ – SĽUBNÝ OBJEKT ŠTÚDIA PÔDOTVORNÉHO PROCESU POD VPLYVOM ZALESNENIA

3 The Vrch Dobroč – a promising study case of the soil forming process under reforestation influence

Rudolf Šály, Jozef Capuliak, Pavel Pavlenda*

ABSTRAKT
Lesné porasty objektu Vrch Dobroč vznikli zalesnením bývalých poľnohospodárskych pôd v rokoch 1961-1985. V rámci projektu „Kvantifikácia hodnoty vodoochrannej funkcie lesa na príklade vodnej nádrže Málinec“ sa riešila aj otázka tvorby pokrývkového humusu ako odraz drevinového zloženia. V piatich porastoch s rôznym drevinovým zložením (buk, javor, smrekovec a dva krát smrek) sme podľa metodiky Šályho (1994) odoberali a spracovávali pokrývkový humus. Množstvo pokrývkového humusu závisí od humusovej formy, pričom pod listnatými drevinami sa vytvorila priaznivejšia humusová forma moder s chýbajúcim H-horizontom (melina) a pod ihličnatými drevinami humusová forma so zreteľne rozpoznateľným a merateľným H-horizontom, čo súvisí s kyslým opadom ihličia, ktorý spomaľuje rozklad organických látok. Kvalitu pokrývkového humusu sme hodnotili na základe obsahu popola, hodnoty pH a tlmivej schopnosti ako aj celkového obsahu uhlíka. Množstvo popola sa menilo podľa horizontov a drevín od 8,7-38,6 % v L-horizonte, 17,1-27,1% v F-horizonte, a 41,3-50,5 % v H-horizonte. Vyšší obsah popola v H-horizonte je už ovplyvnený minerálnou prímesou, čo potvrdzuje úzke vzťahy medzi humusovým profilom a profilom minerálnej pôdy.
Kľúčové slová: pokrývkový humus, humusová forma, obsah popola, pH, tlmivá schopnosť

ABSTRACT
Forest’s stands at the locality Vrch Dobroč are results an afforestation of agricultural land in 1961-1985. Within the project “Quantification of water protection function of forest next to the dam Málinec” a matter of litter humus formation in relation to the tree species composition was studied. In five forest’s stands with different tree species composition (beech, maple, larch and twice spruce) litter humus horizons were sampled according to Šály methodology (1994) and processed. Amount of litter humus depends on humus type (forest floor type). Under the deciduous trees there was created nutrient-richer litter type moder with better decomposition of humus and therefore OH horizon is missing. On the other hands under the coniferous trees nutrient-poor moder with very distinctly observable and quantifiable OH horizon was created as a result of acid needles, what decreases the decomposition of organic matter. The quality of litter humus was evaluated according to content of ash, pH value, buffer capacity and total carbon content. An amount of ash has been varied in dependence upon horizons and trees from 8,7% up to 38,6% in OL litter horizon, from 17,1 to 27,1% in OF horizon, and from 41,3 to 50,5 % in OH horizon. The higher content of ash in OH horizon is influenced by mineral admixture from mineral horizon what confirms the close relations between litter humus profile and mineral soil one.
Keywords: litter humus, humus type, content of ash, pH, buffering capacity

3.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Napriek značnej nadmorskej výške (750 – 922 m) bol na lokalite Vrch Dobroč v nedávnej minulosti rozľahlý poľnohospodársky pôdny fond a tomuto zodpovedajúce využívanie krajiny. Uznesením bývalého Zboru povereníkov z januára 1960 bolo územie pramenísk Ipľa a Rimavice o rozlohe 26 000 ha vyhlásené za vodohospodársky dôležité. Laznícke usadlosti (bolo ich vyše 1 700), patriace do bývalých okresov Lučenec, Banská Bystrica a Rimavská Sobota, sa mali s postupujúcou

* Prof. Ing. Rudolf Šály, DrSc., Ing. Jozef Capuliak, PhD., Ing. Pavel Pavlenda, PhD., Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, SR, e-mail:capuliak@nlcsk.org

kolektivizáciou poľnohospodárstva a výkupom pôdy redukovať či likvidovať. Zalesnením uvoľnených plôch sa mala pôvodná lesnatosť 29,2 % zvýšiť na 60 %, čo predpokladalo zalesnenie vyše 8 000 ha pôdy. Šimkovič (1980) pri hodnotení 20-ročného úsilia lesníkov konštatoval, že sa napriek rôznym peripetiám, zmenám postupov a vyhlášok zalesnilo 5 166 ha pôdy, vykúpilo 475 usadlostí, vybudovalo 100 km mäkkých a 20 km tvrdých ciest. Lesnatosť územia tak stúpla na 48,9 %. Poľnohospodársku pôdu využívali a spravovali družstvá, zväčša však to bol súkromný sektor, ktorý sa tu dlho udržal. Ľudia spätí s pôdou, bývalí lazníci, rešpektovali prírodné, zväčša pôdne pomery. Využívali odlesnené plochy ako ornú pôdu, lúky a pasienky. Tieto tri skupiny pôdneho fondu sa odlišovali aj pôdnymi vlastnosťami.

Dnes po uplynutí skoro pol storočia, možno jej výsledky hodnotiť pozitívne. Úsilie celej generácie lesníkov bolo aj zo širšieho hľadiska jedinečné a dúfame, že ho budúcnosť náležite ocení. Zalesnené územie možno a treba využívať aj pre výskumné ciele. V nedávnej minulosti odborná komisia vybrala na LZ (Lesný závod) Kriváň – lesná správa Divín, objekt Vrch Dobroč, na ktorom sa na ploche 283 ha zriadil výskumný a demonštračný objekt. Jeho porasty boli vyhlásené za lesy osobitného určenia. Porasty objektu vznikli zalesnením bývalých poľnohospodárskych pôd v rokoch 1961-1985. MLVH SSR vydalo pre tento objekt samostatný štatút, ktorý vstúpil do platnosti 1.1.1984. Podľa tohto štatútu riadiacim, koncepčným a kontrolným orgánom výskumného a demonštračného objektu bola osemčlenná komisia, ktorej členmi boli zástupcovia ministerstva, podnikového riaditeľstva, VÚLH, VŠLD, LZ Kriváň, Lesprojektu a zamestnanec PRŠL v Banskej Bystrici, tzv. koordinátor. Objekt úspešne začal svoju činnosť, založili sa rôzne výskumné plochy (rôzne zmesi drevín, sponové plochy atď.), slúžil odbornej verejnosti ako objekt ako študijný objekt lesných porastov. Po organizačných zmenách ministerstva, podnikového riaditeľstva, VÚLH, VŠLD v rokoch 1990-1995 sa činnosť objektu utlmila a prakticky zanikla. V hospodárskom pláne na roky 2001-2010 sú porasty objektu kategorizované ako lesy hospodárske.

Objekt Vrch Dobroč má teda svoju poľnohospodársku minulosť. Významnou je otázka, ako dlho trvalo poľnohospodárske využívanie daného územia. Presná odpoveď nie je známa, domnievame sa, že 300 až 400 rokov. Odlesnenie začalo v 16. storočí, teda v treťom období minulosti našich lesov podľa Kavuljaka (1942), v spojitosti s valašskou kolonizáciou i tureckou expanziou. Prvá písomná zmienka o neďalekej obci Látky pochádza z roku 1734 a o osade Čechánky z roku 1730.

3.2 PRÍRODNÉ POMERY

3.2.1 Geologicko-geomorfologická situácia

V starších prácach sa miestne podložné horniny označovali ako žuly. Biely *et al.* (2002) uvádza porfyrické granodiority až granity a biotické tonality až granodiority. V našom objekte sa vyskytujú hlavne prvé horniny. Nadmorská výška územia objektu je 800 – 922 m (lokalita Surovina). Lukniš a Mazúr (1986) vyhraničujú jednotku Sihlianska planina ako podcelok geomorfologickej jednotky Veporské vrchy. Táto je zvyškom neogénnej plošiny a siaha až po obce Látky a Sihla. Tak ako v iných častiach Slovenska, aj tu sa človek ukázal ako petrograf. Dosť presne vystihol hranice slienitých hornín a znížil hranicu lesa až na 900 m (slienité horniny obsahujú málo skeletnaté zvetraliny). V záujmovom území človek odlesnil hlavne tie časti, ktoré obmedzovali alebo zamedzovali orbu, teda príliš svahovité a skeletnaté pôdy. Existencia mierne svahovitého až dokonca rovinatého reliéfu bola okolnosťou, ktorá rozhodla, že sa práve tu osídľovalo, hoci pri výške 1000 m a pevných horninových podložiach je kolonizácia nezvyklá.

3.2.2 Klimatické faktory

Klímu môžeme charakterizovať dlhodobými priemermi pre obec Látky. Nachádza sa v 10 – 15 km vzdialenosti na plošine a jej stred je vo výške 810 m. Priemerná ročná teplota je 5 °C, priemerná júlová teplota je 15 °C, priemerná januárová -6 °C a ročné zrážky predstavujú 920 mm. Prevažujú však teplé JV a JZ svahy a podľa známych poznatkov sa na južný svah voči severnému dostáva v týchto pomeroch skoro trikrát viac žiarivej energie. Teplé južné svahy sú ovplyvnené i teplou klímou Juhoslovenskej kotliny, čo sa zrejme prejavovalo aj na existencii a raste niektorých tunajších poľnohospodárskych kultúr (raž, ovos, jačmeň atď.).

3.2.3. Typologické pomery

V LHP objektu Vrch Dobroč na roky 2001-2010 nachádzame pri popisoch porastov uvedené aj lesné typy. Stalo sa tak na základe fytocenologickej indikácie porastov žrďovín či kmeňovín, porastov vzniknutých pri zalesnení v rokoch 1960-1970, či analogickou rekonštrukciou zo zvyškov okolitých lesov. Na porastovej mape objektu je zaznačených 60 dielcov. Väčšinou sú zaradené podľa živného radu do skupiny *Fagetum typicum* (typy 4311, 4312, 4313). Len malá časť patrí do radu B/C (*Fagetum tiliosum*, typy 4401, 4403, skeletnaté pôdy)

3.2.4. Pôdne pomery

Zostavenie tejto podkapitoly sa opiera o výsledky Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd (KPP), ktorý sa vykonal v roku 1967. V tej dobe územie lokality Vrch Dobroč a Surovina ešte nebolo vykúpené, patrilo do súkromného sektora a poľnohospodárskeho pôdneho fondu.

V prácach pedológov pred rokom 1980 sa na tomto území nespomínala paleopôda na rozdiel od geomorfológov, ktorí tu už dávnejšie identifikovali prvky starej plošiny. Výskyt zvyškov neogénnej plošiny má však významné pedologické dôsledky. Čím menšia sklonitosť územia, tým horšie podmienky pre vtedajšiu soliflukciu, ktorá hrala pri vývoji mnohých našich pôd významnú úlohu. Čím menší sklon, tým lepšie podmienky pre konzerváciu starých pôd a zvetralín. Takéto pôdy sa zachovali na planine a ich zvyšky, či materiál z nich, môžeme dnes nájsť pri Látkach, pri Lome nad Rimavicou, Sihle, alebo aj v Dobročskom pralese.

V tomto území nachádzame lokality, kde sú kryštalické horniny hlboko zvetrané (až niekoľko metrov). V teréne sa možno oprieť o dva pôdoznalecké znaky, a to menšiu skeletnatosť a výrazný podiel prachu. Kým würmsko-holocénne zvetraliny a pôdy z granodioritov obsahujú 20 – 50 % skeletu, sú teda stredne štrkovité či stredne kamenité, staršie zvetraliny, či pôda s výraznejšou prímesou staršieho materiálu, majú len pod 20 % skeletu, sú slabo skeletnaté. Okrem toho staršie pôdy obsahujú významný podiel prachu. Obsah prachu tvoril pri 5 výberových sondách bývalého súkromného sektora vo vrchných 50 cm pôdy 24 – 33 %, pričom priemer z 12 vzoriek je 26 %. Pôdy s obsahom hrubého ílu (častice < 0,01 mm) 20 – 25 % sú podľa Novákovej stupnice piesočnato-hlinité. Mladšie pôdy sú hlinito-piesočnatej textúry.

Pri KPP v roku 1967 sa tieto pôdy klasifikovali ako hnedé pôdy podzolované. Podkladom pre toto klasifikačné zaradenie bola nízka hodnota pH/KCL (4 – 4,6) a nízky stupeň nasýtenia (V < 30 až negatívne hodnoty). Toto zaradenie sa prenieslo aj na neskoršie pôdne mapy 1:500 000, 1:400 000. Na mape Šályho a Šurinu (2002) je znázornená jednotka K8 „kambizeme podzolované“. Lesnícki typológovia vo zvyškoch okolitých lesov klasifikovali prevažne hnedé lesné pôdy mezotrofné, na viac prekremenených varietach hornín hnedé lesné pôdy oligotrofné.

Medzi klasifikačným zaradením pôdy z Komplexného prieskumu pôd a výskytom lesných typov je rozpor. Poľnohospodárski pôdoznalci označili tieto pôdy ako hnedé pôdy podzolované, lesnícki pedológovia ako hnedé lesné pôdy mezotrofné, čomu odpovedá i fytocenologické spoločenstvo a živný rad. Podzolovanosť nemá oporu v morfológii. Poľnohospodárskym užívaním bola zemina vrchných vrstiev buď zmiešaná alebo zahumóznená. Výmenné pH 4 – 4,6, ktoré pri HP vtedajšia metodika uvažovala, nie je pri hnedých lesných pôdach nič výnimočné. Táto chyba bude zrejme v krátkej budúcnosti opravená a komplex K8 snáď bude v polohách do 900 –1 000 m nahradený komplexom K6.

3.3 CIEĽ A METODIKA PRÁCE

Existencia takého objektu ako je Vrch Dobroč umožňuje skúmanie rôznych procesov, rozdielov a zmien, ktoré sa vyskytujú medzi bezlesným a zalesneným územím. V rámci našich pracovných a finančných možností predkladáme príspevok, ktorým chceme upozorniť mladších kolegov, že prinesie aj ďalšie zásadné objasnenie otázok vplyvu lesa na pôdu v našich pomeroch, v rôznych podmienkach reliéfu a histórie plôch.

Drugda (1980) vo svojej správe uvádza 323 plôch s rozlohou 234 ha na zalesnenie, pri ktorých sa použilo 17 druhov drevín. Viaceré z nich boli poškodené po výsadbe snehom, suchom, živočíšstvom, atď. Keďže ďalší osud zalesnených plôch pozmenil pôvodnú drevinovú skladbu, výrazne dominujúcou drevinou je v súčasnosti smrek, naň pripadá 50 % plochy. Ihličnatých drevín je celkove 85 %

a listnatých drevín je 15 %. Pre náš výskum sme použili 5 modelových porastov. Ich charakteristiku udáva tab. 1.

V dňoch 29. a 30. septembra 2009 sme upravenou metódou popísanou v práci Šályho (1994) v päťnásobnom opakovaní odobrali vzorky z vrstiev nadložného humusu a horizontu A. Spolu bolo odobraných 90 vzoriek. Poznamenávame, že v listnatých porastoch nebola vytvorená vrstva meliny. Odobraté vzorky sa vysušili v laboratóriu pri 105° C. Stanovilo sa množstvo hygroskopickej vody a pôdna reakcia (pH vo vode a v $CaCl^2$). Vzorky z jednej lokality sa potom zmiešali a v tejto priemernej vzorke sa určilo množstvo popola (460°C), celkový uhlík (analyzátorom NCS – flash 1112) a tlmivosť (pomocou 0, 1 NHCl).

Tab. 1 Charakteristika odberných plôch

Drevina	Dielec	Plocha	Nadm. výška	Expozícia, sklon %	LT	Porast	Zemina A horizontu	Poznámka
sm	172	302	820	JZ, 20	4312	Sm 10, 37 ročný, výška 22 m	PH Granodioritový štrk 15%	
sm	170	267	805	SV, 20	4312 80% 4313 20%	Sm 10, 39 ročný, výška 18 m	PH Granodioritový štrk 20 %	Prirodzené zmladenie 20% plochy
smc	159	149	835	JZ, 15	4312	Smc 10, 37 ročný, výška 22 m	PH Granodioritový štrk 15%	
bk	173	306	800	JZ, 15	4312	bk 10, 37 ročný, výška 15 m	PH Granodioritový štrk 10-15%	Stopy po bývalej orbe
jvh	154	36	860	JZ, 15	4312	jvh 10, 36 ročný, výška 12 m	PH Granodioritový štrk 10-15%	Podsadby ohryzenej 15-ročnej jedle

Vysvetlivky: sm – smrek, smc – smrekovec, bk – buk, jvh - javor

3.4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Zistené výsledky o kvantite a čiastočne aj o kvalite (pH, popol) organických látok sme sumarizovali do tab. 2. Ak ju porovnáme s údajmi uverejnenými v práci Šályho (1994), treba v prvom rade poznamenať, že v nej ide o porasty staršie, teda vývojové štádia, ktoré porasty z lokality Vrch Dobroč v budúcnosti ešte len čakajú. Upozorňujeme najmä na rozdiely medzi ihličnatými a listnatými drevinami. Tieto sa zhodujú s predpokladmi, ktoré nájdeme v lesníckej literatúre (Fischer, Binkley 2000). Pri smrekových porastoch vidíme horšiu situáciu na chladnejšej (SV) expozícii.

Pri zalesňovaní zrejme nebolo cieľom založiť monokultúry, hoci vývoj na zalesnených plochách viedol k posilneniu postavenia smreka. Podľa súčasnej situácie tunajšie porasty nie sú porasty zmiešané, ale vlastne monokultúry. Podľa terminológie pestovania lesov môže ísť o plošné zmiešanie, lebo výsadby jednotlivých drevín tu majú plochu zväčša nad 5 árov.

Obsah popola odráža blízkosť minerálnej zeminy. Prekvapuje vysoká popolnatosť materiálu z horizontu Of. Môže ísť aj o metodickú chybu. Naše údaje potvrdzujú v podstate známe Wittichove údaje o kvalite ihličia či lístia študovaných drevín. Nepotvrdzujú však mienku o kvalite ihličia smrekovca, ktorý podľa našich údajov poskytol lepšie výsledky ako smrek. V tab. 3 prinášame výsledky zo skúmania vplyvu umelého zakyslenia na nadložný humus študovaných pôd. Ide o starší spôsob skúmania, ktorý použil už Hesselmann v r. 1926 a po ňom viacerí lesnícki pôdoznalci. Žiada sa podotknúť, že ak by sme zmeny, ktoré sú v tabuľke vyjadrené ako desatiny či stotiny pH jednotiek, vyjadrili v našich bežných číslach, sú to veľmi prenikavé rozdiely. Najmä nadložný humus z ihličnatých porastov má nízky obsah tlmivých zlúčenín.

Tab. 2 Množstvo nadložného humusu a obsah popola

Drevina	Plocha	Horizont	pH		Objemová hmotnosť ($g.m^{-3}$)	Hmotnosť ($t.ha^{-1}$)	Popol (% sušiny)
			H_2O	$CaCl^2$			
sm	302	Ol	5,07	4,33	1167,5	**49,73**	13,6
		Of	5,28	4,68	1302,1		17,1
		Oh	5,07	4,25	2504,0		50,5
		A	4,75	3,92			86,7
sm	267	Ol	5,17	4,21	1365,2	**38,00**	21,6
		Of	5,11	4,32	1179,8		27,1
		Oh	4,96	4,11	1254,6		47,6
		A	4,89	3,91			75,9
smc	149	Ol	5,05	4,3	841,3	**34,94**	8,7
		Of	4,95	4,17	1173,2		14,8
		Oh	4,6	3,87	1480,2		41,3
		A	4,54	3,7			62,5
bk	306	Ol	5,56	4,94	1004,3	**31,50**	38,6
		Of	5,7	5,01	1146,0		50,0
		A	5,51	4,71			87,7
jvh	36	Ol	5,31	4,81	590,7	**16,64**	10,1
		Of	5,14	4,61	1073,5		21,3
		A	5,1	4,32			76

Tab. 3 pH a tlmivosť humusu

Drevina	Plocha	Horizont	Popol (% sušiny)	pH/H_2O	pH po pridaní HCl (ml)			
					2	10	20	30
sm	302	Ol	13,6	5,07	4,0	2,72	2,19	1,96
		Of	17,1	5,28	4,38	3,29	2,49	2,16
		Oh	50,5	5,07	3,25	2,47	2,18	2,06
		A	86,7	4,75	3,29	2,56	2,21	1,95
sm	267	Ol	21,6	5,18	3,49	2,5	2,12	1,91
		Of	27,1	5,11	3,83	2,8	2,25	1,98
		Oh	47,6	4,96	3,45	2,52	2,12	1,93
		A	75,9	4,89	3,49	2,7	2,18	1,94
smc	149	Ol	8,7	5,05	4,2	2,98	2,48	2,19
		Of	14,8	4,95	3,69	2,81	2,29	2,04
		Oh	41,3	4,6	3,53	2,59	2,19	1,93
		A	62,5	5,54	3,3	2,73	2,2	1,96
bk	306	Ol	38,6	5,56	3,99	2,77	2,39	2,05
		Of	50,0	5,7	3,99	2,79	2,35	2,01
		A	87,7	5,51	3,5	2,54	2,2	1,94
jvh	36	Ol	10,1	5,35	4,37	3,3	2,7	2,43
		Of	21,3	5,14	4,09	3,19	2,59	2,23
		A	76	5,1	3,35	2,78	2,18	1,94

Metodická chyba môže vyplývať aj z toho, že metodika odberu vzoriek nadložného humusu lesných pôd je dosiaľ málo prepracovaná a nie je unifikovaná. Heterogénnosť vrstiev nadložného humusu je všeobecne známa. Napr. v ihličnatých porastoch je viacero maxím padania ihličia. Za optimálne sa pokladá v našich podmienkach koniec augusta až september (pred padaním lístia). Vzhľadom na rozdelenie korún porastu, mozaikovitosť bylinnej prikrývky, premiestňovanie opadu vetrom, vodou a živočíchmi, rozdiely v látkovej premene pri rozdielnom osvetlení atď., musí mať za následok veľa odlišností ako v horizontálnom tak i vertikálnom smere. Svahovitosť a nerovnomernosť zemského povrchu túto skutočnosť ďalej znásobuje. Na variabilitu údajov poukazuje tab. 4.

Tab. 4 Štatistické zhodnotenie

Drevina	Plocha	Horizont	Aritmetický priemer	Smerodajná odchýlka	Variabilita	Vyb. chyba	Medián
sm	302	Ol	129,72	31,66	24,41	14,16	128,9
		Of	144,71	62,93	42,8	27,7	122,41
		Oh	278,22	126,82	45,58	56,72	208,01
		A	178,99	33,63	18,79	15,04	179,53
sm	267	Ol	151,69	56,79	37,44	25,40	132,48
		Of	131,08	41,43	31,61	18,52	116,05
		Oh	139,40	17,25	12,37	7,71	131,97
		A	163,67	80,32	49,08	35,92	176,09
smc	149	Ol	93,48	9,09	9,72	4,06	93,66
		Of	130,35	56,36	43,24	25,21	102,68
		Oh	164,47	81,39	49,48	36,40	139,38
		A	50,04	14,37	28,71	6,42	53,51
bk	306	Ol	111,59	46,78	41,92	20,92	86,24
		Of	127,33	56,47	44,35	25,25	104,34
		A	297,99	32,39	10,86	14,48	286,69
jvh	36	Ol	65,63	14,80	22,55	6,61	60,72
		Of	129,72	31,66	24,41	14,16	128,9
		A	144,71	62,93	42,8	27,7	122,41

Štatistické zhodnotenie množstva nadložného humusu poukazuje jednak na vysokú variabilitu aj v rámci jednej plochy ako aj na skutočnosť, že pod ihličnatými porastmi sa ťažšie rozkladá kyslejší ihličnatý opad, čo spôsobuje hromadenie pokrývkového humusu a vytváranie nepriaznivejšej humusovej formy. Túto skutočnosť dokazuje aj vytvorený H horizont (melina).

3.5 ZÁVER

V obvode LZ Kriváň, LS Divín vznikol v r. 1984 demonštračný objekt Vrch Dobroč o rozlohe 234 ha. Vznikol zalesnením plochy, ktorá bola približne 300 rokov poľnohospodársky využívaná. Územie predstavuje zvyšok neogénnej plošiny. V práci podávame výsledky skúmania nadložného humusu v 40 ročných porastoch smreka, smrekovca, buka a javora horského. Za túto dobu na nahromadilo v porastoch 16,6 – 49,7 $t.ha^{-1}$ nadložného humusu. V porastoch listnatých drevín bola zreteľne vyššia hodnota aktívnej i výmennej reakcie v A horizontoch ako aj tlmivá schopnosť. Naproti tomu v ihličnatých porastoch sa vytvorili hrubšie horizonty pokrývkového humusu s nižšími hodnotami pôdnej reakcie ako dôsledok zakysľovania spôsobený kyslejším opadom ihličia. Lokalita na Vrch Dobroči potvrdzuje priaznivejší vplyv listnatých porastov na premenu organických látok a ich postupné zakomponovanie do pôdy ako je tomu pod ihličnatými porastmi.

Poďakovanie

Realizácia tohto príspevku bola podporená finančnými prostriedkami z grantovej agentúry MŠ SR a SAV VEGA, č. projektu: 1/0634/08 „Kvantifikácia hodnoty vodoochrannej funkcie lesa na príklade vodnej nádrže Málinec“.

Literatúra

BEDRNA Z., KOŠŤÁLIK J. 1999. *Klasifikácia fosílnych pôd a pôdnych sedimentov*. Edičné stredisko VÚPOP, Bratislava, 40 s.

DRUGDA O. 1980. *Demonštračný objekt Vrch Dobroč, LZ Kriváň, LS Divín – popis plôch 1.1.1980*. Rukopis, Lesprojekt Zvolen, 19 s.

FISHER R., BINKLEY D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. John Wiley & sons New York, 3rd edition, 490 pp.

KARPAČEVSKIJ L.O. 1977. *Pestrota počvanogo pokrova v lesnom biogeocenoze.* Jzd. Moskovskogo universiteta, Moskva, 312 s.

KAVULJAK A. 1942. *Dejiny lesníctva a drevárstva na Slovensku*. LDÚ, Bratislava, 222 s.

KOLEKTÍV AUTOROV 1968. *Pôdoznalecký prieskum ČSSR, záverečná správa, JRD Dobroč + SS, JRD Dobročská Lehota + SS*. Laboratórium pôdoznalectva, Bratislava, 22 s.
KOLEKTÍV AUTOROV 1968. *Pôdoznalecký prieskum ČSSR, záverečná správa, JRD Cinobaňa, MNV Cinobaňa*. Laboratórium pôdoznalectva, Bratislava, 24 s.
KOLEKTÍV AUTOROV 1977. *Vlastivedný slovník obcí na Slovensku*. 2. diel., Veda, Bratislava, 517 s.
KOLEKTÍV AUTOROV 1990. *Prehľad typologických jednotiek Slovenska.* Lesprojekt Zvolen, 25 s.
KOLEKTÍV AUTOROV 2000. *Lesný hospodársky plán 2001-2010, časť Vrch Dobroč, LS Divín, OLZ Kriváň*. Lesprojekt Zvolen, Porastová mapa 1:10 000.
KOLEKTÍV AUTOROV 2002. *Atlas krajiny SR*. 1. vydanie, Banská Bystrica, SAŽP, 344 s.
KOŠÚTOVA E. 1989. *Zalesňovanie nelesných pôd VHO Ipľa a Rimavice na území LZ Kriváň*. Záverečná práca PGŠ. Katedra krajinárstva a ochrany lesa. LF VŠLD Zvolen, 36 s.
SLÁVIK D. *et al.* 2002. *Dobročský prales*. ÚVVP LVH SR Zvolen, 92 s.
ŠÁLY R. 1994. Nadložný humus pôd niektorých ŠPR. *Acta Facultatis Forestalis* Zvolen, Slovakia, XXXVI, 9-25.
ŠÁLY R., ŠURINA B. 2002. Pôdy – mapa 78, 1:500 000. In: *Atlas krajiny SR.* 1. vydanie SAŽP, Banská Bystrica.
ŠIMKOVIČ G. 1980. Výsledky dvadsaťročného úsilia v zalesňovaní vodohospodársky dôležitej oblasti Ipľa a Rimavice. Č*asopis Les*, ročník XXXVI, Bratislava, 385-389.

4. ^{13}C NUKLEÁRNA MAGNETICKÁ REZONANCIA – ÚČINNÝ NÁSTROJ CHEMICKEJ CHARAKTERISTIKY HUMÍNOVÝCH KYSELÍN

4 ^{13}C nuclear magnetic resonance – an effective tool of chemical characteristics of humic acids

Gabriela Barančíková*

ABSTRAKT
V súčasnosti sa do popredia záujmu pri štúdiu detailnej chemickej štruktúry humusových látok dostáva metóda nukleárnej magnetickej rezonancie (NMR), ktorá okrem kvalitatívnej analýzy poskytuje aj pomerne presnú kvantitatívnu analýzu. ^{13}C NMR je jednou z najpoužívanejších spektrálnych techník, ktorá umožňuje kvantitatívne stanovenie jednotlivých typov uhlíka v štruktúre pôdnej organickej hmoty Na Slovensku sme začali ^{13}C NMR využívať pri monitorovaní zmien detailnej charakteristiky humínových kyselín (HK) v rámci Monitoringu pôdnej organickej hmoty od roku 1994. ^{13}C NMR spektrá. V tomto príspevku sú zosumarizované poznatky o zastúpení rôznych štruktúr uhlíka HK rôznych pôdnych typov na základe komplexného hodnotenia ^{13}C NMR spektier a z nich odvodených parametrov v priebehu 15-ročného monitorovacieho obdobia. Humínové kyseliny boli izolované z rôznych pôdnych typov (fluvizem, černozem, čiernica, andozem, hnedozem, regozem, pseudoglej, kambizem, rendzina a ranker) orných pôd a trvalých trávnych porastov, ktoré reprezentujú základnú škálu pôdnych typov Slovenska všetkých agroklimatických oblastí. Výsledky aplikácie spektroskopickej metódy nukleárnej magnetickej rezonancie pri detailnej charakteristike pôdnej organickej hmoty dokazujú, že ^{13}C NMR spektrá sú užitočným nástrojom pri štúdiu rozdielov v kvantitatívnom zastúpení organického uhlíka v jednotlivých chemických štruktúrach pôdnej organickej hmoty rozdielnych pôdnych typov. Viaceré parametre vypočítané z týchto spektier (% alifatického a aromatického uhlíka, stupeň aromatizácie) sú dostatočne citlivé aj na sledovanie mineralizačných, resp. humifikačných procesov prebiehajúcich v POH v priebehu monitorovacieho obdobia.
Kľúčové slová: nukleárna magnetická rezonancia ^{13}C, pôdne typy, humínové kyseliny, monitoring

ABSTRACT
In present time nuclear magnetic resonance (NMR) is one of the most important method at detail study of humic substances chemical structure, because NMR beside qualitative analyse can provide relatively exact quantitative analyse. ^{13}C NMR is one of most useful spectral technique which allows quantitative determination of individual carbon type in soil organic matter structure. In Slovakia ^{13}C NMR started to use at monitoring of detail changes of humic acids characteristics in Monitoring of soil organic matter since the 1994. In this contribution knowledge summarization about representation of different carbon structure of humic acids on the basis complex evaluation ^{13}C NMR spectra and their calculated parameters during 15 years period are presented. Humic acids were isolated from different soil types (Fluvisol, Chernozem, Mollic Fluvisol, Andosol, Regosol, Cambisol, Dystric Planosol, Rendziic Leptosol, and Ranker) arable soils and pasture which represent basic scale of Slovak soil types of different agroclimate regions. Receiving data show that ^{13}C NMR is useful instrument at study of differences in quantitative representation of organic carbon in individual chemical structures of soil organic matter of different soil types. The most parameters calculated from ^{13}C NMR spectra (% of aliphatic and aromatic carbon, aromatic degree) are enough sensitive for determination of mineralization or humification process in soil organic matter during monitoring period.
Key words: nuclear magnetic resonance ^{13}C, soil types, humic acids, monitoring

---

* RNDr. Gabriela Barančíková, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, Regionálne pracovisko Prešov, Raymannova 1, 080 01 Prešov, SR, e-mail: g.barancikova@vupop.sk

4.1 ÚVOD

Pôdna organická hmota (POH) je najväčšou zásobárňou uhlíka ako aj ostatných biogénnych prvkov v pôdnom prostredí. Obsah a kvalita POH ovplyvňuje úrodnosť pôd, ale zúčastňuje sa tiež na mimoprodukčných, hlavne ekologických funkciách pôdy a je súčasťou všetkých minimálnych súborov indikátorov komplexne hodnotiacich kvalitu pôdy na základe pôdnych funkcií (Brejda a kol., 2000). Medzi tri základné skupiny humifikovanej frakcie POH patria aj humínové kyseliny (HK), ktoré zohrávajú dôležitú úlohu pri viacerých procesoch prebiehajúcich v pôde. Je to spôsobené predovšetkým vyššou sorpčnou schopnosťou humínových kyselín ako fulvokyselín (Lombardini, 1994), čo dokumentujú aj viaceré naše práce (Barančíková a kol., 1997, Barančíková, Makovníková, 2003, Dercová a kol., 2005, Makovníková a kol., 2006). Sorpčný charakter HK je ovplyvnený jej komplexnou chemickou štruktúrou a je značne odlišný v závislosti od pôdneho typu. Z uvedeného dôvodu je mimoriadne dôležité detailne poznať chemickú štruktúru humínových kyslín, ktorá je extrémne komplikovaná.

Metódy, používané pri analýze humínových látok môžeme rozdeliť na:

- degradačné (oxidácia, hydrolýza, rádiochemický a biologický rozklad);
- nedegradačné (spektrofotometria v ultrafialovej, viditeľnej a infračervenej oblasti, elektrónová paramagnetická rezonancia, röntgenová analýza a nukleárna magnetická rezonancia).

V súčasnosti sa do popredia záujmu pri štúdiu štruktúry humusových látok stále častejšie dostáva metóda nukleárnej magnetickej rezonancie (NMR), ktorá okrem kvalitatívnej analýzy poskytuje aj pomerne presnú kvantitatívnu analýzu. Pri štúdiu štruktúry humusových kyselín je v súčasnosti jednou z najpoužívanejších spektrálnych techník nukleárna magnetická rezonancia uhlíka ^{13}C, ktorá umožňuje kvantitatívne stanovenie jednotlivých typov uhlíka v štruktúre pôdnej organickej hmoty (Mathers a kol., 2000).

Napriek tomu, že NMR bola objavená pred 60-tymi rokmi (1946), až v 60-tych rokoch minulého storočia sa začala vo väčšom rozsahu využívať v organickej chémii a biochémii (Preston, 1996). Rutinné využívanie NMR pri takých komplikovaných štruktúrach ako sú humusové látky (HL) sa začalo využívať až v 80-tych rokoch 20-teho storočia a je plne uznávanou technikou pre štúdium HL (Pansu a Gautheyrou, 2006). Na Slovensku sme začali ^{13}C NMR využívať pri monitorovaní zmien detailnej charakteristiky humínových kyselín v rámci Monitoringu pôdnej organickej hmoty od roku 1994.

Cieľom tohto príspevku je poukázať na rozdiely v zastúpení rôznych štruktúr uhlíka HK rôznych pôdnych typov na základe komplexného hodnotenia ^{13}C NMR spektier a z nich odvodených parametrov.

4.2 MATERIÁL A METÓDY

4.2.1 Odber pôdnych vzoriek

^{13}C NMR spektrá humínových kyselín sa v rámci Monitoringu POH merajú v pravidelných 3, neskôr 5 ročných intervaloch od roku 1994. Humínové kyseliny sa izolujú štandardnou IHSS metódou (Hayes, 1985), z ornice (hĺbka 0-10 cm) na 15 kľúčových lokalitách v rámci monitorovacej siete (obr. 1). V tejto práci budeme podrobne hodnotiť aktuálne ^{13}C NMR spektrá humínových kyselín izolovaných zo štyroch lokalít (dve lokality sú orné pôdy a dve lokality sú trvalé trávne porasty), ktoré reprezentujú rozdielne pôdne typy Slovenska rozdielnych agroklimatických oblastí (obr. 1). Základné aktuálne charakteristiky POH vybraných kľúčových lokalít, na ktorých boli merané ^{13}C NMR spektrá sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Základné charakteristiky POH vybraných kľúčových lokalít (hodnoty POC, pomer uhlíka humínových a fulvokyselín (Chk/Cfk) a optický parameter $^{4}_{6}Q$) zatiaľ posledného odberu, pri ktorom boli merané ^{13}C NMR spektrá humínových kyselín

Kľúčová lokalita	Pôdny typ	Kultúra	rok	POC (%)	Chk/Cfk	$^{4}_{6}Q$
Nacina Ves OP	Fluvizem glejová (FM_G)	OP	2009	2,0	0,3	4,9
Voderady	Černozem ($ČM^c$)	OP	2009	2,5	1,3	4,1
Donovaly	Rendzina (RA)	TTP	2007	14,3	0,5	7,1
Sitno	Andozem (AM)	TTP	2007	10,4	0,8	5,0

OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty)

Obr. 1 Lokalizácia kľúčových monitorovacích lokalít

4.2.2 Meranie ^{13}C NMR spektier

Nukleárna magnetická rezonancia (NMR) je spektroskopická metóda, ktorá využíva magnetické vlastnosti (spiny) jadier atómov a pridruženého momentu, takže výsledkom je charakteristická rezonančná frekvencia. V súčasnosti sa najčastejšie pri štúdiu štruktúry humusových látok využíva ^{13}C NMR v kvapalnej ako aj v pevnej fáze, ale v poslednom období sa napriek ich nízkej koncentrácií v POH čoraz častejšie využívajú aj ^{31}P NMR a ^{15}N NMR, predovšetkým pri podrobnej charakteristike týchto hlavných biogénnych prvkov v pôdnej organickej hmote. Pri aplikácií NMR na štúdium pôdnej organickej hmoty sú chemické posuny najčastejším a najjednoduchším meraným NMR parametrom, ktorý zároveň poskytuje dôležitú štruktúrnu informáciu (Wijmenga a van Buuren, 1998). Integrovaním intenzity signálu každej oblasti chemického posunu môže byť vypočítané percentuálne zastúpenie daného typu uhlíka a spektrá môžu byť rozdelené do oblastí, v ktorých sa nachádzajú štruktúrne podobné atómy uhlíka. Vo všeobecnosti rozoznávame 4 oblasti chemických posunov, v ktorých rezonujú jednotlivé štruktúrne rozdielne typy uhlíka: alkyly (0-50 ppm), O-alkyly (50-110 ppm), aromatický uhlík (110-160ppm) a karbonylový uhlík (160-200 ppm). Malcolm (1990) uvádza podrobnejšie rozdelenie integrálnych oblastí ^{13}C NMR spektier, ktoré využívame aj my pri monitorovaní detailnej charakteristiky humínových kyselín (napr. Barančíková 2008, Barančíková , 2009).

Všetky ^{13}C NMR spektrá boli namerané na oddelení NMR a HS spektrometrie Fakulty chemickej a potravinárskej technológie Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave na spektrometri INOVA 600, firmy Varian s pracovnou frekvenciou 150,830 MHz pre ^{13}C spiny. Pracovné parametre spektrometra boli nastavené tak, aby sa zaručila kvantitatívna signifikantnosť integrálnych intenzít spektrálnych čiar. Vzorky HK boli merané v 0,5 M NaOH v D_2O. U vzoriek bola prevedená analýza štruktúrno-typového zloženia. Rozdelenie jednotlivých spektrálnych oblastí rovnakých typov uhlíka je uvedené v tab. 2.

Na obr. 2 je znázornené ^{13}C NMR spektrum HK v roztoku pri optimalizovaných parametroch, na ktorom sú popísané jednotlivé píky charakterizujúce príslušné štruktúry organického uhlíka v humínovej kyseline. V oblasti chemického posunu 0-100 ppm sú to koncové metylové skupiny (-CH_3), dlhé uhľovodíkové reťazce metylénových skupín –$(CH_2)_n$-, hydroxylové skupiny viazané na alifatických uhlíkoch a anomérne uhlíky. V oblasti cca 100-160 sú to aromatické uhlíky s väzbou C-C a olefinické uhlíky s väzbou C-O. Posledný výrazný pík v oblasti cca 180 ppm charakterizuje karboxylové skupiny (-COOH)-

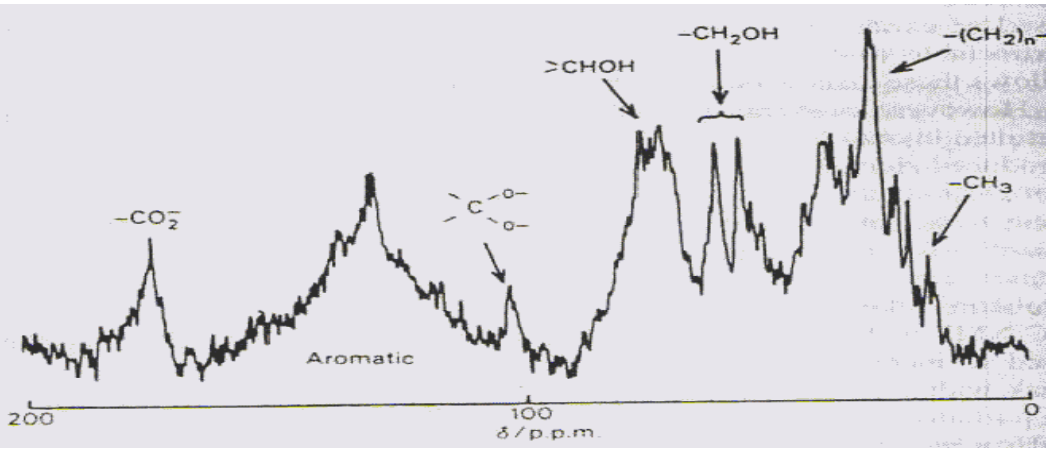
Tab. 2 Integrálne oblasti ^{13}C NMR spektier humínových kyselín

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

.

Percentuálne zastúpenie uhlíka v jednotlivých integrálnych oblastiach sa využíva na výpočet parametrov ^{13}C NMR spektra, z ktorých najjednoduchší je pomer alifatického Calif (integrálna oblasť cca 0-110 ppm) a aromatického uhlíka Car (integrálna oblasť cca 110-160 ppm). Uvedený parameter okrem iných použil napr. Stearman (Stearman a kol., 1989) na zistenie rozdielov v chemickej štruktúre humínových kyselín izolovaných z intenzívne obrábaných a neobrábaných pôd. Ďalší parameter, ktorý môžeme vypočítať z ^{13}C NMR spektier je stupeň alifaticity (% alifaticity = Calif (0-110 ppm)/Calif+Car (0-165ppm) x 100. Uvedený parameter použila napr. Gonzáles-Peréz (Gonzáles-Peréz a kol., 2008) pri štruktúrnej charakteristike HK izolovaných z tropických dažďových pralesov juhovýchodnej Brazílie.

Obr. 2 ^{13}C NMR spektrum HK (Newman, 1980)



Najrozšírenejším parametrom, na základe ktorého môžeme posúdiť stupeň humifikácie (Gonzáles-Peréz a kol., 2007) je stupeň aromaticity. Tento parameter sa uvádza takmer vo všetkých prácach, ktoré hodnotia chemickú štruktúru POH na základe ^{13}C NMR spektier (Malcolm, 1990, Schnitzer a kol., 2006). Najčastejšie sa tento parameter vypočítava ako pomer aromatického uhlíka k alifatickému a aromatickému uhlíku x 100 (% aromaticity = Car/(Car +Calif) x 100).

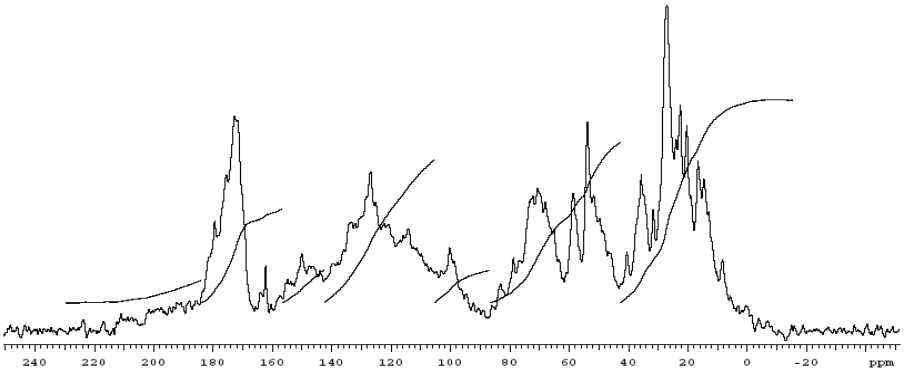
4.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Spektrálna metóda ^{13}C NMR umožňuje sledovať rozdiely v chemickej štruktúre jednotlivých pôdnych typov (Buurman a kol., 2009), jedného pôdneho typu pri zmene manažmentu na pôde (Preson a kol., 1996, Schnitzer a kol., 2006, Mao a kol., 2008) ako aj sledovať zmeny v prirodzenom vývoji pôd (napr. proces humifikácie rastlinných zvyškov v lesných pôdach) (Olk a kol., 1995, Gonzáles-Peréz, 2008, Ono a kol., 2009).

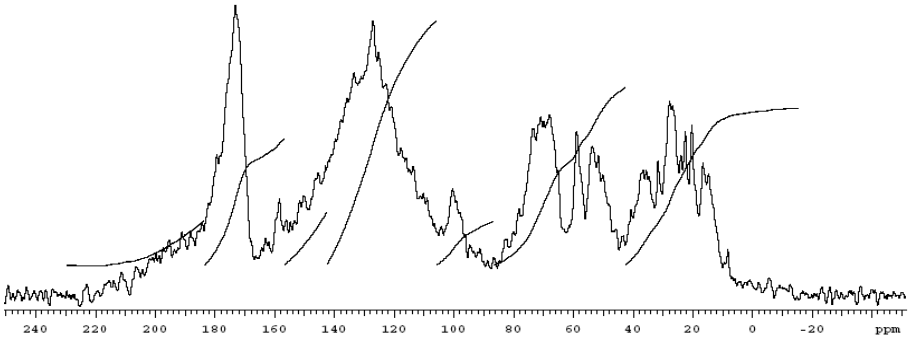
V rámci monitoringu pôdnej organickej hmoty sledujeme jej rozdiely medzi rôznymi pôdnymi typmi ako aj zmeny štruktúry POH v rámci toho istého pôdneho typu v časovom slede (Linkeš a kol., 1997, Barančíková a kol., 2009). Na obr. 3 môžeme vidieť ^{13}C NMR spektrá humínových kyslín

izolovaných z dvoch výrazne rozdielnych typov na TTP a to rendziny na lokalite Donovaly a andozeme na lokalite Sitno a na obr. 4 spektrá HK izolované z ornej pôdy černozeme a fluvizeme glejovej, ktoré boli merané z posledného odberu, pri ktorom sa izolovali humínové kyseliny. Ako vidíme na obr. 3 u ^{13}C NMR spektier rendziny na TTP výrazne prevládajú alifatické štruktúry. Jedná sa predovšetkým o metylové skupiny $-CH_3$ v spektrálnej oblasti -15-43 ppm a tiež dlhé reťazce $-CH_2-$ v spektrálnej oblasti 43-87 ppm. Pri porovnaní s ostatnými pôdnymi typmi, uvedené štruktúry alifatického uhlíka majú najvyššie zastúpenie (tab. 3).

Obr. 3 ^{13}C NMR spektrá humínových kyselín izolovaných z trvalých trávnych porastov



400/013 Rendzina lokalita Donovaly



400/340 Andozem lokalita Sitno

Výrazný pík uhlíka metoxylových štruktúr sa nachádza v spektrálnej oblasti 56 ppm. V oblasti chemického posunu 43-87 ppm sa nachádza signál N-alkylového uhlíka, ktorý reprezentuje uhlík alkylamínov, zatiaľ čo O-alkylový uhlík pochádza predovšetkým z lignínu (Gonzáles-Peréz, 2008). Výrazný signál pri 75 ppm je typický pre uhlík v uhľovodíkov, resp. sacharidov (Preston a kol., 1994, Schnitzer a kol., 2006) a pomerne slabý pík cca pri 104 ppm je špecifický pre di-O-alkyl uhlíky, zahrňujúce anomerické uhlíky sacharidov (Preston a kol., 1994). Aromatická oblasť sledovanej rendziny na TTP je podstatne menej výrazná (obr. 3) a zastúpenie aromatického uhlíka v tomto pôdnom type je nižšie v porovnaní s alifatickou oblasťou. Zo sledovaných pôdnych typov má rendzina najnižšie zastúpenie aromatického uhlíka (tab. 3). Aromatický uhlík sa nachádza v oblasti 120-135 ppm (Schnitzer a kol., 2006) a H a C substituované aromáty majú charakteristický široký pík pri 129 ppm (Preston a kol., 1994). Fenolický uhlík HK sa nachádza v oblasti 145-165 ppm a táto oblasť je v porovnaní s H a C substituovanými aromátmi často široká a slabá a indikuje prítomnosť fenolického uhlíka veľmi rôzneho pôvodu. Gonzáles-Peréz (Gonzáles-Peréz a kol., 2008) uvádza, že signál arylového uhlíka pochádza z lignínu a alkylaromátov. Aj v našom prípade HK izolované z rendziny majú fenolickú oblasť slabú bez výrazných píkov (obr. 3). Pri 175 ppm môžeme pozorovať výrazný pík charakterizujúci uhlík karboxylov, amidov a esterov (Preston a kol., 1994, Schnitzer a kol., 2006). Signál karboxylového uhlíka korešponduje s karboxylovými skupinami v alifatických a benzénkarboxylových kyselinách (Gonzáles-Peréz, 2008).

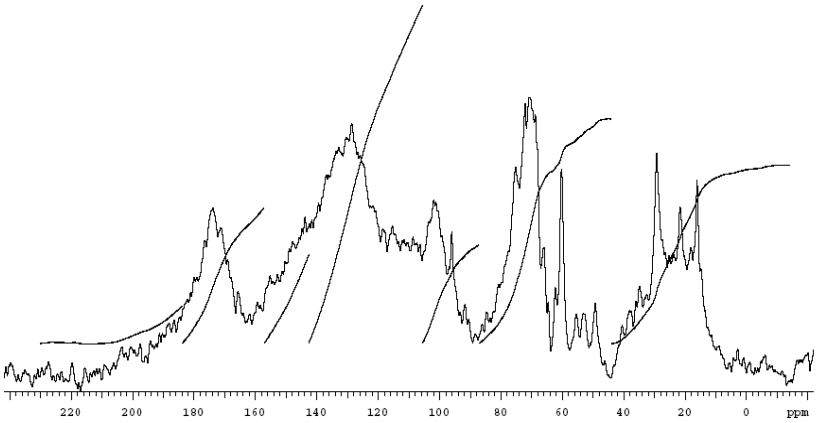
Tab. 3 Relatívne integrálne intenzity v ^{13}C NMR spektrách humínových kyselín.

Spektrálna oblasť (ppm)	**230-184**	**184-157**	**157-143**	**143-106**	**106-87**	**87-43**	**43-15**
Lokality / Rok odberu							
Fluvizem glejová / 2009	0,77	8,68	5,54	28,65	7,91	21,27	27,18
Černozem karbonátová / 2009	3,40	12,32	8,06	30,72	8,95	20,39	16,16
Andozem / 2007	5,34	14,92	6,2	28,89	5,2	20,96	18,50
Rendzina / 2007	3,3	13,63	4,81	20,79	4,72	23,31	29,45

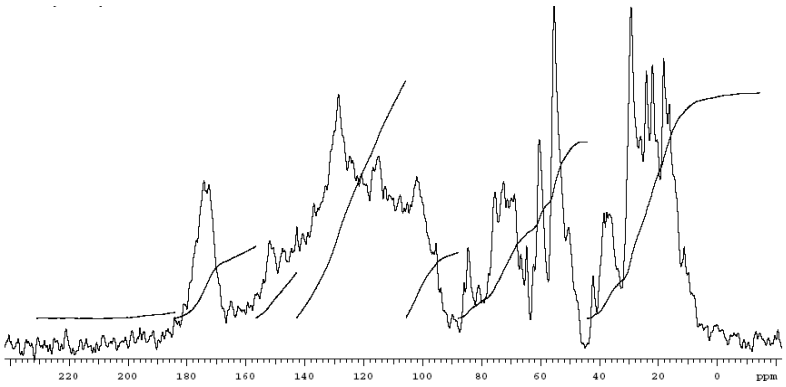
Výrazne odlišné ^{13}C NMR spektrum je charakteristické pre humínové kyseliny andozeme, ktorá sa tiež nachádza na pasienkoch. Ako vidíme na obr. 3, aromatická oblasť tejto HK je podstatne vyššia ako pri rendzine, na úkor alifatickej oblasti, ktorá je v porovnaní s aromatickou oblasťou podstatne nižšia. Výrazne nižšie je predovšetkým zastúpenie metylových skupín $-CH_3$ v spektrálnej oblasti -15-43 ppm a podstatne vyššie zastúpenie aromatického uhlíka, čo dokazuje percentuálne zastúpenie relatívnych integrálnych intenzít ^{13}C NMR spektier (tab. 3). Andozeme na rozdiel od ostatných pôdnych typov na TTP sú vulkanického pôvodu s výrazným zastúpením aromatických štruktúr a vysokým humifikačným stupňom (Yonebashi a Hattori, 1988, Nanzyo a kol., 1993).

^{13}C NMR spektrá humínových kyselín izolovaných z intenzívne obrábaných orných pôd dvoch rôznych pôdnych typov fluvizem glejová a černozem sú uvedené na obr. 4.

Obr. 4 ^{13}C NMR spektrá humínových kyselín izolovaných z orných pôd



400/114 Černozem karbonátová lokalita Voderady



400/223/ Fluvizem glejová lokalita Nacina Ves

Vo všeobecnosti intenzívnym obrábaním pôdy a kultiváciou sa znižuje zastúpenie alifatických štruktúr (Chukov, 2000, Schnizer a kol., 2006). Zníženie zastúpenia O-alkylového uhlíka v orných

pôdach oproti pasienkom uvádza aj Preston (Preston a kol., 1994). Aj v nami sledovaných humínových kyselinách izolovaných z orných pôd je zastúpenie alifatickej časti nižšie, v porovnaní s HK TTP, ale medzi HK jednotlivých pôdnych typov orných pôd sú v štruktúre ^{13}C NMR značné rozdiely. Napr. na fluvizemi je zastúpenie koncových metylových skupín ($-CH_3$) a dlhých alkánových reťazcov $-(CH_2)_n$ podstatne vyššie ako na černozemi (obr. 4), čo potvrdzuje aj percentuálne zastúpenie relatívnych integrálnych intenzít predovšetkým koncových metylových skupín (tab. 3), ktoré je na černozemi výrazne nižšie ako na fluvizemi glejovej. Pri porovnaní aromatického uhlíka, predovšetkým v oblasti C a H substituovaných aromátov (integrálna oblasť 143-157 ppm) HK orných pôd majú podstatne vyššie zastúpenie aromátov oproti HK TTP (obr. 3, 4, tab. 3). Výnimkou sú iba HK andozeme na TTP, na ktorej prevládajú aromatické štruktúry nad alifatickými. Vyššie zastúpenie aromatickej časti v HK intenzívne obrábaných pôd oproti neobrábaným pôdam uvádza aj Stearman (1989) a Schnitzer (Schnitzer a kol., 2006). ktorý zistil zvýšenie aromaticity v kultivovaných pôdach oproti panenským pôdam, čo je v súlade aj s našimi zisteniami. V rámci orných pôd podstatne vyšším zastúpením aromatického uhlíka disponuje viac černozem ako fluvizem glejová (tab. 3).

Rozdielne procesy, ktoré vedú k rozdielom v kvalite humínových kyselín sa dajú identifikovať na základe jednotlivých parametrov vypočítaných z ^{13}C NMR spektier humínových kyselín. Napr. Baldock (Baldock a kol., 1997) uvádza, že prirodzený rozklad rastlinných zvyškov je takmer vždy spojený so zvýšením obsahu alkylového uhlíka a znížením O-alkylového uhlíka. Na základe uvedeného zistenia navrhuje používať pomer alkylového-C/O- k alkylovému C ako citlivý indikátor rozsahu rozkladných procesov. Zvýšený pomer A/O-A je charakteristický predovšetkým pre fluvizem glejovú a rendzinu (tab. 4), čo indikuje zvýšený prirodzený rozklad rastlinných zvyškov na týchto pôdnych typov na rozdiel od černozeme a andozeme, kde rozkladné procesy sú podstatne pomalšie.

Výrazne rýchlejšiu akceleráciu rozkladných procesov rastlinných zvyškov indikuje aj vyššie zastúpenie alifatického uhlíka (Calif) ako aj pomer alifatického a aromatického uhlíka charakterizovaný parametrom Calif/Car (tab. 4), ktorý je na týchto pôdnych typoch podstatne vyšší ako na černozemi a andozemi a je charakteristický pre rozsiahlejšie rozkladné procesy. Po dodaní čerstvej organickej hmoty sa v prvých stupňoch humifikácie zvyšuje podiel alifatického uhlíka ako sekundárneho produktu mikroorganizmov a aromatický uhlík tanínu a lignínu sa postupne znižuje (Ono a kol., 2009). Najnižšia hodnota pomeru Calif/Car indikujúca najmenší prísun čerstvých rastlinných zvyškov bola zistená na černozemi (tab. 4).

Výrazné rozdiely medzi HK jednotlivých pôdnych typov vykazujú aj stupeň aromaticity a alifaticity. Predovšetkým stupeň aromaticity, ktorý je najrozšírenejším parametrom, na základe ktorého sa posudzuje stupeň humifikácie α (Gonzáles-Peréz a kol., 2007) sa uvádza vo väčšine prác, hodnotiacich chemickú štruktúru humusových látok na základe ^{13}C NMR spektier (Stearman a kol., 1989, Malcolm, 1990, Schnitzer a kol., 2006). Vyššie hodnoty α sú charakteristické pre stabilnejšie štruktúry humínových kyselín a sú charakteristické pre pôdne typy s výrazne tmavými molickými humusovými horizontmi v dôsledku vysokej kondenzácie aromatických štruktúr. Zo sledovaných pôdnych typov výrazne vyššími hodnotami stupňa aromaticity a teda aj vysokým stupňom humifikácie a stability pôdnej organickej hmoty a nízkymi hodnotami stupňa alifaticity disponujú černozem a andozem (tab. 4).

Tab. 4 Základné parametre vypočítané z ^{13}C NMR spektier humínových kyselín

Spektrálna oblasť (ppm)	**Calif (%)**	**A/O-A**	**Car (%)**	**Calif/Car**	**α (%)**	**β (%)**
Lokality / Rok odberu						
Fluvizem glejová / 2009	56,36	1,28	34,19	1,64	37,8	62,2
Černozem karbonátová / 2009	45,50	0,79	38,78	1,17	46,1	53,9
Rendzina / 2007	57,48	1,26	25,60	2,24	30,8	69,2
Andozem / 2007	44,66	0,88	35,09	1,27	44	56

α – stupeň aromaticity β – stupeň alifaticity

α = Car/(Car+Calif)*100 β = Calif(Calif+Car)*100

A/O-A = pomer alkylového uhlíka (-15-43ppm) k O-alkylovému uhlíku (43-87)

4.4 ZÁVER

Výsledky aplikácie spektroskopickej metódy nukleárnej magnetickej rezonancie pri detailnej charakteristike pôdnej organickej hmoty dostatočne dokazujú, že ^{13}C NMR spektrá sú užitočným nástrojom pri štúdiu rozdielov v kvantitatívnom zastúpení organického uhlíka v jednotlivých chemických štruktúrach pôdnej organickej hmoty rozdielnych pôdnych typov. Viaceré parametre vypočítané z týchto spektier (% alifatického a aromatického uhlíka, stupeň aromatizácie) sú dostatočne citlivé aj na sledovanie mineralizačných, resp. humifikačných procesov prebiehajúcich v POH v priebehu monitorovacieho obdobia. Nakoľko izolácia humínových kyselín z pôdnych vzoriek je značne zdĺhavá procedúra, okrem detailnej kvantifikácií jednotlivých typov uhlíka v HK sa v nasledujúcom období sústredíme na aplikáciu meraní ^{13}C NMR spektier v neporušených pôdnych vzorkách, ktorá nám môže poskytnúť základne kvalitatívne informácie o rozdieloch v štruktúre pôdnej organickej hmoty v jednotlivých pôdnych typov poľnohospodárskych pôd Slovenska.

Literatúra

BALDOCK J.A., OADES J.M., NELSON P.N., SKENE T.M., GOLCIN A., CLARKE P. 1997. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 35, 1061-1083.

BARANČÍKOVÁ G., BREČKOVÁ V., DLUGOŠ J., 1997. Retencia kadmia pôdami. *Rostl. výroba*, vol. 43, 107-112.

BARANČÍKOVÁ G.,MAKOVNÍKOVÁ J. 2003. The influence of soil humic acid quality on sorption and mobility of heavy metals. *Plant. Soil and Environment*, vol. 49, 565-571.

BARANČÍKOVÁ G. 2008. Aplikácia nukleárnej magnetickej rezonancie pri štúdiu pôdnej organickej hmoty. *Chem. Listy,* vol. 102, 1100-1106.

BARANČÍKOVÁ G. 2009. Monitoring kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdneho humusu. In: Kobza J., Barančíková G., Čumová L., Dodok R., Hrivňáková K., Makovníková J., Náčiniaková-Bezáková Z., Pálka B., Pavlenda 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*. VÚPOP Bratislava, 2009, 55-79, ISBN 978-80-89128-54-9.

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. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.

BUURMAN P., NIEROP K.G.J., KAAL J., SENESI N. 2009. Analytical pyrolysis and thermally assisted hydrolysis and methylation of EUROSOIL humic acid samples – A key to their source. *Geoderma*, vol. 150, 10-22.

DERCOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., BARANČÍKOVÁ G., ŽUFA J. 2005. Bioremediation of soil and wastewater concentration with toxic metals. *Chemical Letters,* vol. 99, 682-693.

GONZÁLES-PÉREZ M., MILORI D.M.B.P., COLNAGO L.A., MARTIN-NETO L., MELO W.J. 2007. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic mater in a Brazilian Oxisols under different tillage systems. *Geoderma,* vol. 138, 20-24.

GONZÁLES-PÉREZ M., TORRADO V.P., COLNAGO L.A., MARTIN-NETO L., OTERO X.L., MILORI D.M.B.P., GOMES F.H. 2008. ^{13}C NMR and FTIR spectroscopy characterization of humic acids in spodosols under tropical rain forest in south-eastern Brazil. *Geoderma,* vol. 146, 425-433.

HAYES M.H.B., 1985. Extraction of humic substances from soil. In: *Humic substances in soil, sediment and water*. New York, Willey - Interscience, 329-362.

CHUKOV S.N. 2000. Study by ^{13}C – NMR spectroscopy of humus acids molecular parameters in anthropogenically disturbed soils. In: *Proceedings of 10th International Meeting of the IHSS*, Toulouse, 81-84.

LINKEŠ V., KOBZA J., ŠVEC M., ILKA P., PAVLENDA P., BARANČÍKOVÁ G., MATÚŠKOVÁ L. 1997. *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Súčasný stav monitorovacích vlastností pôd 1992-1996*. VÚPÚ Bratislava, 80-90.

LOMBARDINI J.C., TAN K.H., PAPE C. 1994. The nature of humic acid-apatite interaction products and their availability to plant growth. *Comm. Soil Sci., Plant Anal.,* vol. 25, 2355-2369.

MALCOLM M.L. 1990. The uniqueness of humic substances in each of soil, stream and marine environments. *Anal. Chem. Acta,* vol. 232, 19-30.

MAKOVNÍKOVÁ J., BARANČÍKOVÁ G., DLAPA P., DERCOVÁ K. 2006. Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. Review. *Chemické listy,* vol.100, 424-432.

MAO J., OLK D.C., FANG X., HE Z., SCHMIDT-ROHR K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic mater as investigated by advanced solid-state NMR and Ft-IR spectroscopy. *Geoderma*, vol. 146, 353-362.

MATHERS N.J., MAO X.A., XU Z.H., SAFFIGNA P.G., BERNERS-PRICE S.J., PERERA M.C.S., 2000. Recent advances in the application of ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Aust. J. Soil Res*., vol. 38, 769-787.

NEWMAN R.H., TATE K.R., BARRON P.F., WILSON M.A., 1980. Towards a direct, non-destructive method of characterising soil humic substances using ^{13}C NMR. *J. Soil Sci., vol*. 31, 623-631.

NEWMAN R.H., TATE K.R. 1991. ^{13}C NMR characterization of humic acids from soils of a development sequence. *J. Soil Sci.,* vol. 42, 39-46.

NANZYO M., DAHLGREN R., SHOJI S. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. In*: Shoji, S. et al. (eds.) Volcanic ash soils.* Elsevier, Amsterdam, 147-187.

OLK D.C., CASSMAN K.G., FAN T.W.M. 1995. Characterization of two humic acids fractions from a calcareous vermiculitic soil: implications for the humification process. *Geoderma,* vol. 65, 195-208.

ONO K., HIRAI K., MORITA S., OHSE K., HIRADATE S. 2009. Organic carbon accumulation processes on a forest floor during an early humification stage in a temperate deciduous forest in Japan: Evaluations of chemical composition changes by ^{13}C NMR and their decomposition rates from litterbag experiment. *Geoderma*, vol. 151, 351-356.

PANSU M., GAUTHEYROU J. 2006. *Handbook of Soil Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 424-433.

PRESTON C.M., NEWMAN R.H., ROTHER P. 1994. Using ^{13}C CPMAS NMR to assess effects of cultivation on the organic matter of particle size fractions in a grassland soil. *Soil Sci.,* vol. 157, 26-35.

PRESTON C.M., 1996. Application of NMR to soil organic matter analysis: History and prospects. *Soil Sci*., vol. 161, 144-166.

SCHNITZER M., MCARTHUR D.F.E., SCHULTEN H.R., KOZAK L.M., HUANG P.M. 2006. Long-term cultivation effects on the quantity and quality of organic matter in selected Canadian prairie soils. *Geoderma*, vol. 130, 141-156.

STEARMAN G.K., LEWIS R.J., TORTERELLI L.J., TYLER D.D. 1989. Characterization of humic acid from no-tilled and tilled soils using Carbon-13 nuclear magnetic resonance. *Soil Sci. Soc. Am. J*., vol. 53, 744-749.

WIJMENGA S.S., VAN BUUREN B.N.M. 1998. The use of NMR methods for conformational studies of nucleic acids. *Progress in NMR spectroscopy*, vol. 32, 287-387.

YONEBAYASHI K., HATTORI T. 1988. Chemical and biological studies on environmental humic acids. I. Composition of elemental and functional groups of humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.,* vol. 34, 571-584.

5. VARIABILITA VLASTNOSTÍ LESNÝCH PÔD VO VZŤAHU K ROZĽAHLOSTI VÝSKUMNÉHO PRIESTORU

5 Variability of forest soil properties at multiple scales

Erika Gömöryová*

ABSTRAKT
Cieľom práce bolo porovnať variabilitu niektorých vlastností lesných pôd pri rôznych mierkach – úrovniach, a to na úrovni krajiny (odstupy odberných miest predstavujú niekoľko kilometrov až desiatok kilometrov), porastu (odstupy 1 až 50 m) a stromu (odberné miesta sú vzdialené niekoľko centimetrov). Ako ukázali výsledky, mikrobiálne charakteristiky patria k najvariabilnejším pôdnym parametrom. Zároveň výsledky potvrdili vysokú variabilitu pôdnych charakteristík na úrovni krajiny, ale nepotvrdili všeobecný predpoklad, že so zmenšujúcou sa mierkou mapy (zväčšujúcimi sa odstupmi medzi odbernými miestami) variabilita pôdnych charakteristík narastá. Na variabilite mikrobiálnych charakteristík sa výrazne prejavil vplyv samotného stromu (buka) a to najmä v zóne stoku po kmeni.
Kľúčové slová: lesné pôdy, priestorová variabilita, vlastnosti pôdy

ABSTRACT
We compared the variability of physical-chemical and biological properties of forest soils at different spatial levels – landscape level (sampling point distances exceeding several kilometres or tens of kilometres), stand level (1 to 50 meters) and tree level (several centimetres). The study showed that microbial characteristics belong to the most variable soil characteristics. The results confirmed a high variability of soil characteristics at the landscape level, but did not confirm the general assumption of increasing variability with increasing scale of observation. The influence of a single tree (beech) was reflected in changes of microbial characteristics with the distance from tree, especially in the stem flow zone.
Keywords: forest soil, spatial variability, soil properties

5.1 ÚVOD

Skutočnosť, že pôdy sa vyznačujú značnou variabilitou, je všeobecne známa a zdokumentovaná vo viacerých prácach (Zinke 1962, Karpačevskij 1977, Morris *et* Boerner 1998, Decker *et al.* 1999, Sáňka *et al.* 2004, a ďalší). Variabilita pôd je výsledkom kombinovaného vplyvu pôdotvorných faktorov v určitom čase a v určitom priestore. Vo všeobecnosti pôdnu variabilitu môžno považovať za funkciu piatich faktorov, a to – rozsah priestoru alebo veľkosť plochy, mierka mapy alebo priestorové rozlíšenie, priestorové umiestnenie a fyziografický región, pôdna vlastnosť alebo proces, a čas (Lin *et al.* 2005). Presné vyjadrenie tejto funkcie je obtiažne až nemožné vzhľadom na zložitosť a spletitosť vzťahov medzi faktormi.

Možno však očakávať, že ak veľkosť plochy, stupeň rozlíšenia a časová mierka budú narastať, potom bude narastať aj pôdna variabilita až kým nedosiahne určité maximum, a potom sa buď ustáli na určitej hladine alebo začne klesať. Tieto zmeny však závisia aj od konkrétneho umiestnenia plochy a skúmanej pôdnej vlastnosti. V nasledovných kapitolách sme zhrnuli naše doterajšie výsledky ohľadom variability lesných pôd a pôdnych vlastností na troch rôznych úrovniach – úrovni krajiny (odstupy odberných miest predstavujú niekoľko km až desiatok km), porastu (s odstupmi 1 až 50 m) a stromu (odberné vzdialenosti predstavujú niekoľko cm).

---

* doc. Ing. Erika Gömöryová, PhD., Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, SR, e-mail: egomory@vsld.tuzvo.sk

5.2 VARIABILITA PÔDNYCH VLASTNOSTÍ NA RÔZNYCH ÚROVNIACH

5.2.1 Úroveň krajiny

Územie Slovenska sa vyznačuje pestrou mozaikou geologických, klimatických a vegetačných pomerov a následne i pomerov pôdnych. Výsledky analýz vzoriek pôd zo 148 plôch, nachádzajúcich sa v nadmorskej výške 430-1300 m, nám poskytli cenné informácie o premenlivosti sledovaných pôdnych parametrov v smrekových porastoch Slovenska (Gömöryová 2004a). Ako ukázali výsledky analýz, takmer všetky charakteristiky sa vyznačovali značnou variabilitou (tab. 1). Obzvlášť vysoké hodnoty variačného koeficienta sme zaznamenali pri väčšine stanovovaných prvkov (fosfor, vápnik, horčík, sodík), pri ktorých variačný koeficient presahoval hodnotu 100 %. Ale aj pri dusíku a draslíku bola variabilita pomerne vysoká (V_x okolo 50 %). V rámci sledovaných plôch značne kolísali aj humusové pomery – kým hrúbka pokrývkového humusu sa pohybovala v rozpätí 1-12 cm (V_x = 47 %), tak variačný koeficient pri obsahu humusu dosahoval v hĺbke 15-20 cm až 70 %. Podľa očakávania variabilita pri jednotlivých zrnitostných frakciách bola nižšia, jedine obsah frakcie hrubého piesku kolísal v rámci našich plôch výraznejšie, podobne ako aj obsah skeletu. Najmenšiu variabilitu zo sledovaných charakteristík sme pozorovali pri pH-H_2O (V_x = 16,70 %). Zaujímavým zistením je skutočnosť, že vo väčšine prípadov v hĺbke 15-20 cm možno pozorovať vyššiu variabilitu pôdnych charakteristík ako v hĺbke 2-6 cm. Výraznou výnimkou je obsah výmenného sodíka, pri ktorom variačný koeficient v A-horizonte dosahoval až 220 %, v horizonte pod ním „len“ 92 %.

Tab. 1 Priemerné hodnoty (μ) a variačné koeficienty (V_x) sledovaných charakteristík v jednotlivých hĺbkach pôdy

Pôdna charakteristika	**μ**	**Vx (%)**	**μ**	**Vx (%)**
Hrúbka pokrývkového humusu (cm)	4,0	47,4		
Hrúbka A-horizontu (cm)	10,28	46,5		
Hĺbka pôdy	2-6 cm		15-20 cm	
Obsah skeletu (%)	21,88	69,6	32,77	53,5
Frakcia <0.002 mm (%)	20,39	38,7	25,66	38,6
0,002-0,01 mm (%)	20,93	26,1	9,34	30,7
0,01-0,05 (%)	28,11	23,4	23,88	29,9
0,05-0,1 (%)	8,47	36,6	21,85	45,5
0,1-2,0 (%)	22,10	62,7	19,21	64,3
pH-H_2O	4,35	16,7	4,72	18,5
Obsah humusu (%)	7,75	52,4	3,70	70,6
P ($mg.kg^{-1}$)	8,3	105,6	8,9	154,1
K ($mg.kg^{-1}$)	92,8	66,3	61,9	34,3
N ($mg.kg^{-1}$)	104,7	51,4	99,4	52,6
Ca ($mg.kg^{-1}$)	464,68	155,9	392,93	210,2
Mg ($mg.kg^{-1}$)	55,65	64,9	43,46	139,9
Na ($mg.kg^{-1}$)	38,90	220,6	25,12	92,2
T ($mmol.kg^{-1}$)	135,59	23,7	100,87	24,2
V (%)	13,72	108,9	12,81	150,0

Vysvetlivky: T – celková sorpčná kapacita pôdy, V – stupeň sorpčnej nasýtenosti pôdy

K podobným údajom dospel aj Kobza (2004), ktorý zisťoval variabilitu pôdnych charakteristík, ale v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska. Na základe dosiahnutých výsledkov konštatuje, že medzi najvariabilnejšie pôdne parametre patria hodnoty obsahu prístupných živín. Keďže ale v tomto prípade sa jedná o obrábané pôdy, na plošnej heterogenite sa výraznou mierou odráža hnojenie. Pri porovnávaní vertikálnej variability pôdnych charakteristík (hĺbky 0-10 a 35-40 cm) sa takisto ukázalo, že vyššia variabilita bola vo väčšej hĺbke. S hĺbkou pôdy narastá vplyv pôdotvorného substrátu a znižuje sa vplyv kultivácie. Na našich plochách sme pozorovali podobný trend, analogicky môžeme konštatovať, že vo väčšej hĺbke sa na vyššej variabilite odráža vplyv materského substrátu, v najvrchnejšom horizonte sa naopak môže odrážať dlhodobý „hnojivový“ účinok smrekového ihličia.

Tab. 2 Analýza variancie pôdnych charakteristík podľa pôdnych typov

Pôdna charakteristika	***F*-test**	**Komponenty variancie (%)**		***F*-test**	**Komponenty variancie (%)**	
		medzi pôdnymi typmi	**v rámci pôdnych typov**		**medzi pôdnymi typmi**	**v rámci pôdnych typov**
Hrúbka pokrývkového humusu	***	38,5	61,5			
Hrúbka A-horizontu	***	12,8	87,2			
	Hĺbka 2-6 cm			Hĺbka 15-20 cm		
Obsah skeletu	***	14,1	85,9	***	17,5	82,5
Frakcia <0,002 mm	***	24,3	75,7	***	25,0	75,0
0,002-0,01 mm	***	18,9	81,1	***	20,6	79,4
0,01-0,05	**	13,3	86,7	***	21,5	78,5
0,05-0,1	ns	0,6	99,4	ns	0,0	100,0
0,1-2,0	***	33,0	67,0	***	36,9	63,1
pH-H_2O	***	28,1	71,9	***	31,8	68,2
Obsah humus	***	38,7	61,3	***	40,0	60,0
P	ns	0,0	100	ns	0,0	100,0
K	ns	3,1	96,9	**	6,8	93,2

Hladina významnosti: *** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$, ns $P\geq0.05$

V rámci výskumných plôch boli zastúpené rôzne pôdne typy, resp. ich subtypy (kambizeme, podzoly, rendziny, luvizeme, pseudogleje a pararendziny). S cieľom zistiť, nakoľko sa pôdne typy a subtypy odlišujú v sledovaných kvantitatívnych pôdnych charakteristikách, použili sme jednofaktorovú analýzu variancie (tab. 2). Najvyšší podiel variancie medzi pôdnymi typmi z celkového rozptylu sme zistili pri hrúbke pokrývkového humusu, obsahu humusu a frakcie hrubého piesku. Zo sledovaných parametrov sa len pri obsahu prachovej frakcie, fosforu a draslika (v A-horizonte) neprejavili významné rozdiely medzi pôdnymi typmi, nakoľko ich hodnoty boli v rámci samotných pôdnych typov veľmi rozkolísané.

5.2.2 Úroveň lesného porastu

Vegetácia je jedným z primárnych faktorov ovplyvňujúcich genézu pôd. Vplyv vegetácie sa odráža najmä v redistribúcii živín v oblasti rizosféry, inpute rôznych látok na povrch pôdy a do jeho najvrchnejších horizontov. V dôsledku rozdielov v chemickom zložení nadzemnej i podzemnej biomasy a jej odumretých častí (asimilačný aparát, konáriky, kôra, korene), rozdielov vo výluhoch a exudátoch, môže dôjsť k výrazným rozdielom vo vlastnostiach pôd, vytvorených z rovnakého materského substrátu aj pod čistými (nezmiešanými) porastmi rôznych drevín. Ako Phillips *et* Marion (2005) uvádzajú, stromy zohrávajú svojím chemickým a hydrologickým vplyvom významnú úlohu pri diferenciácii pôd. Výsledky naznačujú možnosť divergentnej evolúcie vzhľadom na dlhodobý vplyv stromov.

Spravidla veľkou priestorovou variabilitou sa vyznačujú tie pôdne vlastnosti, ktoré sa značne menia aj v rámci roka, ako niektoré fyzikálne a chemické vlastnosti (napr. teplota a vlhkosť pôdy, obsah minerálneho dusíka), ale aj vlastnosti biologické (respirácia, aktivita enzýmov a pod.). Na experimentálnej ploche v Kremnických vrchoch sme študovali variabilitu a priestorové závislosti niektorých pôdnych charakteristík (Gömöryová 2004b,c) v dospelom bukovom poraste. Vzorky sme odoberali z A-horizontu v sieti s rôznymi vzdialenosťami medzi odbernými miestami (0,2 × 0,2 m, 1 × 1 m a 10 ×10 m).

Z výsledkov štúdie vyplýva, že mikrobiálne vlastnosti patria k najvariabilnejším charakteristikám, pričom často už na malých vzdialenostiach môžeme vedľa seba nájsť extrémne nízke a extrémne vysoké hodnoty (obr. 1). Vo všeobecnosti sa predpokladá, že s narastajúcimi odstupmi medzi odbernými miestami (zväčšujúcou sa plochou výskumu) narastá aj variabilita pôdnych vlastností. Výsledky analýz či už mikrobiálnych alebo ostatných pôdnych vlastností však tento predpoklad nepotvrdili (tab. 3).

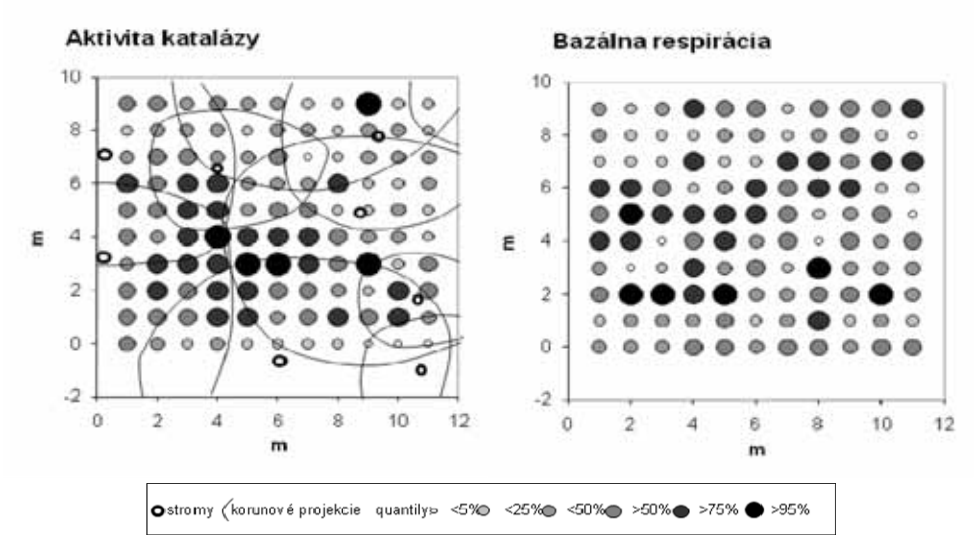
Variačný koeficient je užitočným nástrojom pri porovnávaní variability pôdnych parametrov, avšak neposkytuje informácie o tom, aké je rozdelenie daného parametra v samotnom priestore. V tomto smere je veľmi užitočným nástrojom geoštatistika, založená na teórii regionalizovaných

premenných (sledovaný znak nadobúda v rámci danej plochy rôzne hodnoty v závislosti na polohe, jej zmeny môžu byť od miesta k miestu náhodné aj viac či menej kontinuálne). Pri posúdení priestorového rozmiestnenia pôdnych mikrobiálnych charakteristík sa ukázalo, že kým pri bazálnej respirácii v sieti s odbernými miestami vzdialenými 1 m boli hodnoty rozdelené náhodne, tak naopak pri aktivite katalázy sme pozorovali dosť výraznú skupinovú (*patchy*) štruktúru predovšetkým pri jesennom termíne odberu vzoriek (obr. 1), pričom najväčšie „okná“ mali v priemere veľkosť asi 5 m (Gömöryová 2004b). Vo všeobecnosti, najvyššie hodnoty aktivity katalázy sme pozorovali pod okrajmi korún a v mimokorunových priestoroch, teda tam, kde sa dostávalo na povrch pôdy aj najviac svetla.

Tab. 3 Variačný koeficient pôdnych charakteristík na plochách s rôznymi odstupmi odberných miest

Charakteristika	**Variačný koeficient (%)**		
	0,2 × 0,2 m (4 m^2) *N*=110	1 × 1 m (100 m^2) *N*=110	10 × 10 m (10 000 m^2) *N*=110
bazálna respirácia	47,02	39,94	53,16
aktivita katalázy	21,63	19,10	30,46
vlhkosť pôdy	19,86	17,18	16,35
pH-KCl	6,75	10,16	11,03

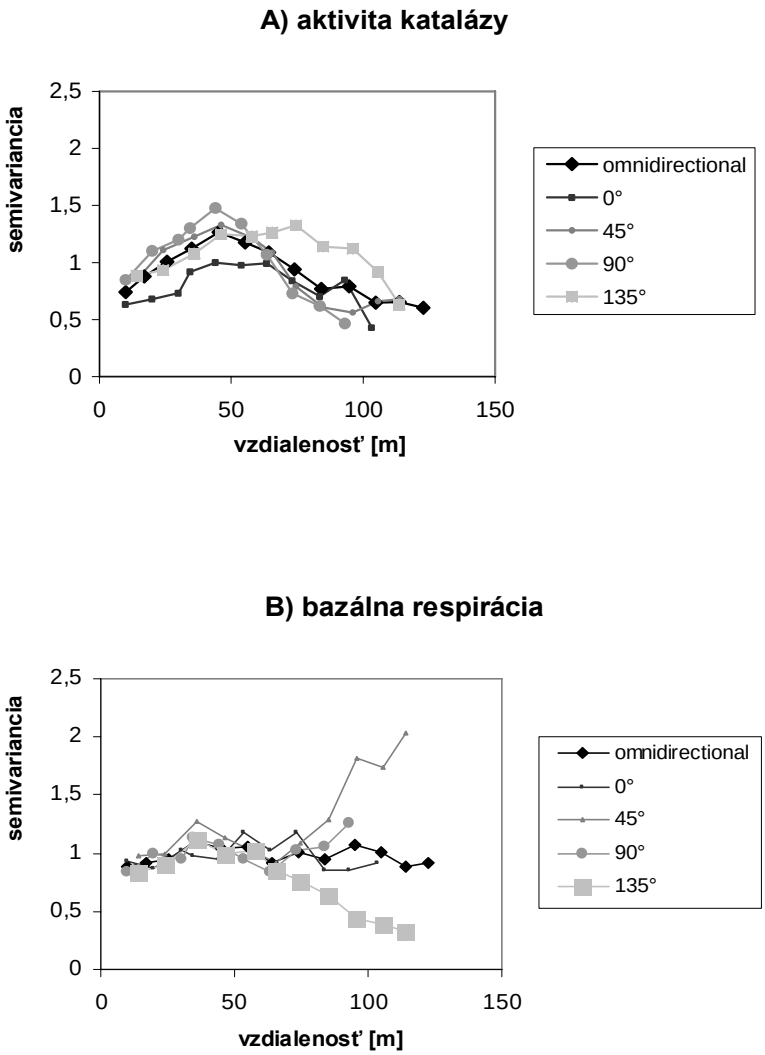
N – počet odobratých pôdnych vzoriek



Obr. 1 Rozdelenie hodnôt aktivity katalázy a bazálnej respirácie na ploche v bukovom poraste s odbernými miestami 1 × 1 m. Veľkosť a intenzita sfarbenia sú proporcionálne k hodnotám mikrobiálnych parametrov.

V sieti s odbernými miestami vzdialenými 10 m už tak respirácia ako aj aktivita katalázy vykazovali zreteľnú priestorovú súvislosť a súčasne výraznú anizotropiu (obr. 2). Vzhľadom na sledovanú plochu (1 ha) nebolo technicky možné zaznamenať pozície stromov a sledovať súvislosť mikrobiálnej aktivity so stromovou vegetáciou. Priestorové rozdelenie hodnôt sa môže výraznou mierou meniť počas roka predovšetkým pri tých pôdnych charakteristikách, ktoré sa vyznačujú značnou časovou dynamikou. Pri hodnotení priestorovej variability momentálnej vlhkosti pôdy v bukovom poraste pri rôznych mierkach so vzdialenosťami odberných miest 1 × 1 m, 10 × 10 m a pod individuálnym stromom so vzdialenosťou 20 (resp. 10) × 40 cm, sme najnižšiu priestorovú variabilitu pozorovali v jarnom období (Gömöryová 2004d), čo je aj logické, keďže sa v tomto období ešte neprejavuje naplno intercepcia a transpirácia bukov. Zaujímavým zistením je skutočnosť, že v jarnom období s narastajúcimi odstupmi odberných miest sme pozorovali pokles variability vlhkosti pôdy. Zreteľná priestorová súvislosť a súčasne výrazná anizotropia bola zaznamenaná v letnom období

pri sieti 1 × 1 m a aj 10 × 10 m, kedy vlhkosť pôdy bola v rámci roka najnižšia. Naopak, v jarnom a jesennom období priestorová súvislosť v rozdelení hodnôt nebola pozorovateľná.



Obr. 2 Štandardizované smerové variogramy aktivity katalázy (A) a bazálnej respirácie (B) v sieti 10 × 10 m

Lesné pôdy majú jedno špecifikum a to pokrývkový humus. V závislosti od podmienok prostredia nadobúda rôznu hrúbku a môže obsahovať rôzne subhorizonty (opad Ol, drvinu Of, melinu Oh), líšiacich sa stupňom rozkladu organického materiálu a jeho premiešania s minerálnym podielom. Výsledky analýz vybraných mikrobiálnych charakteristík a vlhkosti pôdy v subhorizontoch opadu, drviny a v A-horizonte pozdĺž 1500 m dlhého tranzektu v prírodnom bukovom poraste (50 m odstupy medzi odbernými miestami) poukázali na rozdiely vo variabilite týchto charakteristík v jednotlivých subhorizontoch (Gömöryová *et al.* 2006).

Najvyššiu variabilitu sme jednoznačne zaznamenali v opade, t.j. vo vrstve, ktorá je bezprostredne v kontakte s atmosférou, pričom najväčšie rozdiely vo variabilite v jednotlivých horizontoch pozorovať najmä pri mikrobiálnych charakteristikách. Napr. pri bazálnej respirácii v r. 2005 dosahoval variačný koeficient hodnotu v Ol horizonte až 83 %, ale pri vlhkosti pôdy to bolo len 51,28 %. Pokiaľ ide o priestorové rozdelenie hodnôt jednotlivých charakteristík pozdĺž tranzektu, v A-horizonte sme nepozorovali žiadny priestorový trend, avšak už v Of a najmä v Ol horizonte sme zaznamenali niekoľko korelácii mikrobiálnych charakteristík so vzdialenosťou. Pri porovnaní hodnôt z dvoch po sebe nasledujúcich rokoch bola významným zistením skutočnosť, že mikrobiálne charakteristiky a aj

vlhkosť pôdy medzi oboma rokmi významne korelovali v A-horizonte (tab. 4), čo znamená, že najvyššie alebo naopak najnižšie hodnoty charakteristík sa pozorovali v oboch rokoch stále na tých istých miestach. Avšak už vo vyššie položených horizontoch, ktoré sú bližšie k rozhraniu pôda – atmosféra, sa viac prejavujú náhodné vplyvy a takéto „stabilné“ rozdelenie už nie je pozorovateľné.

Tab. 4 Mantelove testy korelácií mikrobiálnych charakteristík medzi rokmi v subhorizontoch pokrývkového humusu a v A-horizonte

Charakteristika	**Horizont**		
	Ol	**Of**	**A**
Respirácia bazálna	0.033	0.055	0.259***
Respirácia potenciálna	0.038	0.000	0.487***
Aktivita katalázy	0.166*	0.330***	0.682***

Hladina významnosti: *** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$, ns $P\geq0.05$

V uvedených prácach sme hodnotili variabilitu vybraných pôdnych parametrov v čistých, nezmiešaných bukových porastoch. Otázne je, ako sa odráža vplyv zmiešaného porastu (porast zložený z dvoch a viacerých drevín) na variabilite pôdnych vlastností. Rozdielne chemické zloženie asimilačného aparátu, konárov, borky atď. a rôzna rýchlosť ich dekompozície, rôzne nároky na spotrebu vody a živín, rôzny tvar koruny a následne ovplyvnenie mikroklimatických podmienok a pod., by teoreticky mali viesť k väčšej variabilite pôdnych vlastností v porovnaní s porastmi tvorenými jednou drevinou, čo koniec-koncov potvrdil aj Ferrari (1999), ktorý zistil, že heterogenita korunovej vrstvy sa odráža následne aj v heterogenite pokrývkového humusu. V niektorých štúdiách sa uvádza, že opad zmiešaný z viacerých drevín sa rozkladá rýchlejšie v porovnaní s opadom z jedného druhu dreviny, v iných štúdiách sa však tento fakt nepotvrdil (Prescott 2002). Obsiahle experimenty so zmiešaným opadom viacerých drevín naznačujú, že rýchlosť dekompozície je závislá ani nie tak od toho, či ide o zmes opadu viacerých drevín alebo nie, ale ide najmä o to a opad akej dreviny sa jedná. V literatúre pociťujeme výrazné vákuum v problematike nielen samotného vplyvu zmiešaných porastov z hľadiska synergických i antagonistických interakcií na pôdne vlastnosti, ale aj na ich variabilitu a priestorové súvislosti.

5.2.3 Úroveň stromu

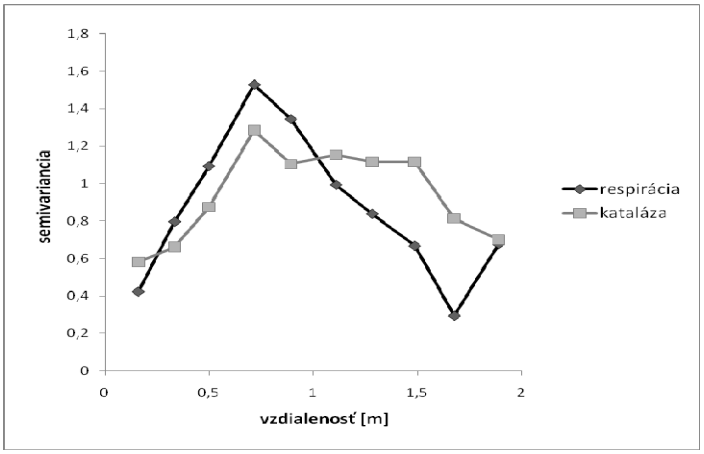
Nielen stromy sú ovplyvňované substrátom, na ktorom rastú, ale aj opačne, t.j. stromy môžu tiež výraznou mierou ovplyvňovať samotnú pôdu svojím korunovým priestorom a koreňmi. Už začiatkom šesťdesiatych rokov prišiel Zinke (1962) s konceptom tzv. „zóny vplyvu stromu“ (*single-tree influence circles*), podľa ktorého je krajina akousi mozaikou profilov, geneticky a priestorovo spätých s jednotlivými stromami. Tento koncept má dva aspekty: (1) v rámci tejto zóny vplyvu kolíšu pôdne vlastnosti so zmenou vzdialenosti od kmeňa a okraja koruny; (2) na ktoromkoľvek mieste pod korunou stromu sa pôdne vlastnosti líšia medzi rôznymi druhmi drevín. Vychádzajúc z tohto konceptu teda možno očakávať výrazné zmeny pôdnych vlastností pozdĺž hraníc zóny vplyvu rôznych druhov drevín (Boettcher *et* Kalisz 1990). Jeho správnosť bola potvrdená najmä pri ihličnatých drevinách vo vyššom veku a pri poliehavých stromoch.

Výrazný vplyv stromu sa však prejavuje nielen pri ihličnatých drevinách, ale aj pri listnatých, obzvlášť pri buku. Buk sa vyznačuje mimoriadne vysokým stokom po kmeni. Rozhodujúcim faktorom, určujúcim množstvo stečenej vody po kmeňoch, je uhol nasadenia konárov a charakter kôry (nepriamo teda druh a vek dreviny). Markantne je tento fakt viditeľný pri porovnaní stoku po kmeni u smreka a buka. Kantor (1984) uvádza pre buk hodnotu stoku po kmeni vo vegetačnom období 19,9 % zo zrážok voľnej plochy, zatiaľ čo pre smrek táto hodnota predstavuje len 1,4 %. V infiltračnej zóne pri kmeni sa vytvára zóna, tzv. zástera, kde sa dostáva do pôdy niekoľkonásobne viac vody ako mimo nej (Jochheim *et* Scheffer 1988). Stok po kmeni tu výrazne ovplyvňuje niektoré pôdne vlastnosti – napr. vlhkosť pôdy, objemovú hmotnosť, aciditu pôdy, obsah vápnika, horčíka, atď. (Papritz *et* Flühler 1991, Šály *et* Pichler 1993).

Variabilita fyzikálno-chemických vlastností pôd v zóne vplyvu stromu je predmetom štúdia viacerých prác. Priestorové zmeny mikrobiálnych charakteristík (bazálnej respirácie a aktivity katalázy) v zóne vplyvu buka sme hodnotili na základe analýz vzorek, odobratých v 20 cm odstupoch

(do vzdialenosti 1 m od stromu v zóne zástery každých 10 cm) pozdĺž niekoľkých línií okolo stromu (Gömöryová 2004e). Ako ukázali výsledky, obe charakteristiky aktivity mikrobiálnej činnosti sa vyznačovali na sledovaných líniách značnou variabilitou (pri respirácii bol V_x = 53,71 %, pri aktivite katalázy 28,81 %), naopak vlhkosť pôdy kolísala prekvapujúco podstatne menej (V_x = 19,86 %). So vzdialenosťou od stromu najlepšie korelovala aktivita katalázy. Na všetkých líniách boli hodnoty oboch charakteristík rozdelené náhodne okrem tej, ktorá viedla od kmeňa smerom nadol po svahu. Tu hodnoty oboch mikrobiálnych charakteristík exponenciálne klesali so vzdialenosťou od kmeňa, ale len do určitej vzdialenosti, čiže tu možno pozorovať priamy vplyv stromu. Ďalej už boli hodnoty oboch charakteristík rozdelené náhodne v dôsledku pôsobenia iných faktorov. Zaujímavým výsledkom je skutočnosť, že najvyššie hodnoty mikrobiálnej aktivity sme zaznamenali na tejto línii v bezprostrednej blízkosti kmeňa do vzdialenosti približne 0,5 m (obr. 3). Táto zóna býva síce najkyslejšia, ale na druhej strane, v tejto zóne sa pozoroval aj vyšší obsah organického uhlíka – voda zo stoku po kmeni môže obohatená o organický uhlík, v tesnej blízkosti kmeňa dochádza aj k akumulácii opadnutej borky (Gersper et Holowaychuk 1970). Organické látky sú významným zdrojom výživy heterotrofných mikroorganizmov, ich vyšší obsah môže podmieňovať aj vyššiu aktivitu mikroorganizmov.

Existujú viaceré dôkazy o tom, že korene vďaka exudátom ovplyvňujú chemizmus pôdy v ich bezprostrednej blízkosti, infiltráciu vody do pôdy, atď. Diskutabilnou je otázka, či korene stromov pri svojom raste vplývajú aj na redistribúciu pôdneho skeletu. Literatúra je v tomto smere veľmi skromná. Isté je, že korene nie sú schopné posúvať väčší skelet, ako vidieť pri vyvrátených stromoch. Avšak v dôsledku rastu koreňov sa zemina v ich blízkosti posúva a je celkom možné, že s touto zeminou sa posúva aj menší skelet (Phillips et Marion 2004).



Obr. 3 Štandardizované variogramy pre bazálnu respiráciu a aktivitu katalázy pod bukom

Ako uvádzajú Phillips *et* Marion (2004), v niektorých prípadoch (najmä pri podzoloch) sa vplyv individuálneho stromu na pôdu prejavuje tvorbou tzv. košíkových podzolov (*basket podzols*). Tento jav sa vyskytuje bezprostredne pod stromami, na miestach, kde akumulácia vody zo stoku po kmeni a organických kyselín vedie k intenzívnemu vymývaniu ílovej frakcie, zlúčenín železa a ďalších látok, vedúcich následne k zmene hĺbky eluviálneho aj iluviálneho podzolového horizontu; horizonty nadobúdajú tvar akéhosi „košíka“. Perzistencia „košíka“ aj po odumretí stromov je značná, čoho dôkazom je prítomnosť tohto fenoménu aj v paleopôdach. Tento jav umožňuje aj vysvetlenie priestorovej variability B-horizontu v spodosoloch Severnej Karolíny (Phillips *et* Marion 2005). Výsledky niektorých prác naznačujú, že vplyv individuálneho stromu pretrváva ešte niekoľko rokov po odumretí stromu a dalo by sa povedať, že strom zanecháva akúsi „pečať“, ktorá nám môže poskytnúť cenné informácie o histórii danej plochy, napr. rozmiestnení stromov, niektorých charakteristikách porastu, či ekologických premenných (Phillips *et* Marion 2004).

Nielen vplyv stojacich stromov sa odráža na variabilite pôdnych vlastností, ale aj v dôsledku silného vetra alebo námrazy padnuté stromy. Vývraty s koreňmi a s časťou pôdy nielen bezprostredne ovplyvňujú disturbanciu pôdy a redistribúciu zeminy, ale nepriamo zmenou mikrotopografie v dôsledku vytvorenia terénnych depresií a navŕšenia zeminy (tzv. *pit-and-mound*) ovplyvňujú

redistribúciu sedimentov, organického materiálu a vody, ale následne aj chemizmus pôdy, procesy zvetrávania a translokácie látok a vody. Terénne mikrodepresie a naopak vyvrátený materiál sa odlišujú mikroklimatickými podmienkami, možno pozorovať výrazné zmeny vo výške snehovej prikrývky a hĺbky premŕzania nakopeného a okolitého materiálu (Schaetzel 1990). Vplyv na pedogenézu je veľmi významný.

Najmä v prírodných lesoch (neobhospodarovaných) nachádzame často na pôdnom povrchu padnuté stromy (tzv. mŕtve drevo), ktoré vďaka atmosferíliám a živej zložky pôdy postupne podliehajú rozkladu. Ich dekompozíciou dochádza k lokálnej koncentrácii organickej hmoty a vylúhovaniu živín. Prítomnosť mŕtveho dreva ovplyvňuje chemickú (fulvokyseliny, humínové látky, a pod.), fyzikálnu (štruktúra, retencia,..) a biologickú (mykoríza, machorasty,..) kvalitu pôdneho prostredia na relatívne malej ploche.

5.3 ZÁVER

Výsledky našich doterajších štúdií naznačujú, že s narastajúcou rozľahlosťou výskumného priestoru síce nedochádza k výrazným zmenám vo variabilite pôdnych charakteristík, avšak mení sa priestorová distribúcia ich hodnôt. Pritom stromy významnou mierou prispievajú k priestorovému rozdeleniu hodnôt sledovaných parametrov. Výsledky tiež poukázali na fakt, že charakter priestorovej premenlivosti charakteristík vyznačujúcich sa časovou dynamikou je v značnej miere závislý na dobe odberu vzoriek.

Poďakovanie

Táto práca bola podporená vedeckou grantovou agentúrou VEGA 1/0227/10.

Literatúra

BOETTCHER S.E., KALISZ P.J. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology* 71: 1365-1372.

DECKER K.L.M., BOERNER R.E.J., MORRIS S.J. 1999. Scale-dependent patterns of soil enzyme activity in a forested landscape. *Can. J. For. Res.* 29: 232-241.

FERRARI J.B. 1999. Fine scale patterns of leaf litterfall and nitrogen cycling in an old growth forest. *Can. J. For. Res*. 29: 291-302.

GERSPER P.L., HOLOWAYCHUK N. 1970. Effect of stemflow water on Miami soil under a beech tree. Morphological and physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 779-786.

GÖMÖRYOVÁ E. 2004a. Ekoedafické podmienky rastu smrekových porastov na Slovensku. *Vedecké štúdie,* 8/2004/B, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 58 s.

GÖMÖRYOVÁ E. 2004b. Small-scale variation of microbial activities in a forest soil under a beech (*Fagus sylvatic*a L.) stand. *Pol. J. of Ecology,* 52(3): 311-321.

GÖMÖRYOVÁ E. 2004c. Priestorová variabilita niektorých mikrobiálnych charakteristík v bukovom poraste. *In: Rohošková E. (Ed.) Pedodiverzita. Pedologické dny 2004*, Roztoky u Křivoklátu, 34-35.

GÖMÖRYOVÁ E. 2004d. Vlhkosť pôdy v bukovom poraste – jej priestorová variabilita pri rôznych mierkach. *In: Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere*, 12th International Poster Day, Bratislava 25.11.2004, 122-127.

GÖMÖRYOVÁ E. 2004e. Spatial variability of microbial soil characteristics under a single beech tree. *Folia oecologica*, 30: 5-13.

GÖMÖRYOVÁ E., GREGOR J., PICHLER V., GÖMÖRY D. 2006. Spatial patterns of soil microbial characteristics and soil moisture in a natural beech forest. *Biologia*, Bratislava, 61/Suppl. 19: 1-5.

JOCHHEIM H., SCHEFFER H. 1988. „Die Baumfuss-Methode“ dargestellt anhand einer Untersuchung der Immissionsbelastung von Nordwest-Jugoslawischen Buchenwäldern (*Fagus sylvatica* L.) des Wienerwaldes. *Zeitschrift für Pflanzenernähr. Bodenk*. 151: 81-85.

KANTOR P. 1984. Vodní bilance smrku a buku ve vegetačním období. *Práce VÚLHM* 64: 219-262.

KARPAČEVSKIJ L.O. 1977. *Pestrota počvennogo pokrova v lesnom biogeocenoze*. Izd. Mosk. Univ., Moskva, 312s.

KOBZA J. 2004. Heterogenita a variabilita pôdnych vlastností vo vzťahu ku klasifikácii pôd. In: *Peodidverzita. Pedologické dny*, Roztoky u Křivoklátu, 20.-21.9.2004, 76-84.

LIN H., WHEELER D., BELL J., WILDING L. 2005. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. *Ecological modelling*, 182: 271-290.

MORRIS S.J., BOERNER R.E.J. 1998. Spatial distribution of fungal and bacterial biomass in southern Ohio hardwood forest soils: scale dependency and landscape patterns. *Soil Biol. Biochem*., 31: 887-902.

PAPRITZ A., FLÜHLER H. 1991. *Räumliche Variabilität von Bodenchemischen Grössen auf Transekten zwischen Bäumen (Beobachtungsfläche Längeren*). Ergebnisse aus dem NFP 14: 125-136.

PHILLIPS J.D., MARION D.A. 2005. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma*, 124: 73-89.

PRESCOTT C.E. 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cyling. *Tree Physiology,* 22: 1193-1200.

SÁŇKA M., KULHAVÝ J., KLIMO E. 2004. Variabilita půd, půdotvorných procesů a faktorů. In*: Pedodiverzita. Pedologické dny*, Roztoky u Křivoklátu, 20.-21.9.2004, s. 5-11.

SCHAETZL R.J. 1990. Effects of treethrow microtopography on the characteristics and genesis of spodosols, Michigan, USA, Catena 17:111-126.

ŠÁLY R., PICHLER V. 1993. Súčasné zmeny pôdnej reakcie v bučinách. *Acta Facultatis Forestalis* 35: 51-69.

ZINKE P.J. 1962. The pattern of individual forest trees on soil properties. *Ecology* 43: 130-133.

6. VLIV VLASTNOSTÍ JÍLOVÝCH POVLAKŮ AGREGÁTŮ NA PROUDĚNÍ VODY V PŮDĚ

6 An influence of clay coatings of aggregates on water flow in soil

Miroslav Fér, Radka Kodešová*

ABSTRAKT
V tomto příspěvku je prezentována nová (modifikovaná) metoda pro stanovení hydraulických vlastností organominerálních povlaků, jejichž výskyt je charakteristický pro některé půdy. Znalosti o výskytu těchto povlaků, jejich struktury a hydraulických vlastností jsou nezbytné pro přesnější popis preferenčního proudění vody a transportu kontaminantů v půdním prostředí. Cílem této práce, bylo popsat hydraulické vlastnosti jílových povlaků v iluviálním horizontu hnědozemě modální v Hněvčevsi (Hradec Králové, Česká republika). Agregáty byly odebrány z horizontu Bt_2. Nejdříve byla na všech vzorcích měřena retenční čára půdních vlhkostí. Parametry retenční čáry byly vyhodnoceny programem RETC. Dále byla měřena intenzita vzlínání vody ze sytítka do agregátů bez povlaků a s povlaky. Kumulativní infiltrace v čase měřená pro agregáty bez povlaků a parametry retenční čáry půdní vlhkosti byly použity jako vstupní data pro numerickou optimalizaci nasycené hydraulické vodivosti K_S zkoumaných agregátů pomocí modelu HYDRUS-1D. Následně byl program HYDRUS-1D využit pro optimalizaci nasycené hydraulické vodivosti $K_{S,A}$ jílových povlaků. V tomto případě byla analyzována kumulativní infiltrace v čase měřená pro agregáty s povlaky. Parametry získané pomocí programu RETC charakterizovaly jak retenční čáru půdní vlhkosti agregátů, tak jílových povlaků. Nasycená hydraulická vodivost K_S zkoumaných agregátů byla převzata z předcházející optimalizace. Výsledky potvrdily hypotézu, že jílové povlaky zpomalují průnik vody do agregátů. Voda do agregátů bez jílových povlaků infiltrovala rychleji než do agregátů s povlaky. Nasycené hydraulické vodivosti $K_{S,A}$ jílových povlaků byly o jeden řád nižší než nasycené hydraulické vodivosti K_S agregátů. Snížená infiltrace vody do půdních agregátů obyčejně zvýší intenzitu preferenčního proudění.
Klíčová slova: půdní struktura, organominerální povlaky, preferenční proudění, HYDRUS- 1D

ABSTRACT
A new (modified) method for measuring hydraulic properties of organomineral coatings, which occur in some soils, is presented in this article. Knowledge of coating occurrence, structure and hydraulic properties is required for more precise description of a preferential flow and contaminant transport in soils. The aim of this study was to describe hydraulic properties of clay coatings in the iluvial horizon of Haplic Luvisol in Hněvčeves (Hradec Králové, Czech Republic). Aggregates were taken from the Bt_2 horizon. First, soil water retention curve was measured on all soil aggregates. Parameters of soil water retention curve were obtained using the RETC program. Then capillary rise from the saturation pan into the aggregates without and with clay coatings was measured. Cumulative infiltration in time measured for aggregates without clay coatings and parameters of the retention curve were used as input data for a numerical optimization of the saturated hydraulic conductivity, K_S, of investigated aggregates using the HYDRUS-1D program. Program HYDRUS-1D was also applied for the optimizing saturated hydraulic conductivity, $K_{S,A}$, of clay coatings. In this case, the cumulative infiltration in time, measured for aggregates with coatings, were analyzed. Parameters obtained using the RETC code characterized retention curves of both, aggregates and clay coatings. Saturated hydraulic conductivity, K_S, of aggregates from previous optimization was assumed. Results confirmed hypothesis that organomineral coatings slow down water flow into the soil aggregates. Water infiltrated into the soil aggregates without clay coatings faster than into the aggregates with coatings. The saturated hydraulic conductivities, $K_{S,A}$, of clay coatings were one order of magnitude lower than the saturated hydraulic conductivities, K_S, of aggregates. Decreased water infiltration into the soil aggregates usually increases preferential flow intensity.
Keywords: soil structure, organomineral coatings, preferential flow, HYDRUS- 1D

---

* Mgr. Miroslav Fér, PhD., doc. Ing. Radka Kodešová, CSc., Katedra pedologie a ochrany půd, Česká zemědělská univerzita v Praze, 165 21 Praha 6 – Suchdol, ČR, e-mail: mfer@af.czu.cz

6.1 ÚVOD

Proudění vody a transport látek patří k nejvýznamnějším procesům, které v půdě probíhají. Řada pozorování prokázala, že proudění vody není často rovnoměrné a může být ovlivněno preferenčními cestami. V současné době je možné najít řadu prací, které se zabývají výskytem preferenčního proudění v půdě. Tyto studie jsou založeny na různých matematických a experimentálních přístupech. Problém preferenčního proudění je popsán například v Gerke (2006), Jarvis (2007), Šimůnek *et al.* (2008a) a Köhne *et al.* (2008). Výskyt a intenzita preferenčního proudění je podmíněna půdní strukturou. Preferenční proudění bylo pozorováno v půdách, kde se vyskytovaly pukliny a biopóry, a v půdách s dobře vyvinutými půdním agregáty. Vliv struktury a stability půdních agregátů na proudění vody a transport rozpuštěných látek byl studován Kodešovou *et al.* (2008, 2009a, 2009b, 2011, 2010). Intenzita preferenčního proudění je v těchto půdách významně ovlivněna intenzitou průniku vody z pórů mezi půdními agregáty do pórů uvnitř agregátů (Kodešová *et al.*, 2010). Půdní agregáty bývají často pokryty jílovými nebo jílovito-organickými povlaky, které jsou podél preferenčních cest vytvořeny právě díky transportu látek z vyšších vrstev půdy (Gerke a Köhne, 2002, Kodešová *et al.*, 2006). Hydraulické vlastnosti povlaků na povrchu agregátů jsou většinou při numerickém modelování preferenčního proudění odhadovány (Kodešová *et al.*, 2008, 2009b, 2010). Přímým měřením hydraulických vlastností povlaků se zabývali Gerke a Köhne (2002), kteří vyjádřili nasycenou hydraulickou vodivost povlaků na základě sorptivit zjištěných z kumulativních infiltrací vody do agregátů bez a s povlaky. Další studie, která se zabývala problémem povrchové vrstvy agregátů, je práce uveřejněná Köhnem *et al.* (2002). V této studii je vyhodnocována efektivní difúzivita. Složením organické hmoty na površích agregátů a jejich vlivem na transport vody se dále zabýval Leue *et al.* (2010).

Cílem této studie bylo popsat vliv jílových povlaků na transport vody do půdních agregátů. Úkolem bylo změřit hydraulické vlastnosti agregátů bez povlaku a hydraulické vlastnosti jílových povlaků. K tomu účelu byly provedeny podobné experimenty jako v práci prezentované Gerkem a Köhnem (2002). Parametry hydraulických funkcí však byly získány metodou novou a to numerickou inverzí měřených transientních dat.

6.2 MATERIÁL A METODY

Vzorky pro tento experiment byly odebrány v lokalitě Hněvčeves (Hradec Králové, Česká republika). Půdní typ byl určen jako hnědozem modální na spraši. V profilu byly popsány tyto diagnostické horizonty: Ap_1 (0-29cm), Ap_2 (29-40 cm), Bt_1 (40-75 cm), Bt_2 (75-102 cm), BC (102 – 120 cm) a Ck (120-140 cm). Na této lokalitě je dlouhodobě prováděn výzkum z hlediska stability agregátů, proudění vody a transportu pesticidů (Kodešová *et al.*, 2006, 2008, 2009a,b, 2010, 2011, Leue *et al.*, 2010).

Pro vlastní pokus byly použity agregáty z horizontu Bt_2. Na těchto agregátech byly dobře rozeznatelné jílovité povlaky. Vzorky byly upraveny tak, že byla část agregátů ponechána s jílovými povlaky a druhá část byla povlaků zbavena. Povlaky byly pečlivě seříznuty na spodní straně.

Nejdříve byla na těchto vzorcích měřena retenční čára půdních vlhkostí. Pro její měření byl sestaven jílový tank. Původně na vzduchu vysušené agregáty byly seříznutou stranou vloženy na povrch jílové vrstvy pokryté membránou. Byla měřena zvlhčovací větev retenční čáry půdní vlhkosti. Aplikované tlakové kroky byly tyto: -220, -180, -140, -100, -70, -50, -30, -15 a -5 cm. Objemové vlhkosti půdních agregátů byly změřeny gravimetricky.

Dále byla měřena intenzita vzlínání vody ze sytítka do agregátů bez povlaků a s povlaky. Pro tento experiment byla sestavena aparatura (obr. 1) umožňující měřit kumulativní infiltraci do agregátů v čase. Skládala se podobně jako aparatura užitá Gerkem a Köhnem (2002) ze sytítka (tvořeného z vrstev písku, jílu a membrány) a zásobníku vody. Intenzita vzlínaní byla zjištěna kontinuálním vážením zásobníku vody. Kumulativní infiltrace byla měřena dvakrát, pro nastavenou tlakovou výšku -5 cm a -1 cm. Vlhkost agregátů na počátku měření kumulativní infiltrace (tj. při umístění na sytítko) odpovídala tlakové výšce -210 cm. Pro dosažení tohoto nasycení vodou byly agregáty jak s povlaky, tak bez povlaků vloženy na jílový tank při nastavené tlakové výšce -210 po dobu nezbytnou k dosažení stacionárního stavu (4 dny).

Obr. 1 Aparatura pro měření kumulativního vzlínání (infiltrace) vody ze sytítka do půdních agregátů

Měřená data byla vyhodnocena za předpokladu, že proudění vody lze popsat pomocí Richardsovy rovnice (Richards, 1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K(h)\frac{\partial h}{\partial z}\right) + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \qquad \textbf{(1)}$$

kde θ je objemová vlhkost [L^3L^{-3}], *t* je čas [T], *z* je souřadnicová osa [L], *K(h)* je nenasycená hydraulická vodivost [LT^{-1}] a *h* je tlaková výška [L].

V Richardově rovnici vystupují 2 hydraulické vlastnosti: retenční čára půdní vlhkosti a hydraulická vodivost. Retenční čára půdní vlhkosti může být vyjádřena pomocí van Genuchtenovy rovnice (van Genuchten, 1976):

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \qquad \theta_e = \frac{1}{\left(1 + (\alpha|h|)^n\right)^m}, \quad h < 0, \qquad \theta_e = 1, \quad h \geq 0 \qquad \textbf{(2)}$$

kde θ_e je efektivní vlhkost [-], θ_R je residuální vlhkost [L^3L^{-3}], θ_S je nasycená vlhkost [L^3L^{-3}], α [L^{-1}], *n* [-] a *m* [-] jsou parametry.

Nenasycené hydraulické vodivosti lze vyjádřit pomocí následující rovnice (van Genuchten, 1980):

$$K(\theta) = K_s\ \theta_e^{0.5}\left[1 - (\ 1 - \theta_e^{1/m}\ )^m\ \right]^2, \qquad m = 1 - 1/n, \qquad n > 1, \quad K(\theta) = K_s, \quad h \geq 0 \qquad \textbf{(3)}$$

kde je K_s je nasycená hydraulická vodivost [LT^{-1}].

Parametry funkcí (2) a (3), popisujících hydraulické vlastnosti agregátů bez povlaku a hydraulické vlastnosti jílových povlaků, byly zjištěny následujícím způsobem. Narozdíl od metody pro hodnocení hydraulických vlastností jílových povlaků na základě měřené retence vody a sorptivity publikované Gerkem a Köhnem (2002), naše metoda využívá numerické inverzní modelování. Parametry retenční čáry půdní vlhkosti byly získány pomocí programu RETC (van Genuchten, 1991) tak, že byly proloženy body retenční čára půdní vlhkosti měřené na jílovém tanku. Dále bylo předpokládáno, že tyto parametry charakterizují jak agregáty, tak jílový povlak (Šimůnek *et al.*, 2008b).
Nasycené hydraulické vodivosti K_S zkoumaných agregátů byly zjištěny numerickou inverzí programem HYDRUS-1D (Šimůnek *et al.*, 2008b) z průběhu kumulativní infiltrace v čase měřeného pro agregáty bez povlaků. Simulace byla provedena pro jednovrstevné prostředí o výšce 0,8 cm. Počáteční podmínka odpovídala tlakové výšce -210 cm. Okrajová podmínka na horním okraji byla zadána jako nulový tok. Okrajová podmínka na spodním okraji byla zadána jako tlaková výška -5 nebo -1 cm. Parametry α, *n*, θ_R a θ_S získané pomocí programu RETC byly při numerickém modelování zadány a nasycené hydraulické vodivosti K_S agregátů byly optimalizovány tak, aby simulovaný průběh kumulativní infiltrace odpovídal měřenému průběhu.

Následně byl program HYDRUS-1D využit pro optimalizaci nasycené hydraulické vodivosti $K_{S,A}$ jílových povlaků. V tomto případě byla analyzována kumulativní infiltrace v čase měřená pro agregáty

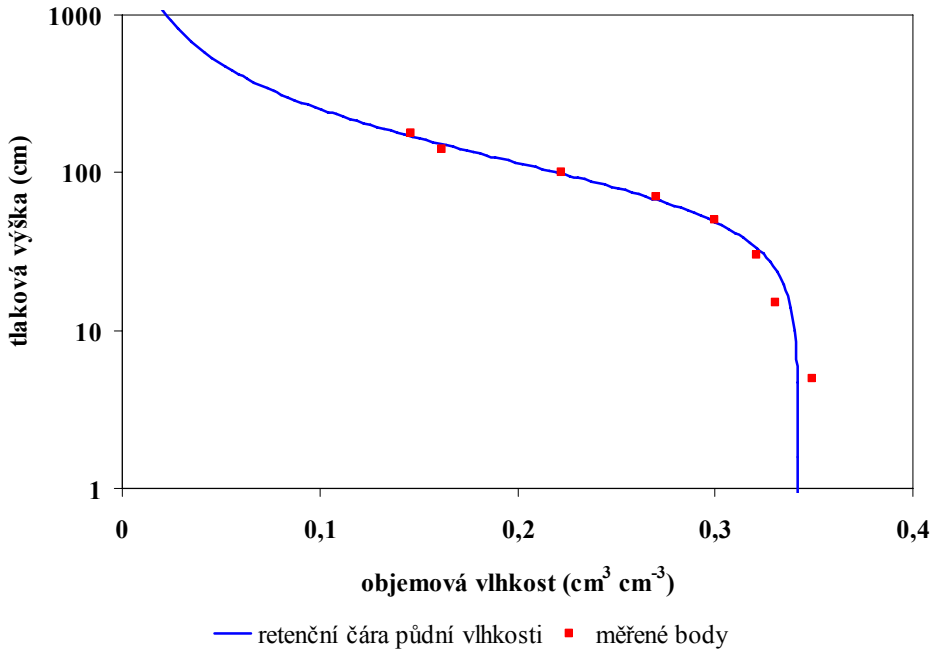
s povlaky. Simulace byla provedena pro dvouvrstevné prostředí o celkové výšce 0,8 cm (výška povlaku 0,011 cm a výška agregátu 0,789 cm). Šířka povlaků agregátů byla změřena z mikromorfologických snímku půdních výbrusů (Kodešová *et al.*, 2006). Počáteční podmínka opět odpovídala tlakové výšce -210 cm. Okrajové podmínky byly definovány jako nulový tok (na horním okraji) a tlaková výška -5 nebo -1 cm (na spodním okraji). Jak již bylo zmíněno, parametry α, n, θ_R a θ_S získané pomocí programu RETC charakterizovaly jak retenční čáru půdní vlhkosti agregátu, tak jílového povlaku. Nasycená hydraulická vodivost K_S agregátů byla převzata z předcházející optimalizace.

6.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledné parametry retenční čáry půdní vlhkosti α, n, θ_R a θ_S získané pomocí programu RETC proložením měřeného průběhu retenční čáry pro agregáty bez povlaků a jsou uvedeny v tab. 1. Měřené body retenční čáry půdní vlhkosti a proložený průběh jsou také vykresleny v obr. 2.

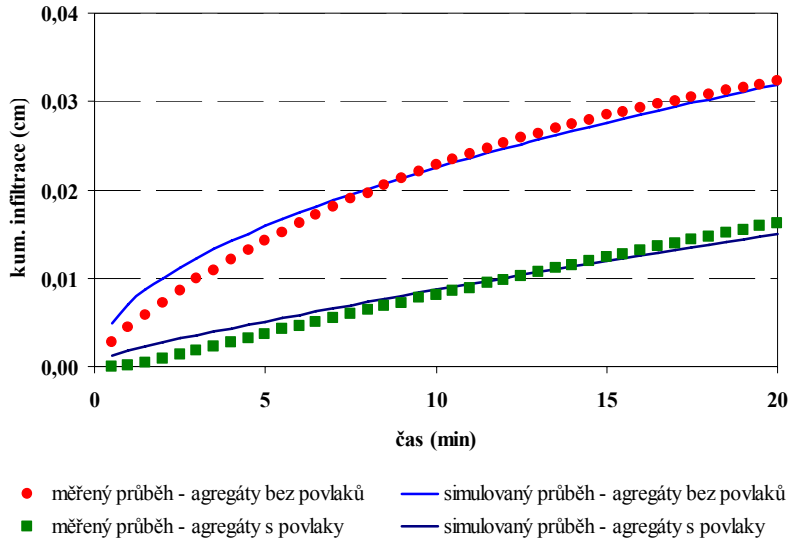
Tab. 1 Hodnoty parametrů θ_R, θ_S, α, n, K_S a $K_{S,A}$ (pro agregáty a jílové povlaky) vypočtených pomocí programu RETC a numerickou inverzí programem HYDRUS-1D

Parametr	**Agregáty**	**Jílové povlaky**
θ_R (cm^3 cm^{-3})	0	0
θ_S (cm^3 cm^{-3})	0,341	0,341
α (cm^{-1})	0,0113	0,0113
n (-)	2,119	2,119
K_S / $K_{S,A}$ (cm min^{-1}) pro tlakovou výšku -5 cm	3,65 10^{-6}	2,69 10^{-7}
K_S / $K_{S,A}$ (cm min^{-1}) pro tlakovou výšku -1 cm	4,08 10^{-6}	2,65 10^{-7}

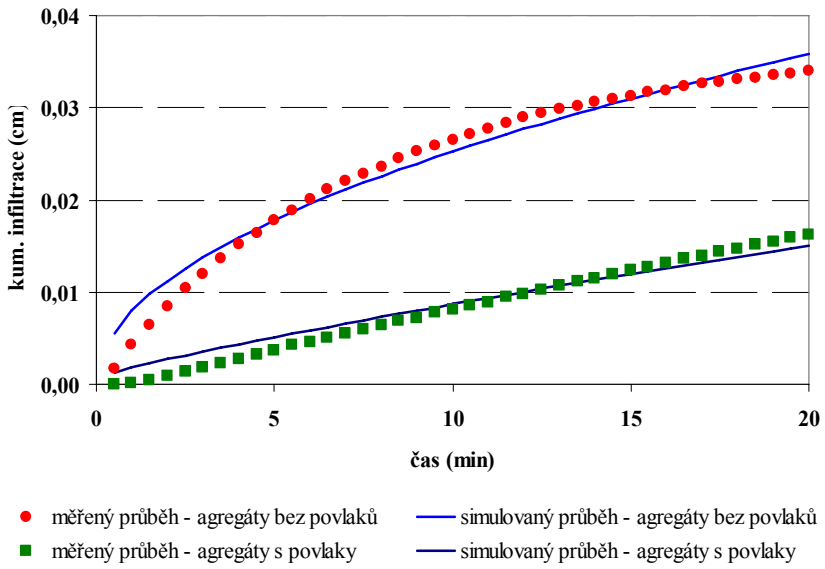


Obr. 2 Retenční čára půdní vlhkosti agregátů a jílových povlaků

Měřené a simulované kumulativní infiltrace v čase pro agregáty bez povlaků a s povlaky jsou zobrazeny v obr. 3 a 4. Výsledky získané měřením a simulací při tlakové výšce -5 cm jsou ukázány v obr. 3. Výsledky získané měřením a simulací při tlakové výšce -1 cm jsou ukázány v obr. 4. Z výsledků vyplývá, že intenzita infiltrace do agregátů s jílovými povlaky je v obou případech nižší než do agregátů bez povlaků. Tím byla potvrzena hypotéza, že jílové povlaky na povrchu agregátů zpomalují transfer vody do půdních agregátů.



Obr. 3 Kumulativní infiltrace do agregátů bez povlaku a s povlakem měřená a simulovaná modelem HYDRUS-1D při tlak. výšce -5 cm



Obr. 4 Kumulativní infiltrace do agregátů bez povlaku a s povlakem měřená a simulovaná modelem HYDRUS-1D při tlak. výšce -1 cm

Výsledné hodnoty nasycených hydraulických vodivostí získaných numerickou optimalizací z měřených kumulativních infiltrací při tlakové výšce -5 a -1cm jsou ukázány v tab. 1. Výsledky opět potvrdily rozdílný charakter agregátů a povlaků. Nasycené hydraulické vodivosti jílových povlaků $K_{S,A}$ jsou o řád nižší než nasycené hydraulické vodivosti u agregátů K_S. Zatímco nasycené hydraulické vodivosti u povlaků $K_{S,A}$ jsou pro oba (při tlakové výšce -5 nebo 1 cm) infiltrační experimenty přibližně stejné, nasycené hydraulické vodivosti u agregátů K_S se liší. Mírně vyšší hodnota byla zjištěna pro tlakovou výšku -1 cm než -5 cm. Důvodem je patrně vyšší nasycení měřených vzorků agregátů v důsledku aplikovaného tlaku -1 cm a tudíž přiblížení se k nasycenému stavu.

6.4 ZÁVĚR

V tomto příspěvku byla předložena nová (modifikovaná) metoda pro stanovení hydraulických vlastností organominerálních povlaků, jejichž výskyt je charakteristický pro některé půdy. Výsledky jasně ukázaly, že jílové povlaky viditelně zpomalují průnik vody do půdních agregátů. Nasycené

hydraulické vodivosti $K_{S,A}$ jílových povlaků byly o jeden řád nižší než nasycené hydraulické vodivosti K_S agregátů. Dřívější studie Kodešové *et al*. (2010) ukázala, že snížená infiltrace vody do půdních agregátů významně zvýší intenzitu preferenčního proudění, tj. urychlí transport vody a rozpuštěných látek (kontaminantů) v půdním profilu. Voda a kontaminanty jsou tak šířeny do větších hloubek a následně i do podzemních vod.

Poděkování

Autoři děkují za finanční podporu Grantové agentuře České republiky (grant č. GA CR 526/08/0434) a Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (grant č. MSM 6046070901). Autoři také děkují Karlovi Němečkovi za pomoc při terénních pracích, Veronice Jirků za přípravu agregátů a Alešovi Klementovi za pomoc v laboratoři.

Literatura

GERKE H.H. 2006. Review article. Preferential Flow Descriptions for Structured Soils. *Plant Nutr. Soil Sci*. 169: 382-400.

GERKE H.H., KÖHNE J.M. 2002. Estimating Hydraulic Properties of Soil Skins from Sorptivity and Water Retention. *Soil Sci. Soc. Am.* J. 66: 26-36.

JARVIS N. 2007. Review of Non-equilibrium Water and Solute Transport in Soil Macropores: Principles, Controlling Factors and Consequences for Water Quality. *Europ. J. Soil. Sci*. 58: 523-546.

KÖHNE J.M., GERKE H.H., KÖHNE S. 2002. Effective Diffusion Coefficients of Soil Aggregates with Surface Skins. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1430-1438.

KÖHNE J.M., KÖHNE S., ŠIMŮNEK J. 2008. A Review of Model Applications for Structured Soils: a) Water Flow and Tracer Transport. *J. Contam. Hydrol.* 104(1-4): 4-35.

KODEŠOVÁ R., JIRKŮ V., KODEŠ V., MÜHLHANSELOVÁ M., NIKODEM A., ŽIGOVÁ A. 2011. Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. *Soil Till, Res.* 111 (2): 154-161.

KODEŠOVÁ R., ROHOŠKOVÁ M., ŽIGOVÁ A. 2009a. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage usány various laboratory tests. *Biologia,* Bratislava. 64. (3): 550-554.

KODEŠOVÁ, R., ŠIMŮNEK J., NIKODEM A., JIRKŮ V. 2010. Estimation of parameters of the radially-symmetric dual-permeability model using tension disc infiltrometer and Guelph permeameter experiments. *Vadose Zone Journal.* 9: 213-225.

KODEŠOVÁ R., KOČÁREK M., KODEŠ V., ŠIMŮNEK J., KOZÁK J. 2008. Impact of soil micromorphology features on water flow and herbicide transport in soils. *Vadose Zone J.,* Special Issue "Vadose Zone Modeling". 7(2): 798-809.

KODEŠOVÁ R., KODEŠ V., ŽIGOVÁ A., ŠIMŮNEK J. 2006. Impact of plant roots and soil organisms on soil micromorphology and hydraulic properties. *Biologia*, Bratislava. 61 (19): 339-343.

KODEŠOVÁ R., VIGNOZZI N., ROHOŠKOVÁ M., HÁJKOVÁ T., KOČÁREK M., PAGLIAI M., KOZÁK J., ŠIMŮNEK J. 2009b. Impact of varying soil structure on transport processes in different diagnostic horizons of three soil types, *J. Contam. Hydrol.* 104: 107-125.

LEUE M., ELLERBROCK, R.H., GERKE, H.H. 2010. DRIFT Mapping of Organic Matter Composition at Intact Soil Aggregate Surfaces. *Vadose Zone J.* 9: 317-324.

RICHARDS L. A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. *Physics. 1*: 318-333.

ŠIMŮNEK J., KÖHNE M., KODEŠOVÁ R., ŠEJNA M. 2008a. Simulating Nonequilibrium Movement of Water, Solutes and Particles Using HYDRUS – A Review of Recent Applications. *Soil Water Res.* 3 (S1): S42-S51.

ŠIMŮNEK J., ŠEJNA M., SAITO H., SAKAI M., VAN GENUCHTEN M. Th. 2008b. *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3*. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, pp. 315.

VAN GENUCHTEN M.Th., WIERENGA P.T. 1976. Mass transfer studies in sorbing porous media: I. Analytical solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 473-480.

VAN GENUCHTEN M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.

VAN GENUCHTEN M.Th., ŠIMŮNEK J., LEIJ F.J., ŠEJNA M. 1991. *RETC, Version 6.0, Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils*, US Salinity Laboratory, ISDA, ARS, Riverside, CA, USA.

7. HODNOCENÍ PUFRAČNÍ SCHOPNOSTI ČERNOZEMÍ A REGOZEMÍ

7 An evaluation of buffering capacity of Chernozems and Regosols

Jiří Martinec, Jan Hladký, Ľubica Pospíšilová, Eduard Pokorný*

ABSTRAKT
Pufrovitost půdy je definována jako schopnost půdy odolávat změnám půdní reakce. Tato vlastnost půdy je velmi důležitá a může být užita pro řadu účelů (zemědělství, ekologie). Cílem naší práce bylo klasifikovat ústojnost půd v ornici vybraných půdních typů. Porovnána byla pufrační schopnost černozemí a regozemí. Pufrační schopnost půd byla hodnocena pomocí kvantitativních a kvalitativních parametrů. Mezi kvalitativní znaky (=cm^2) patří: a) pufrovitost vůči kyselinám (AP), b) pufrovitost vůči bazím (BP), c) celková tlumivost (TP). Mezi kvalitativní parametry patří: a) acido-bazický index pufrovitosti (ABIP), b) acido-totální index pufrovitosti (ATIP). V úvahu byly také brány půdní vlastnosti jako půdní reakce (pH/H_2O, pH/KCl), zrnitost, C_{ox}, $Q_{4/6}$ a obsah uhličitanů. Výsledky ukázaly, že regozemě mají nízkou pufrační schopnost vůči kyselinám. Oproti tomu, černozemě mají vysokou pufrační schopnost vůči zásadám i kyselinám.
Klíčová slova: acidifikace, alkalizace, pufrační schopnost, černozem, regozem

ABSTRACT
In generally, soil buffering capacity is defined as ability to buffer acids and alkali adding to the soil. It represents very important soil characteristic and could be used for many purposes (e.g. agricultural practice and ecology). The main goal of our work was to provide parameterization and classification of buffering capacity in the topsoil because it is still missing. Our contribution gave comparison of buffering capacity in Chernozems and Regosols at nine selected localities in the Czech Republic. Buffering capacity was evaluated by the quantitative parameters (= cm^2) as follows: a) buffering against acids adding (AP); b) buffering against alkali adding (BP); and c) sum of buffering (TP). Qualitative parameters were: a) acid-basic index of buffering (ABIP); and b) total acid-basic index of buffering (ATIP). Also selected soil properties such as soil reaction (pH/H_2O, pH/KCl), texture, C_{ox}, $Q_{4/6}$ and carbonates content were taken into consideration. Results showed low buffering capacity against acids in Regosols. On the other hand Chernozems had high buffering capacity against acids. Chernozems also showed high buffering capacity against alkali.
Keywords: acidification, alkalization, buffering capacity, Chernozems, Regosols

7.1 ÚVOD

Tlumivost půd je důležitou půdní a ekologickou vlastností, které zatím není věnována dostatečná pozornost. Pufrovitost může být stručně charakterizována jako schopnost půdy odolávat působení kyselin a zásad, tedy v úzkém slova smyslu tlumit výkyvy pH směrem do kyselé i zásadité oblasti (Jandák a kol., 2003). Schopnost odolávat působení kyselin a zásad není u všech půdních typů stejná. Například výrazně závisí na obsahu a složení koloidní frakce, na stupni nasycení sorpčního komplexu, na obsahu karbonátů, na obsahu organické hmoty a její kvalitě aj. Bude-li kyselina či zásada přidávaná do půdy s dostatkem pufračních složek (půdy jílovité, humózní, karbonátové nebo zasolené), nedojde k téměř žádné změně pH. Naopak, bude-li kyselina či zásada přidávána do půdy písčité, slabě humózní nebo půdy bez uhličitanů, dojde k významné změně pH. Tato skutečnost musí být brána v úvahu nejen při aplikaci fyziologicky kysele či zásaditě působících hnojiv. Je proto důležité znát tlumivou schopnost jednotlivých půdních představitelů a sjednotit klasifikaci půdní tlumivosti.

---

* Ing. Jiří Martinec, PhD., Ing. Jan Hladký, RNDr. Ľubica Pospíšilová, CSc., doc. Ing. Eduard Pokorný, CSc., Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ČR, e-mail: xmartin9@node.mendelu.cz

Naším záměrem bylo sledování dvou rozdílných půdních typů (regozem a černozem), měření jejich pufrační síly a hledání statistické průkaznosti mezi uvedenými půdními vlastnostmi. Dalšími sledovanými půdními vlastnostmi byly: pH/H_2O, pH/KCl, C_{ox}, $Q_{4/6}$, půdní zrnitost, resp. množství jílnatých částic (částice menší než 0,01 mm).

7.2 MATERIÁL A METODIKA

Vzorky jednotlivých půdních typů byly odebrány celkem na devíti lokalitách, na území České republiky a vždy se jednalo o ornou půdu. Odebírány byly z profilu odpovídajícího mocnosti ornice, tedy hloubky jejího základního zpracování. Odebraly se 3 vzorky půdního typu regozem (RG) a 6 vzorků půdního typu černozem (CE). Následovalo jejich sušení a prosévání přes 2 mm síto dle pokynů uvedených v metodice pracovních postupů (Zbíral a kol., 1997). Vzniklá jemnozem již sloužila k jednotlivým analýzám.

Stanovení **aktivní** půdní reakce (pH/H_2O) jsme zjistily potenciometrickým měřením koncentrace H^+ iontů ve vodní suspenzi.

Stanovení **výměnné** půdní reakce (pH/KCl): draselnými ionty se vytěsní ionty vodíku poutané sorpčním komplexem půdy a elektrometricky se změří výměnná reakce půdy (pH/KCl). Poměr zemina : množství KCl respektive H_2O byl 1 : 2,5 (Pokorný a Denešová, 2005).

Obsah **uhličitanů** byl stanoven Jankovým vápnoměrem (Jandák a kol., 2003).

Stanovení **oxidovatelného uhlíku** (C_{ox}): oxidovatelný organicky vázaný uhlík v zemině se oxiduje kyselinou chromovou (dvojchromanem draselným) v prostředí nadbytku kyseliny sírové za definovaných podmínek. Nespotřebovaná kyselina chromová se stanoví titrací roztokem Mohrovy soli s vizuální indikací konce titrace (Zbíral a kol., 1997).

Stanovení **barevného indexu** ($Q_{4/6}$): hodnota barevného indexu se vypočítá jako poměr absorbance huminových kyselin při vlnové délce 465 nm a 665 nm (Pospíšilová, Tesařová, 2009).

Stanovení půdní **zrnitosti** se provedlo pipetovací metodou, kde se půdní částice dispergují varem s alkalickým roztokem $(NaPO_3)_6$ (Zbíral a kol., 1997).

Stanovení **pufrační schopnosti**: roztokem 0,5 molárního chloridu vápenatého se vytěsní vodíkové ionty. K jednotlivým navážkám stejného půdního vzorku se přidává stoupající množství NaOH (do jedné řady) a stoupající množství HCl do druhé řady. Stanovené hodnoty pH jednotlivých vzorků se vynesou do grafu proti danému množství HCl a NaOH a spojí se do titračních křivek.

Totéž se provede se vzorky mořského písku jako standardu. Plocha sevřená křivkou pH půdního vzorku a písku udává hodnotu tlumivosti (obvykle se tlumivost vyjádří plošně v cm^2) (Jandák a kol., 2003).

Získáváme tak celkem pět indikátorů tlumivosti, kdy první tři jsou uvedeny v cm^2. Je to pufrovitost vůči kyselinám (AP), pufrovitost vůči bazím (BP), celková tlumivost (TP = AP + BP). Dalším ukazatelem je acido-bazický index pufrovitosti (ABIP = AP/ BP), který je uveden v bezrozměrných jednotkách. Posledním indikátorem je acido-totální index pufrovitosti (ATIP = (AP/TP) * 100), který se udává v procentech. Hodnocení uvedených ukazatelů bylo provedeno podle klasifikačních tabulek – viz tab. 1 a 2 (Martinec, 2010).

Tab. 1 Klasifikační tabulka pro kvantitativní ukazatele pufrovitosti půdy (AP, BP, TP)

	Slovní vyjádření	**AP** (cm^2)	**BP** (cm^2)	**TP** (cm^2)
1.	**velmi slabá**	< 11,00	< 22,00	< 28,00
2.	**slabá**	11,01–19,00	22,01–29,00	28,01–38,00
3.	**střední**	19,01–27,00	29,01–36,00	38,01–48,00
4.	**silná**	27,01–35,00	36,01–43,00	48,01–58,00
5.	**velmi silná**	> 35,01	> 43,01	> 58,01

Vše bylo statisticky vyhodnoceno na základě jednofaktorové analýzy variance.

Tab. 2 Klasifikační tabulka pro kvalitativní ukazatele pufrovitosti půdy (ABIP, ATIP)

	Slovní vyjádření	ABIP	ATIP (%)
1.	**velmi silně acidoidní**	< 0,450	< 30,95
2.	**silně acidoidní**	0,451–0,580	30,96–36,67
3.	**slabě acidoidní**	0,581–0,820	36,68–45,00
4.	**neutrální**	0,821–1,220	45,01–55,00
5.	**slabě bazoidní**	1,221–1,730	55,01–63,33
6.	**silně bazoidní**	1,731–2,230	63,34–69,05
7.	**velmi silně bazoidní**	> 2,231	> 69,06

7.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

7.3.1 Pufrační schopnost půdy proti kyselinám (AP)

Průměrná hodnota veličiny AP pro černozem byla 34,64 cm^2, což odpovídá silné schopnosti tlumit přísun kyselin. Rozsah tohoto ukazatele se pohyboval od hodnoty 23,06 cm^2 (střední AP) do 41,52 cm^2 (velmi silná AP). Oproti tomu rozsah hodnot naměřených pro regozem se pohyboval od 3,11 cm^2 (velmi slabá AP) do 6,82 cm^2 (velmi slabá AP), s průměrnou hodnotou 4,43 cm^2 (velmi slabá AP). To znamená, že černozemě tlumí téměř 8-krát lépe přísun kyselin než-li půdní typ regozem. Jinými slovy, regozemě velmi snadno změní původní hodnotu pH po přidání např. fyziologicky kyselých hnojiv. Tento trend lze přibližně odhadnout z veličin jako je půdní reakce, obsah uhličitanů, obsah oxidovatelného uhlíku, kvalita humusu a obsah jílnatých částic.

Tab. 3 Průměrné hodnoty jednotlivých ukazatelů půdního typu černozem a regozem

Půdní typ	AP	BP	TP	ABIP	ATIP	pH/H_2O	pH/KCl	$CaCO_3$	C_{ox}	$Q_{4/6}$	< 0,01
	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)		(%)			(%)	(%)		(%)
Černozem (CE)	34,64	21,92	56,56	1,62	60,61	7,73	7,08	3,63	1,50	3,94	35,90
Regozem (RG)	4,43	19,66	24,09	0,22	17,89	5,94	4,75	0,00	0,89	7,21	7,80

V publikaci Martinec (2010) je uvedena celá řada statisticky významných korelací mezi ukazateli tlumivosti a výše zmíněnými charakteristikami, avšak nejsilnější vztah byl nalezen mezi AP a pH/KCl (R^2 = O,74). Autor dále uvádí, že na základě takto silného vztahu lze tlumivost AP určit nepřímo z hodnoty výměnné půdní reakce. Mezi sledovanými půdními typy byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl (tab. 4).

Tab. 4 Statisticky průkazné rozdíly mezi vybranými půdními typy (černozem, regozem)

Půdní ukazatel	AP	BP	TP	ABIP	ATIP	pH/H_2O	pH/KCl	$CaCO_3$	C_{ox}	$Q_{4/6}$	< 0,01
Statistická průkaznost	*	0	*	*	*	*	*	0	*	*	*

* - statisticky průkazný rozdíl; 0 - statisticky neprůkazný rozdíl (pro α = 0,05)

7.3.2 Pufrační schopnost půdy proti zásadám (BP)

Pufrační schopnost proti zásadám dosahovala průměrné hodnoty pro černozemě 21,92 cm^2 (velmi slabá BP) a pro regozemě 19,66 cm^2 (velmi slabá BP). Rozsah hodnot byl od 19,59 cm^2 (velmi slabá BP) do 26,24 cm^2 (slabá BP) u černozemě a od 15,19 cm^2 (velmi slabá BP) do 23,65 cm^2 (slabá BP) u regozemě. Znamená to tedy, že schopnost černozemí a regozemí tlumit zásady je relativně vyrovnaná a nebyl mezi nimi zjištěn statisticky průkazný rozdíl (tab. 4).

Velmi slabá BP je u černozemí způsobena zejména přítomností uhličitanů, které plně sytí sorpční komplex dvojmocnými bazemi a dále tomu přispívá relativně vysoký obsah humusu a jílnatých částic (tab. 3), které jsou dobrým předpokladem pro vysokou sorpční schopnost půdy. Naopak u regozemí je velmi slabá BP způsobena nízkým obsahem jílnatých částic a humusu s nízkou kvalitou, což jsou důležité parametry pro tvorbu bohatého sorpčního komplexu, který je u tohoto půdního typu nedostatečně vytvořen a způsobuje tak špatnou BP tlumivost. Tyto závěry jsou potvrzeny zjištěním Bedrny (1994), který uvádí, že regozemě nejsou odolné vůči acidifikaci a zároveň vůči alkalizaci, neboť nemají dostatečný základ pro tvorbu sorpčního komplexu (oganické a minerální koloidy).

7.3.3 Celková (totální) pufrační schopnost půdy proti kyselinám a zásadám (TP)

Pro tento ukazatel byl opět nalezen statisticky průkazný rozdíl (tab. 4). Průměrná hodnota pro půdní typ černozem byla 56,56 cm^2 (silná TP) a pro regozem byla 24,09 cm^2 (velmi slabá TP). Nejnižší a nejvyšší hodnota pro černozem byla 49,30 cm^2 a 63,62 cm^2 (silná až velmi silná TP) a pro regozem 18,30 cm^2 a 30,48 cm^2 (velmi slabá až slabá TP).

Celková tlumivá schopnost vůči kyselinám a bazím je tedy u černozemí téměř 2,5-krát vyšší než-li je tomu u půdního typu regozem a jak dodává Bache (1984) je až 10-krát nižší než tlumivost organozemí. K tomuto u černozemí přispívá zejména vyšší půdní reakce, zvýšený obsah $CaCO_3$, vyšší obsah humusu lepší kvality aj. (tab. 3).

7.3.4 Acido-bazický index pufrovitosti (ABIP)

Veličina ABIP patří mezi ukazatele kvality, vyjadřující kolikrát je tlumivost vůči kyselinám větší nebo menší než tlumivost proti bazím. Lze konstatovat, že čím je tento ukazatel větší tak tím má tlumivost bazoidnější charakter, tedy lépe odolává kyselinám než-li zásadám a naopak čím je tato hodnota nižší tak tím má naopak charakter acidoidnější a lépe tedy odolává bazím.

ABIP dosáhl v ornici průměrné hodnoty 1,62 (slabě bazoidní charakter) pro černozem a 0,22 (velmi silně acidoidní charakter) pro regozem. Znamená to tedy, že černozemě tlumí 1,5-krát lépe přísun kyselin než bazí a naopak regozemě tlumí více jak 2,5-krát lépe přísun bazí než kyselin. Rozsah hodnot se pohyboval od 0,88 do 2,12 (neutrální až silně bazoidní) pro černozem a od 0,17 do 0,29 (velmi silně acidoidní) pro regozem. Mezi uvedenými půdními typy byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl (tab. 4).

7.3.5 Acido-totální index pufrovitosti (ATIP)

Tento druhý ukazatel kvality pufrovitosti nám popisuje jaký tlumící charakter půda, vůči přísunu kyselin a bazí do půdy, vykazuje. Vyjadřuje jaký podíl má tlumivost vůči kyselinám na celkové tlumivosti půdy. U tohoto parametru kvality tlumivosti byl opět zjištěn statisticky průkazný rozdíl (tab. 4). Průměrná hodnota veličiny ATIP pro černozem byla 60,61 % (slabě bazoidní charakter) a pro regozem 17,89 % (velmi silně acidoidní charakter) (tab. 3). Znamená to tedy, že se u černozemí na celkové tlumivosti ze 60,61 % podílela tlumivost AP a ze 39,39 % tlumivost BP. U regozemí se na celkové tlumivosti podílela ze 17,89 % tlumivost AP a z 82,11 % tlumivost BP. Rozpětí hodnot se u černozemí pohybovalo od 46,77 % do 67,95 % (neutrální až silně bazoidní charakter) a u regozemí od 14,30 % do 22,39 % (velmi silně acidoidní charakter).

Nejsilnější vliv na slabě bazoidní tlumící charakter černozemí má bezesporu přítomnost $CaCO_3$. Sumner (2000) uvádí, že 1 kg $CaCO_3$ může poskytovat 20 000 mmol protonů a udržovat výslednou hodnotu pH na 7 a více.

7.3.6 Aktuální půdní reakce

Na základě provedené jednofaktorové analýzy variance vyplývá, že mezi půdním typem černozem a regozem existuje v ornici statisticky průkazný rozdíl (tab. 4). Pro půdní typ černozem byla zjištěna průměrná hodnota pH 7,73. Tato hodnota dle Haslbacha a Vaculíka (1980) odpovídá slabě alkalické reakci a je ve shodě s mnoha autory (Tomášek, 2007; Vopravil a Khel, 2007). U regozemí byla naměřena průměrná hodnota 5,94. Jedná se tedy o půdní typ se slabě kyselou aktuální půdní reakcí (tab. 3). Pro půdní typ černozem byly zjištěny hodnoty reakce v rozsahu neutrální (7,46) až slabě alkalická (7,96). Pro regozem byly naměřeny hodnoty v rozsahu kyselá (5,30) až neutrální (6,71).

7.3.7 Výměnná půdní reakce

Mezi sledovanými půdními typy (černozem, regozem), byl i u ukazatele pH/KCl nalezen statisticky významný rozdíl (tab. 4). Průměrná hodnota výměnné půdní reakce pro černozem 7,08 a pro regozem 4,75 odpovídá neutrální, respektive kyselé výměnné reakci. U půdního typu černozem byly naměřeny hodnoty v rozsahu neutrální až alkalická reakce (6,76 až 7,21).

Přestože se tyto hodnoty zdají být značně vysoké, byl Vlčkem (2008) odhalen růst acidifikace poklesem pH o 0,45 v ornici (ze 7,24 na 6,79) a 0,37 v podorničí (ze 7,28 na 6,91), čemuž do značné míry podle Vilčeka a kol. (2005) přispěly vysoké dávky dusíkatých hnojiv (100 až 200 $kg.ha^{-1}$), jež se u nás spolu s vysokým zastoupením obilnin v osevních postupech (50 až 60 %) aplikovaly v letech 1970 až 1990 zpravidla k pšenici, kukuřici a cukrovce. Zatímco, v případě regozemě se půdní reakce pohybuje od silně kyselé (3,99) až slabě kyselé (5,61).

7.3.8 Obsah uhličitanů

Pro půdní typ černozem byla naměřena střední hodnota obsahu uhličitanů (3,63 %). Hodnoty se pohybovaly od 0,12 % do 9,74 %, což potvrzuje zjištění Kozáka a kol. (2009), že vývoj černozemí probíhá většinou na karbonátových sedimentech. Pro půdní typ regozem byl naměřen nulový obsah, což potvrzuje nízkou schopnost tlumit přísun kyselin i celkově velmi silně acidoidní charakter ABIP a ATIP (tab. 3). U daného parametru nebyl nalezen statisticky průkazný rozdíl mezi půdními typy (tab. 4).

7.3.9 Oxidovatelný uhlík (C_{ox})

U sledovaného parametru byl nalezen statisticky průkazný rozdíl mezi sledovanými půdními typy (tab. 4). V případě půdního typu černozem byla zjištěna průměrná hodnota 1,50 %, což odpovídá střednímu obsahu a je tak důkazem intenzivní humifikace (Tomášek, 2007). Průměrná hodnota pro půdní typ regozem byla klasifikována nízkým obsahem C_{ox} (0,89 %) (Sirový a kol., 1967).

7.3.10 Barevný index ($Q_{4/6}$)

Pro barevný index $Q_{4/6}$ byla naměřena u černozemí průměrná hodnota 3,94, což přibližně odpovídá poměru HK : FK rovno 1. Tento orientační přepočet byl proveden dle regresní závislosti mezi $Q_{4/6}$ a HK : FK uvedeným v publikaci Jandák a kol. (2003). Toto zjištění však není v souladu s poznatky Němečka a kol. (1990), kteří uvádí hodnoty HK : FK v Ap horizontu okolo 2,5. Zjištěný pokles je možno vysvětlit postupnou degradací černozemí (Pokorný a kol., 2009), kteří uvádí u černozemí na Hané poměr HK : FK menší než 1. Na zvyšující se degradaci těchto kvalitních půd se podílí například nevhodné zpracování půdy (Martinec a Pokorný, 2007), půdní eroze (Vlček a kol., 2008) a další vlivy.

Průměrná hodnota barevného indexu pro regozem byla 7,21. Hodnoty indexu se u černozemí pohybovaly v rozsahu od 3,17 do 4,75 a u regozemí od 5,23 do 11,05. Mezi půdními typy byl v kvalitě humusu nalezen statisticky průkazný rozdíl (tab. 4).

7.3.11 Půdní textura

Pipetovací metodou jsme získaly celou škálu jednotlivých půdních frakcí, ale pro naše účely jsme vybrali frakci menší nežli 0,01 mm, tzv. jílnaté částice. U tohoto ukazatele byl mezi půdními typy nalezen statisticky významný rozdíl (tab. 4).

Průměrný obsah jílnatých částic je u černozemě 35,90 %, podle Novákovy klasifikace hodnocena jako hlinitá, středně těžká zemina a jeho hodnoty se pohybovaly od 29,64 % až po 43,20 % (písčitohlinitá až hlinitá, respektive středně těžká zemina). Průměrný obsah jílnatých částic v ornici u regozemě byl zjištěn 7,8 % (písčitá, lehká zemina), s rozsahem hodnot 4,72 % až 11,88 % (lehká písčitá až hlinitopísčitá zemina) (tab. 3). Znamená to tedy, že regozemě obsahují více jak 4,5-krát méně jílnatých částic než-li černozemě a je tím potvrzen jejich pedogenetický vývoj ze sypkých sedimentů (Kozák a kol., 2009).

7.4 ZÁVĚR

Půdní tlumivost byla hodnocena na základě pěti ukazatelů. Jednalo se o tří ukazatele kvantitativní (AP, BP, TP) a dva kvalitativní (ABIP a ATIP). Výše zmiňované dva ukazatele kvality pufrovitosti

(ABIP, ATIP) lze považovat za velmi důležité veličiny, které nám popisují kvalitativní stránku této půdní vlastnosti. Jinými slovy hodnotí jaký tlumící charakter půda vykazuje vůči kyselinám a bazím a lépe tak charakterizuje pufrovitost jako celek. Pufrační schopnost byla hodnocena podle nových klasifikačních tabulek. Byl potvrzen významný vliv pH/KCl na AP, ale i jiné ukazatele pufrovitosti.

U většiny sledovaných parametrů byl nalezen statisticky významný rozdíl mezi půdními typy černozem a regozem (mimo BP a $CaCO_3$). Černozemě se vyznačují silnou schopností tlumit kyseliny, velmi slabou schopností tlumit báze a slabě bazoidním tlumícím charakterem kvalitativních parametrů ABIP a ATIP. Oproti tomu regozemě se vyznačují velmi slabou schopností tlumit kyseliny i báze a velmi silně acidoidním charakterem ABIP a ATIP. Z naměřených hodnot vyplývá, že černozemě mají lepší tlumící schopnost AP a TP, lepší kvalitativní parametry ABIP a ATIP, ale hodnota BP je u obou půdních typů téměř shodná. Půdní tlumivost patří mezi významné půdní a ekologické parametry s vysokou vypovídací schopností o stavu zemědělského půdního fondu. Je proto žádoucí zjistit dynamický vývoj těchto ukazatelů od dob KPP do současnosti.

Poděkování

Práce vznikla v rámci výzkumného záměru Agronomické fakulty MZLU v Brně č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného MŠMT ČR.

Literatura

BACHE B.W. 1984. The role of calcium in buffering soils. *Plant Cell Environ*. 7, 391-395.

BEDRNA Z. 1994. Resistibility of landscape to acidification. *Ekológia*, 13, 77-86.

HASLBACH J., VACULÍK R. 1980. Půdoznalství. VŠZ Brno, 159 s.

JANDÁK J. a kol. 2003: *Cvičení z půdoznalství.* Ediční středisko MZLU Brno, 92 s., ISBN 80-7157-733-2.

KOZÁK J. (ed.) 2009. *Atlas půd České republiky*. 1. vydání. MZe ČR ve spolupráci s ČZU, Praha, 149 s., ISBN 978-80-213-1882-3.

MARTINEC J. 2010. *Návrh klasifikace tlumivé schopnosti půd*. Agrotest fyto, Kroměříž, 98 s., ISBN 978-80-904594-1-0.

MARTINEC J., POKORNÝ E. 2007. Vliv chemických vlastností ornice a podorničí na výnos a kvalitu cukrovky. In*: Zborník MendelNet'07 Agro.* MZLU, Brno, ISBN 978-80-7375-119-7.

NĚMEČEK J. a kol. 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Academia Praha, 546 s., ISBN 80-200-0153-0.

POKORNÝ E., DENEŠOVÁ O. 2005. *Aktuální a potenciální vlastnosti orných půd střední Moravy.* Ediční středisko MZLU Brno, 77 s., ISBN 80-7157-889-4.

POKORNÝ E., DENEŠOVÁ O., BRTNICKÝ M., VLČEK V. 2009. Půdní vlastnosti zatravněné letištní plochy v Holešově po 55 letech provozu. In: *13. pedologické dny – sborník, Půda v průmyslové krajině.* Bioinstitut Olomouc, 44-47, ISBN 978-80-87371-00-8.

POSPÍŠILOVÁ Ľ., TESAŘOVÁ M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd. *Folia*, roč. II, MZLU Brno, 42 s., ISSN 1803-2109.

SIROVÝ V., FACEK Z., POSPÍŠIL F., KULÍKOVÁ A., JAVORSKÝ P., KALAŠ V. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR, III. díl.* MZV Praha, 92 s.

SUMNER M.E. 2000. *Handbook of soil science*. CRC Press, NY, 2135 s., ISBN 0-8493-3136-6.

TOMÁŠEK M. 2007. *Půdy České republiky*. ČGÚ Praha, 68 s., ISBN 978-80-7075-688-1.

VILČEK J., HRONEC O., BEDRNA Z. 2005. *Environmentálna pedológia.* SPU v Nitre ve spolupráci s VÚPOP Bratislava, 299 s., ISBN 80-8069-501-6.

VLČEK V. 2008. Změny půdní reakce černozemě na vybraných lokalitách jižní Moravy. In: *Sborník příspěvků ze semináře s mezinárodní účastí "Hodnocení zemědělského půdního fondu v podmínkách ochrany životního prostředí"*. 1. vyd. Praha: ÚZEI, 121-127, ISBN 978-80-86671-56-7.

VLČEK V., BRTNICKÝ M., KUČEROVÁ P., POKORNÝ E. 2008. Vliv eroze na klasifikaci půd na lokalitě Chvalkovice na Hané. In: *Sborník příspěvků, 12. pedologické dny na téma: „Antropogenní zatížení půd“*. ČZU Praha, 151-156, ISBN 978-80-213-1814-4.

VOPRAVIL J., KHEL T. 2007. Seriál: Půdní typy České republiky. Černozemě. *Úroda*, roč. LV., č. 4, 58 s., ISSN 0139-6013.

ZBÍRAL J., HONSA I., MALÝ S. 1997. *Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ Brno, 150 s.

8. FRAKCIONACE HUMUSOVÝCH LÁTEK LESNÍCH PŮD NA PŘÍKLADU KAMBIZEMÍ V OBLASTI DRAHANSKÉ VRCHOVINY

8 Fractionation of forest soil's organic matter on example of Cambisols in Drahanska upland

Ladislav Menšík, Jiří Kulhavý*

ABSTRAKT

Humus je jednou z nejdůležitějších složek lesních půd. Je produktem humifikačních procesů v půdě, závisí na druhové skladbě porostů a výrazně ovlivňuje půdní vlastnosti. Kvalita humusu a humusových látek (HL) – huminových kyselin (HK) a fulvokyselin (FK) je důležitou půdní charakteristikou. Studie hodnotila kvalitu humusu (nadložní humus, humus v půdě) ve třech porostech: v smrkové monokultuře (SM) prvé generace, v bukovém porostu (BK) ve druhé generaci a v smíšeném buko-smrko-jedlovém (BK, SM, JD) porostu ve druhé generaci ve věku 105–130 let v oblasti Drahanské vrchoviny (poloha: 49°26´´31´´s.š., 16°41´30´´v.d.). Lokalita se nachází v České republice na kambizemi modální oligotrofní jedlo-bukového lesního vegetačního stupně v nadmořské výšce 600–660 m n. m. na stanovištích původních smíšených lesů. Výsledky ukázaly, že vyšší kvalita humusu byla stanovena pod bukovým porostem (BK), nižší pod smrkovým porostem (SM), to ukazují parametry pH, poměr C/N, dále poměr $Q_{4/6}$ HK i UV/VIS. Poměr HK/FK je vyšší ve SM porostu oproti BK porostu, kde převládají mladé fulvokyseliny s převahou alifatických skupin. Porost smíšený (BK, SM, JD) v procentickém vyjádření 50 % listnáčů, 50 % jehličnanů kvalitu humusu zlepšuje (ve vrstvě H hodnota pH, obsah dusíku, poměr C/N vrstva H, poměr HK/FK, zásoba nadložního humusu), ale v nižším horizontu Ah jsou hodnoty parametrů (až na poměr HK/FK) na stejné úrovni jako pod smrkovým porostem (pH, poměr C/N, poměr $Q_{4/6}$ HK, UV/VIS). Kvalita humusu byla hodnocena pod porostem BK, SM, JD jako střední, vyšší než pod porostem SM a nižší než pod porostem BK.

Klíčová slova: frakcionace humusu, kambizem, lesní půda

ABSTRACT

Humus is one of the most important components of forest soils. It is the product of humification processes in soil depending on the species composition of stands. Humus markedly influences soil properties. The quality of humus and humus substance (HS), like humic acids (HA) and fulvic acids (FA), is an important soil characteristic. The study evaluates the quality of humus (forest floor, soil humus) in three stands, namely in a spruce stand (spruce) of the first generation, in a beech stand (beech) of the second generation and in a mixed beech/spruce/fir (beech, spruce, silver fir) stand of the second generation at an age of 105–130 years in the area of the Drahanská vrchovina Upland (49°26´´31´´N and 16°41´30´´E). The locality is situated in the Czech Republic on the modal oligotrophic Cambisol of a fir-beech forest vegetation zone at an altitude of 600–660 m at sites of autochthonous mixed forests. Results obtained showed that the higher quality of humus was determined under the beech stand, lower quality under the spruce stand as demonstrated by pH parameters, C/N ratio, $Q_{4/6}$ ratio HA and UV/VIS spectra. The HA/FA ratio is higher in the spruce stand as against the beech stand where young fulvic acids with the predominance of aliphatic groups prevail. The mixed stand (beech, spruce, silver fir) expressed in percentages 50% broadleaves and 50% conifers improves the humus quality (in H layer pH value, nitrogen content, C/N ratio, HS/FA ratio, forest floor supply), but in the lower Ah horizon, values of parameters (except HA/FA ratio) are at the same level as under the spruce stand (pH, C/N ratio, $Q_{4/6}$ ratio HA, UV/VIS). The quality of humus was evaluated under the mixed beech, spruce and silver fir stand as medium being higher than under the spruce stand and lower than under the beech stand.

Keywords: humus fractionation, Cambisol, forest soil

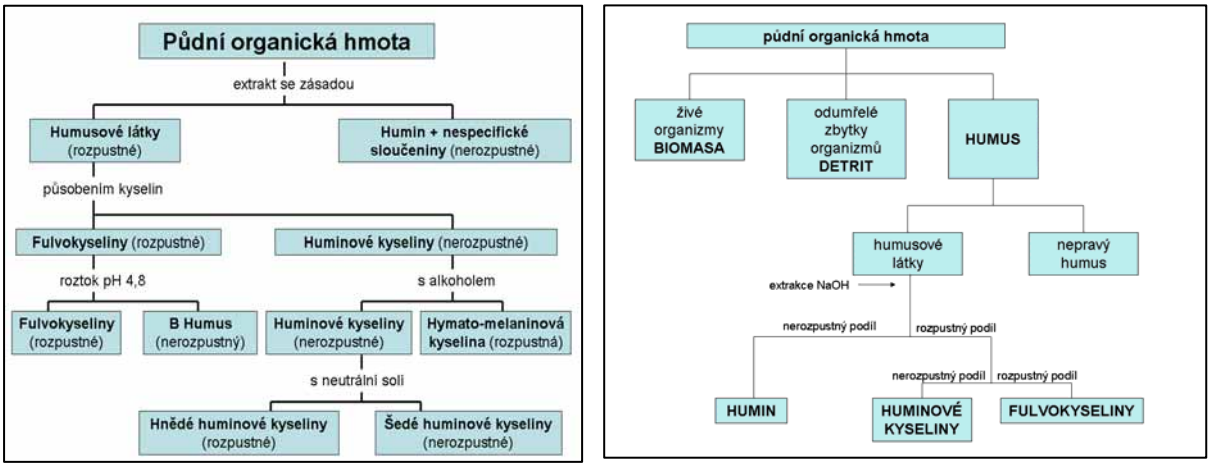
* Ing. Ladislav Menšík, prof. Ing. Jiří Kulhavý, CSc., Ústav ekologie lesa, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, Brno 613 00, ČR, e-mail: ladislav.mensik@mendelu.cz; jiri.kulhavy@mendelu.cz

8.1 ÚVOD

Půda a půdní humus reprezentuje významnou zásobu uhlíku v lesních ekosystémech (Waring, Running, 1998). Význam organické části půdy byl znám již v minulosti (Vaněk *et al*., 2010). Humus je významnou složkou zemědělských i lesních půd (Pobědinskij, Krečmer, 1984) a představuje soubor organických látek v půdě, původem z odumřelých zbytků rostlin, živočichů a mikroorganizmů ve směsi s minerálním podílem půdy v různém stupni přeměny. Charakteristickým znakem humusu je jeho heterogenita a stabilita, způsobující značnou aktivitu v dynamice půdních procesů (Bednorz *et al*., 2000; Patzel, Ponge, 2001). Termín humus zahrnuje všechny odumřelé i přeměněné organické látky, bez ohledu na jejich živočišný, rostlinný nebo mikrobiální původ (Green *et al.,* 1993; Brethes, 1995; Ponge, Delhaye, 1995; Ponge, Ferd, 1997; Kutílek, 2001; Ponge, 2003; Jabiol *et al.,* 1995).

Kvalita humusových látek je významná pro úrodnost půd, pro výživu lesních porostů. Liší se v různých přírodních podmínkách, ať to jsou poměry geologické, geomorfologické, klimatické, porostní nebo jiné. Proto jsou humusové látky podrobně studovány převážně v ekosystémech hospodářsky významných (Menšík, 2010). Pod pojmem půdní organická hmota *(Soil Organic Matter*, dále jen SOM) se obecně rozumí souhrn všech neživých organických součástí půdy (Stevenson, 1994). Humus je možno po stránce látkové podle chemických a analytických znaků rozdělit na nehuminové látky (organické látky rostlinného a živočišného původu) a huminové látky (vytvořené z nehuminových látek a pro půdu specifické). Klasickým kritériem pro dělení humusových látek je jejich nerozpustnost v NaOH (humin) a následná rozpustnost (fulvokyseliny) nebo nerozpustnost - vysrážení (huminové kyseliny) v kyselině (obr. 1).

Cílem studie je prokázat, že frakcionace humusových látek může přispět k diagnostice (klasifikaci) kambizemí na lesních půdách.



Obr. 1 Rozdělení organických látek v půdě a klasifikace humusových látek (Brady, Weil, 2008) a frakcionace půdní organické hmoty (SOM) (Stevenson, 1994; Spárka, 2003)

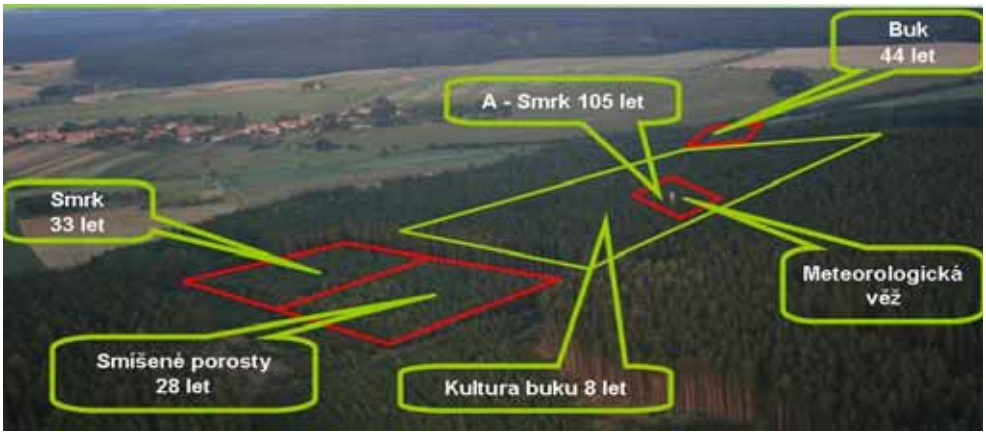
8.2 MATERIÁL A METODY

Výzkum humusových poměrů probíhal v oblasti Drahanské vrchoviny, která jako horopisný celek se táhne v délce asi 50 km mezi Brnem a Chornicí (Skořepa, 2006). Přírodní lesní oblast (PLO) 30 - Drahanská vrchovina značně lesnatá oblast (55 % plochy) (Nikl, 2000) a její rozloha je 2,74 % rozlohy České republiky. Byly vybrány tři porosty (výzkumné plochy): smrková monokultura (SM) v první generaci (obr. 2), bukový porostu (BK) ve druhé generaci a smíšený buko-smrko-jedlový (BK, SM, JD) porost (obr. 3) ve druhé generaci ve věku 105–130 let (tab. 1). Zeměpisně náleží oblast výzkumných ploch k provincii Česká vysočina, subprovincii Česko-moravská, oblasti Brněnská vrchovina, celku Drahanská vrchovina, podcelku Adamovská vrchovina a okrsku Škatulec (Lacina, Quitt, 1986). Mateční horninou je hlubinná hornina kyselý granodiorit (Klimo, Maršálek, 1992). Po stránce pedologické jsou na výzkumných plochách půdy typu kambizem modální oligotrofní (Němeček *et al*., 2001). Podle Quitta (1971) se výzkumné plochy nachází v klimatické oblasti MT3 mírně teplé a mírně vlhké. Průměrná roční teplota činí 6,3 °C (stanice Protivanov), s nejvyšší teplotou v červenci (15,8 °C)

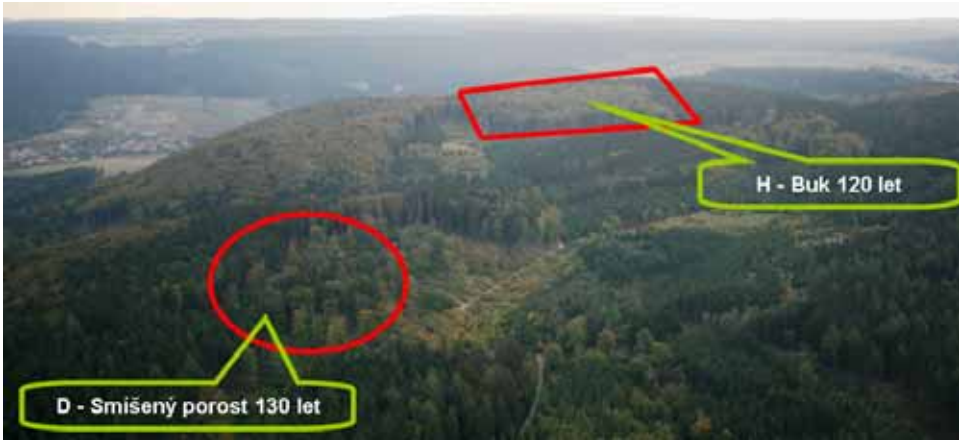
a nejnižší -4,1 °C v lednu (Pivec, 1992). Výzkumné plochy lze zařadit do skupiny typů geobiocénu (STG) 4AB3 - *Fageta quercino abietina* až 5AB3 - *Abieti fageta* (Stykač, 2002). Podle typologického systému Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa jsou výzkumné plochy zařazeny do skupiny lesních typů 5S - svěží jedlová bučina a do lesního typu 5S1 - svěží jedlová bučina šťavelová (Plíva, 1987).

Tab. 1 Základní charakteristiky výzkumných ploch.

Porost	Věk	Dřevinné složení [%]	$d_{1,3}$	h	Zakmenění	Forma nadložního humusu	Zásoba nadložního humusu [t.ha^{-1}]
Smrkový porost (SM)	105	SM 100	32	31	10	moder	71,8
Bukový porost (BK)	120	BK 100	37	31	10	mull-moder	46,7
Smíšený porost (BK,SM,JD)	130	BK 55, SM 40, JD 5	39 46 35	33 35 31	7	moder	51,9



Obr. 2 Letecký pohled na výzkumný objekt v Rájci-Němčicích v lesích LČR s.p. s vyznačením výzkumných ploch (*foto L. Menšík*)



Obr. 3 Letecký pohled na výzkumné plochy v přilehlých lesích MP (Mensdorff - Pouilly) Lesy Benešov u Boskovic s vyznačením výzkumných ploch (*foto L. Menšík)*

Odběr vzorků

Vzorky pro chemické analýzy nadložního humusu a půdy se odebíraly na podzim (listopad 2007, 2008, 2009) ve třech opakováních na každé ploše (variantě). Jednotlivé horizonty nadložního humusu (L, F, H) a půdy (Ah, Bv) se postupně odebíraly podle Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky (Němeček *et al.,* 2001).

Chemické analýzy

Hodnoty aktivní (pH/H_2O) i výměnné (pH/KCl) půdní kyselosti byly stanoveny potenciometrickou metodou za pomoci digitálního pH metru OP-208/1. Uhlík a dusík byly stanoveny ze vzorků zbavených hrubších částic po jemném semletí, případně rozetření, na automatickém analyzátoru LECO TruSpec /MI USA/ (Zbíral, 1997). Stanovení obsahu rozpustného organického uhlíku (DOC) bylo vykonáno z homogenizovaného půdního vzorku po navlhčení, roztřepání, odstředění a filtrování přes hustý filtr. Ve filtrátu se zjistil rozpuštěný uhlík (DOC/) (upraveno podle Doc. Grunda: Robertson *et al.*, 1999). Humusové látky byly extrahovány z jemnozemě roztokem pyro-fosforečnanu sodného + NaOH (Kononova, 1963, upraveno podle Doc. Grunda; Lesná, Kulhavý, 2003). Barevný kvocient ($Q_{4/6}$) roztoků HK byl měřen na spektrofotometru LIBRA S22 UV/VIS (Biochrom) při vlnové délce 465 nm a při 665 nm. Koeficient $Q_{4/6}$ se stanovil vydělením zjištěných hodnot absorbance (Komoňova, 1963). Stupeň humifikace (SH) půdní organické hmoty (%) byl vypočítán podle vztahu: SH I (%) = 100 * $C_{HL(CF)}/C_{org.}$ a SH II (%) = 100 * $C_{HK}/C_{org.}$ dle Sotákové (1982), Orlova (1985) a Horáčka (1996). UV/VIS spektra huminových kyselin se měřily na spektrofotometru UNICAM 8625 UV/VIS v intervalu od 400 nm do 700 nm po 10 nm (Podlešáková *et al.,* 1992).

Statistické analýzy

Statistické analýzy včetně grafických výstupů byly provedeny v programu STATISTICA verze 8.0 a 9.0 (Stat-Soft Inc., Tulsa USA, StatSoft ČR s.r.o. 2009). Po průzkumové popisné statistice byla provedena korelační analýza s použitím Pearsonova korelačního koeficientu.

Vlastní srovnání tří porostů bylo provedeno analýzou dvoucestné metody ANOVA s opakovaným měřením (*two way repeated measures ANOV)* (Meloun *et al.*, 2006). Pro mnohonásobná porovnávání byl zvolen Tukeyho test (SHD test) a LSD test. Statistická průkaznost byla posuzována na hladině významnosti $P = 0{,}05$ (Meloun et al. 2004).

Kvalita humusu

Parametry pro vyhodnocení kvality humusu byly následující charakteristiky: pH (KCl), obsah dusíku (N %), poměr C/N, obsah rozpustného organického uhlíku (DOC), poměr HK/FK, poměr $Q_{4/6}$ HK, stupeň humifikace (SH I %, SH II %), spektra UV/VIS. Zhodnocení kvality humusu bylo provedeno ve vrstvě H povrchového humusu a horizontu Ah půdy každého porostu. Byla stanovena kritéria kvality humusu (nízké, střední a vysoké) s příslušnou stupnicí bodů (5, 3, 1), která vycházejí z literatury, nebo bylo kritérium upraveno a navrženo podle uvedené literatury (pokud v literatuře nebyla přesně vymezena kritéria). Dále bylo stanoveno, že pokud je mezi výslednými hodnotami parametrů kvality humusu statisticky významný rozdíl, zlepší se u příznivější hodnoty bodové hodnocení o 1, nebo pokud je hodnota méně příznivá, zhorší se bodové hodnocení o 1, aby mohly být bodové hodnoty parametrů v celé šíři stupnice (1, 2, 3, 4, 5). Na závěr bylo provedeno sečtení bodových hodnot hodnocení porostu a dále vypočítán aritmetický průměr a přiřazeno slovní hodnocení (kvalita humusu: nízká, střední, vysoká).

8.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Vyhodnocení kvality humusu v porostu smrku (SM), buku (BK) a smíšeném porostu (BK, SM, JD) bylo hodnoceno podle vybraných parametrů uvedených v tab. 1 a kritéria v tab. 2.

Byly prokázány statisticky významné rozdíly (HSD-test, LSD-test) v půdní reakci v nadložním humusu převážně mezi SM a BK, případně i mezi SM a BK, SM, JD. Nejpříznivější hodnoty pH aktivního i výměnného pro nadložní humus i půdu jsou pod bukovým (BK) a smíšeným porostem (BK, SM, JD). Méně příznivé hodnoty jsou v porostu SM, kde je půdní reakce velmi silně kyselá.

Obsah dusíku v nadložním humusu je vždy nižší v bukovém porostu (BK) oproti smrkovému (SM) i smíšenému (BK, SM, JD) porostu v horizontu H, v půdě je obsah podobný. Byly prokázány statisticky významné rozdíly ve vrstvě H nadložního humusu (HSD-test, LSD-test). Síla testu ANOVA s opakovaným měřením byla stanovena u obsahu dusíku na 98 % na hladině významnosti P = 0,05. Na základě zjištěných výsledků, které se shodují s nálezy Berger *et al*. (2002), můžeme říci, že v bukovém porostu je obsah celkového uhlíku a dusíku v nadložním humusu nižší než pod smrkovou monokulturou. U smrkového porostu je poměr C/N v nadložním humusu ve vrstvě H vyšší než v porostu buku (BK). To potvrzuje statisticky významný rozdíl (převážně LSD-test). Ve vrstvách nadložního humusu byl prokázán převážně mezi SM a BK, případně i mezi SM a BK, SM, JD. Síla testu ANOVA s opakovaným měřením byla stanovena u poměru C/N 94 % na hladině významnosti P =

0,05. Vyšší poměr C/N ve smrkových porostech oproti bukovým udávají i autoři Matějka, Starý (2009) na půdním typu kambizemi v oblasti Šumavy.

Úloha rozpustného organického uhlíku jako zdroje energie pro metabolizmus mikrobů má obzvláštní význam (Magill, Aber, 2000). Nejvyšší obsah rozpustného organického uhlíku byl zjištěn ve všech porostech ve vrstvách nadložního humusu, nejmenší v půdě v horizontu Ah i Bv a zároveň klesá s hloubkou půdního profilu. Rozdíly v obsahu DOC v jednotlivých vrstvách (horizontech) mezi porosty nebyly statisticky významné.

Tab. 2 Zhodnocení kvality humusu v nadložním humusu ve vrstvě H a v půdě v horizontu Ah podle porostů.

Parametr	Horizont	Smrkový porost (SM)		Bukový porost (BK)		Smíšený porost (SM, BK, JD)		Použitelnost parametru
		Hodnota	Hodnocení porostu	Hodnota	Hodnocení porostu	Hodnota	Hodnocení porostu	
pH (KCl)	H	2,97[a]	5	3,31[a]	2	3,2	2	1
	Ah	2,9	5	3,1	3	2,8	5	
N (%)	H	1,43[a]	1	1,11[ab]	1	1,5[b]	1	2
	Ah	0,3	1	0,3	1	0,3	1	
C/N	H	22,5[a]	5	19,02[ab]	2	20,93[b]	4	1
	Ah	22,6[a]	5	18,3[ab]	2	22,97[b]	5	
DOC ($mg.g^{-1}$)	H	2,8	0	2,0	0	3,4	0	3
	Ah	0,9	0	0,7	0	1,0	0	
HK/FK	H	1,2	3	0,8[b]	4	1,8[b]	1	1
	Ah	0,9	3	0,9	3	1,1	3	
$Q_{4/6}$ HK	H	7,07[a]	5	5,81[ab]	2	6,99[b]	5	1
	Ah	6,44[a]	5	5,21[ab]	2	6,07[b]	4	
SH I (%)	H	47,4[ac]	1	39,5[a]	2	39,9[c]	2	2
	Ah	47,2[ac]	1	37,8[a]	2	37,23[c]	2	
SH II (%)	H	25,1[a]	1	17,5[a]	2	24,1[b]	1	2
	Ah	21,9	1	17,7	1	19,3	1	
UV/VIS	H	-	5	-	2	-	5	2
	Ah	-	5	-	2	-	3	
Kvalita humusu		nižší (součet 52, průměr 2,9)		vyšší (součet 33, průměr 1,8)		střední (součet 45, průměr 2,5)		

Vysvětlivky:

- ✓ Parametr: pH (KCl) – půdní reakce výměnná, N (%) – obsah dusíku, C/N – poměr obsahu uhlíku/obsahu dusíku, DOC – rozpustný organický uhlík, HK/FK – poměr huminových kyselin/fulvokyselin, $Q_{4/6}$ HK – barevný kvocient, SH I – stupeň humifikace (poměr C/HL), SH II – stupeň humifikace (poměr C/HK), UV/VIS – spektra ve viditelné oblasti světla.
- ✓ Statisticky významný rozdíl: a – SM x BK, b – BK x BK,SM,JD, c – SM x BK, SM, JD; hladina významnosti (P = 0,05).
- ✓ Navržená (stanovená) použitelnost parametru: 1 - významný parametr pro stanovování kvality humusu v praxi, 2 - vhodný parametr pro stanovování kvality humusu v praxi a významný pro výzkum, 3 - doplňkový parametr pro stanovování kvality humusu v praxi a velmi významný pro výzkum).

Humus je možno po stránce látkové podle chemických a analytických znaků rozdělit na nehuminové látky (organické látky rostlinného a živočišného původu) a huminové látky (vytvořené z nehuminových látek a pro půdu specifické) (Piccolo 1996; Sparks, 2003). Obsah uhlíku (TOC) v huminových kyselinách (HK) ve vrstvě H je ve smrkovém (SM) porostu a smíšeném (BK, SM. JD) porostu vždy statisticky vyšší (P = 0,01) než pod bukovým porostem (v bukovém porostu je množství HK výrazně nižší). Smíšený porost se hodnotami pohybuje na úrovni porostu smrku v nadložním humusu. Obsah uhlíku (TOC) ve fulvokyselinách (FK) ve vrstvě H je patrný rozdíl v obsahu FK pod porostem smrku (SM) oproti porostu buku (BK) a smíšenému (BK, SM, JD). Poté následuje významný pokles v horizontu Ah.

Kvalita humusu se posuzuje často podle poměru obsahu huminových kyselin k fulvokyselinám (HK/FK) (Aranda, Oyonarte, 2006; Dai *et al.*, 2006). Se vzrůstajícím obsahem huminových kyselin vzrůstá i kvalita humusu. Vysoce kvalitní humus má mít poměr HK:FK vyšší než 1,5:1 (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Nízký poměr HK/FK (menší jak 1,0) je ve vrstvě H bukového porostu. Ve smrkovém i smíšeném porostu je poměr HK/FK ve vrstvě H nadložního humusu je poměr vyšší (1,7) ve smíšeném porostu oproti porostu smrku (1,2) i buku (0,8). Mezi BK a BK, SM, JD byl prokázán statisticky významný rozdíl (HSD i LSD test, P = 0,01). V horizontu Ah je poměr HK/FK ve všech třech porostech podobný (0,9-1,1). Pro podrobnější charakteristiku přeměn humusových látek v půdě byl zaveden termín „stupeň humifikace“ (Skotáková, 1982; Horáček, 1996; Zanelli *et al.*, 2006). Přeměna humusových látek (SH I, II) je dokonalejší ve vrstvě H a horizontu Ah pod smrkovým porostem, oproti bukovému (BK) a smíšenému (BK, SM, JD) porostu (statisticky významný rozdíl).

Tab. 3 Kritéria pro hodnocení kvality humusu

Kvalita humusu	Nízká (5)	Střední (3)	Vysoká (1)	Citace
pH (KCl)	pod 3,0	3,0–4,0	4,0–5,0	Šály (1977, 1978); Rejšek (1999); Sáňka Materna (2004)
N	0,1–0,2	0,2–0,3	nad 0,3	Rejšek (1999); Sáňka Materna (2004)
C/N	nad 20	20–15	pod 15	upraveno podle Šály (1977, 1978)
DOC	-	-	-	není stanoveno
HK/FK	pod 0,7	0,7–1,4	nad 1,5	upraveno podle Kononova (1963); Šály (1977, 1978); Sotáková (1982); Orlov (1985)
$Q_{4/6}$	nad 6,0	6,0–5,0	pod 6,0	upraveno podle Kononova (1963), Sotáková (1982)
SH I (%)	pod 20	20–35	nad 35	upraveno podle Sotáková (1982)
SH II (%)	pod 10	10–15	nad 15	upraveno podle Sotáková (1982)
UV/VIS	jako u $Q_{4/6}$			není stanoveno

K charakteristice humusových látek při hodnocení optických vlastností humusu se dlouhodobě užívá tzv. barevný kvocient ($Q_{4/6}$). Statisticky vyšší hodnoty poměru $Q_{4/6}$ HK byly zaznamenány v porostu smrku a smíšeném porostu ve vrstvě H, horizontu Ah oproti porostu BK (HSD i LSD test, P = 0,01). Čím je hodnota barevného kvocientu nižší, tím vyluhované organické látky více polymerizují a jsou z hlediska stálosti v půdě kvalitnější (Valla *et al.*, 2000). S poměrem $Q_{4/6}$ velmi těsně souvisí i UV/VIS spektra huminových kyselin. UV/VIS spektra v nadložním humusu v horizontu H ukázala, že absorbance smrkového a smíšeného porostu je stejná a křivka je strmější. Naopak u bukového porostu je absorbance nižší a méně strmá. Zřetelnější (nižší) absorbance je v horizontu Ah pod bukovým porostem oproti smrkovému a smíšenému porostu. To potvrzuje i poměr $Q_{4/6}$ HK.

Na základě souhrnného hodnocení kvality humusu podle kritérií uvedených v tab. 3 lze konstatovat, že vyšší kvalita humusu byla pod bukovým porostem (BK), nižší pod smrkovým porostem (SM) a střední v porostu smíšeném (BK, SM. JD).

Získané výsledky lze s určitým omezením navrhnout pro rozšíření diagnostických znaků a humusových forem u lesních půd a pro zpřesnění Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky (Němeček *et al.*, 2001).

8.4 ZÁVĚR

Výsledky studie se zaměřením na hodnocení humusových poměrů v nejvíce rozšířeném půdním typu pod lesními porosty v ČR prokázaly značný význam druhového složení lesních dřevin na charakter humusových poměrů.

Vyšší kvalita humusu byla stanovena pod bukovým porostem (BK), nižší pod smrkovým porostem (SM) a střední pod smíšeným porostem. Poměr HK/FK je vyšší ve SM porostu oproti BK porostu, kde převládají „mladé“ fulvokyseliny s převahou alifatických skupin. Porost smíšený (BK, SM, JD) kvalitu humusu zlepšuje, ale v organominerálním horizontu Ah jsou hodnoty jednotlivých parametrů převážně na stejné úrovni jako pod smrkovým porostem

Hodnocené charakteristiky humusových poměrů lze považovat za prakticky využitelné pro zpřesnění diagnostiky humusových forem a taxonomické klasifikace lesních půd.

Poděkování

Kapitola v knize je součástí řešení VZ MSM č. 6215648902 „Les a dřevo“, dále byla finančně podpořena projektem MŽP SP/2d1/93/07 “Czech Terra“ a projektem IGA 27/2010 – „Možnosti adaptace lesních ekosystémů na předpokládané změny klimatu“.

Literatura

ARANDA V., OYONARTE C. 2006. Characteristics of organic matter in soil surface horizon derived from calcareous and metamorphic rocks and different vegetation types from the Mediterranean high mountains in SE Spain. *Eur J Soil Biol* 42:247-258.

BEDNORZ F., REICHSTEIN M., BROLL G., HOLTMEIER F.K., URFER W. 2000. Humus forms in the forest-alpine tundra ecotone at Stillberg (Dischmatal, Switzerland): spatial heterogeneity and classification. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 32 (1): 21-29.

BERGER T.W, NEUBAUER C., GLATZEL G. 2002. Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (Picea abies) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management* 159: 3-14.

BRADY N.C., WEIL R.R. 2008. *The nature and properties of* soil. 14th edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio. 975.

BRETHES A., BRUN J.J., JABIOL B., PONGE J.F., TOUTAIN F. 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Annals of Forest Science* 52: 535-546.

DAI J., RAN W., XING B., GU M., WANG L. 2006. Characterization of fulvic acid fractions obtained by sequential extractions with pH buffers, water and ethanol from paddy soils. *Geoderma* 135: 284-295.

GREEN R. N., TROWNBRIDGE R. L., KLINKA K., TOWARDS A. 1993. Taxonomic Classification of Humus Forms. A Publication of the Society of American Foresters. *Forest Science Monograph 29, Supplement to Forest Science* 39 (1): 49.

HORÁČEK J. 1996. Analytical possibilities and practical utilization of chosen methods for soil organic matter studies (in Czech). In: Kalousková, N., Novák, F. (eds.), *Proceedings of Seminar on Methods of soil organic matter study,* ÚPB AV ČR České Budějovice, 21. – 22. 2. 1996, 5-8.

JABIOL B., BRÊTHES A., PONGE J.F., TOUTAIN F., BRUN J.J. 1995. L’humus sous toutes ses formes, ENGREF, Nancy. In: Němeček, J., Kozák, J., 2009. *The Czech taxonomic soil classification system and the harmonization of soil maps*. *European Soil Bureau. Research Report*, No.7.

KLIMO E, MARŠÁLEK J. (ed.) 1992. *Manmade Spruce Ecosystem (Structure, Functions, Production, Processes*. Report from Project Rájec, Institute of Forest Ecology, Agriculture University Brno, 177s.

KONONOVA M.M. 1963. *Organičeskoe veščestvo počvy*. I.A.N. SSSR: Moskva, 311 s.

KUTÍLEK M. 2001. *Půda a bilance CO_2 v ovzduší. Rezervoár organického uhlíku*. Vesmír, 80 s.

LACINA J., QUITT E. 1986. *Geografická diferenciace okresu Blansko*, GÚ ČSAV Brno, 210 s.

LESNÁ J., KULHAVÝ J. 2003. Evaluation of humus conditions under different forest stands: Beech vs. spruce dominated forest stand. *Ekológia* (Bratislava) 22 (3): 47-60.

MAGILL, A.H., ABER, J.D. 2000. Dissolved organic carbon and nitrogen relationships in forest litter as affected by nitrogen deposition. *Soil Biology and Biochemistry* 32 (5): 603-613.

MATĚJKA K., STARÝ J. 2009. Differences in top-soil features between beech-mixture and Norway spruce forests of the Šumava Mts. *Journal of Forest Science* 55 (12): 540-555.

MELOUN M., MILITKÝ J. 2004. *Statistická analýza experimentálních dat.* Academia Praha, 1954.

MELOUN M., MILITKÝ J., HILL M. 2006. *Kompendium statistického zpracování dat*. Academia Praha, 1982.

NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České Republiky*. ČZU Praha, 79 s.

NIKL J. 2000. *Oblastní plán rozvoje lesů - Přírodní lesní oblast 30 Drahanská vrchovina* - textová část + přílohy. Platnost 2010-2020. ÚHUL Brandýs nad Labem - pobočka Brno, 240 s.

ORLOV D.S. 1985. *Chimija počv (Soil Chemistry).* Moskva: Izd. MGU, 376 s.

PATZEL N., PONGE J. F. 2001. The heterogeneity of humus components in a virgin beech forest. *European Journal Soil Biology* 37: 117-124.

PICCOLO A. 1996. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems.* Amsterdam: Elsevier Science B.V., 675 s.

PIVEC J. 1992. Air Temperature and Deficit of Precipitation. In: Klimo E, Maršálek J. (ed.) *Manmade Spruce Ecosystem (Structure, Functions, Production, Processes).* Report from Project Rájec, Institute of Forest Ecology, Agriculture University Brno, 9-10.

PLÍVA K. 1987. *Typologický klasifikační systém “ÚHUL”.* ÚHUL Brandýs nad Labem, 52 s.

POBĚDINSKIJ A., KREČMER V. 1984. *Funkce lesů v ochraně vod a půdy*. SZN Praha, 1984.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., SIROVÝ V., LHOTSKÝ J., MACUROVÁ H., IVÁNEK O., BUMERL M., HUDCOVÁ O., VOPLAKAL K., HÁLOVÁ G., BLAHOVEC F. 1992. *Rozbory půd, vod a rostlin*. VÚMOP, Praha, 259 s.

PONGE J. F., DELHAYE L. 1995. The heterogeneity of humus profiles and earthworm communities in a virgin beech forest, *Biology and Fertility of Soils* 20: 20-24.

PONGE J.F., FERDY J. 1997. Growth of Fagus sylvatica in an old-growth forest as affected by soil and light conditions, *J. Veg. Sci.* 8: 789-796.

PONGE, J.F. 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 935-945.

POSPÍŠILOVÁ L., TESAŘOVÁ M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd. *Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*: Folia Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně: edice původních vědeckých prací a monografií. 2009. sv. II, č. 1, s. 1-41.

QUITT E. 1971. Klimatické oblasti Československa. *Studia geographica* 16. Brno: ČSAV-GU, 80 s.

REJŠEK K. 1999. *Lesnická pedologie cvičení*. MZLU v Brně, 154 s.

ROBERTSON G.P., COLEMAN C.C., BLEDSOE C.S., SOLLINS P. 1999. *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research.* New York: Oxford University Press, 462 s.

SÁŇKA M., MATERNA J. 2004. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd*. MŽP - edice Planeta, 12 (11): 84 s.

SKOŘEPA H. 2006. *Lesy Drahanské vrchoviny*. Nakladatelství Albert v Boskovicích, 1. vydání, 156 s.

SOTÁKOVÁ S. 1982. *Organická hmota a úrodnosť pödy.* Príroda Bratislava, 234 s.

SPARKS D. J. 2003. *Environmental Soil Chemistry*. London: Academic Press, Second Edition, 352 s.

STATSOFT ČR S. R.O. 2009. STATISTICA.Cz (softwarový systém pro analýzu dat), verze 8.0 a 9.0. www.statsoft.cz.

STEVENSON, F. J. 1994. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions.* John Wiley & Sons, Inc., New York, 496 s.

ŠÁLY R. 1977. *Lesnícke pôdoznalectvo.* Zvolen: VŠLD, 2. vyd., 380 s.

ŠÁLY R. 1978. *Pôda - základ lesnej produkcie*. Bratislava, Príroda, 235 s.

ŠTYKAR J. 2002. Biodiverzita rostlinné složky stádií smrkového lesa skupiny geobiocénů Fageta abietino-quercina na výzkumném objektu Ústavu ekologie lesa MZLU v Brně „Rájec“. *Ekológia* (Bratislava) 21 (Supplement 1): 45-68.

VALLA M., KOZÁK J., NĚMEČEK J., MATULA S., BORŮVKA L., DRÁBEK O. 2000. *Pedologické praktikum*. ČZU, AF, Praha. 148 s.

VANĚK V., KOLÁŘ L., PAVLÍKOVÁ D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. *Racionální použití hnojiv – sborník z konferenc*e. ČZU Praha 6.

WARING R.H., RUNNING S.W. 1998. *Forest ecosystems:Analysis at multiple scales.* San Diego (California), London (UK): Academic Press, 370 s.

ZANELLI R., EGLI M., MIRABELLA A., GIACCAI D., FITZE P. 2006. Influence of laurophyllous species, Castanea sativa and Quercetum-Betuletum vegetation on organic matter in soils in southern Switzerland and northern Italy. *Geoderma* 136: 723-737.

ZBÍRAL J., HONSA I., MALÝ S. 1997. *Analýza půd III. Jednotné pracovní postupy*. Brno, ÚKZÚZ, 150 s.

9. VYBRANÉ MIKROBIÁLNÍ A ENZYMATICKÉ PARAMETRY V TYPECH LESNÍCH PŮD

9 Selected microbial and enzymatic parameters in the forest soils types

Dušan Reininger, Přemysl Fiala, Stanislav Malý *

ABSTRAKT
Fyzikální a chemické vlastnosti půdy představují základ, na kterém jsou postaveny současné půdní klasifikace. Do popředí zájmu pedologů se ovšem stále častěji dostávají i půdní mikroorganismy, zejména jejich mikrobiální a enzymatická činnost. Ke zjištění vztahů mezi touto aktivitou, probíhající zejména ve svrchní části půdy, a stávající půdní klasifikací, je vytvářena v ÚKZÚZ Brno databáze charakteristik z oboru mikrobiologie. Na vybraných typech lesních půd (rendzina, fluvizem, pseudoglej, kambizem) byl v roce 2009 proveden první cyklus odběrů a analýz vzorků nadložního humusu a organominerálního horizontu. Získané výsledky mohou významně doplnit stávající klasifikaci a sloužit jako základ pro legislativní ochranu půdy.
Klíčová slova: mikrobiální a enzymatická aktivita, půdní typ, převládající dřevina

ABSTRACT
Physical and chemical soil properties represent a principle of modern soil classification. However, soil microorganisms especially their microbiological and enzymatic activities are more often the goal of soil scientist investigation. To find out the relationship between this activity running in surface horizons of soil and current classification of soils the database of microbiological characteristic is created in the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture in Brno. The first round of sampling and analyses of forest floor and organic-mineral horizon samples was done on the selected soil types (Rendzic Leptosol, Fluvisol, Planosol, Cambisol) in 2009. Obtained results can significantly update current classification and be used as base for legislative soil protection.
Keywords: microbial and enzymatic activity, soil type, dominant species

9.1 ÚVOD

Hodnocené fyzikálních a chemických vlastnosti, na kterých jsou postaveny půdní klasifikace, jsou ve velké míře výsledkem mikrobiální degradace organické složky půd za současného působení enzymů. Přiřazení zjištěných hodnot mikrobiální a enzymatické aktivity jednotlivým půdním typům vnáší do typologických systémů hledisko toku energie a hmoty v ekosystému.

V tomto smyslu bylo ve vybraných lesních ekosystémech jižní Moravy šetřeno půdní prostředí. Pilotní projekt spočívá v podchycení souboru půdních typů zahrnujících co možná nejširší prostor klasifikačního systému – Taxonomický klasifikační systém půd ČR. (Němeček, 2001)

Půdní prostředí je nedělitelnou součástí lesního ekosystému. Ten se vyskytuje jako přirozené, dá se říct původní klimaxové stadium lesního typu na daném geografickém místě, nebo jako ekosystém pozměněný ať už vývojovým porostním stadiem hospodářského lesa nebo změněnou druhovou skladbou. Mikrobiota se v tomto smyslu zdá být těmito vývojovými, ať už přirozenými, nebo umělými stadii nejvíce ovlivněna. Vlivy gradují na stanovištích a jsou spjaty vzájemnými vazbami. Výsledkem je množství mikroprostředí se specifickými podmínkami (Šimek, 2002).

Lesní ekosystémy jsou klasifikovány lesnickou typologií. Ta pojmenovává skupiny lesních typů podle edifikátoru ekosystému. Tím je horní dřevinné patro, které určuje hlavní tok hmoty a energie a vytváří korunovou klenbu rostlinného společenstva. Vytváří také mikroklima lesního prostředí a

* Ing. Dušan Reininger, Ing. Dr. Přemysl Fiala, Mgr. Stanislav Malý, PhD., ÚKZÚZ Brno, Hroznová 2, 656 06 Brno, ČR, e-mail: dusan.reininger@ukzuz.cz, premysl.fiala@ukzuz.cz, stanislav.maly@ukzuz.cz

organickým opadem určuje chemizmus nadložního organického horizontu. I půdní mikroflóra stejně jako půdní prostředí se svými taxonomickými charakteristikami je součástí ekosystému.

9.2 METODIKA

9.2.1 Odběr vzorků

Výběr lokalit se soustředil na podchycení mikrobiologické a enzymové aktivity na rozdílných půdních typech v přírodních lesních oblastech. Vzorky byly odebírány v jarních měsících březnu a dubnu. Na lokalitě reprezentující daný lesní typ byl z 10 odběrných míst odebrán směsný vzorek fermentačního a humifikačního subhorizontu a vzorek organominerálního horizontu. Na ploše 25 x 25 cm byly ve zvoleném místě odebrány organické vzorky. Fermentační horizont byl odebrán z celé plochy (25 x 25 cm).

Tab. 1 Seznam a popis šetřených stanovišť

Odběrné místo	Přírodní lesní oblast	Lesní typ	Půdní typ	Půdní subtyp	dřevina	*M.A./A	**E.A./A
16901	Českomoravská vrchovina	5P1	pseudoglej	dystrický	sm,bo,md,br	X	X
16902	Českomoravská vrchovina	6P1	pseudoglej	dystrický	sm	X	X
30901	Drahanská vrchovina	3B2	kambizem	modální	bk,md,sm,db	X	X
30902	Drahanská vrchovina	2I1	kambizem	modální	db,bo,md,sm	X	
30903	Drahanská vrchovina	3I4	luvizem	dystrická	db,bo,bk	X	
30904	Drahanská vrchovina	4P1	pseudoglej	glejový	sm,db,bo,md,br	X	
30905	Drahanská vrchovina	4S6	kambizem	modální	bk,md,sm,bo	X	
33901	Předhoří Českomor. vrch.	4S4	kambizem	modální	bk	X	
33902	Předhoří Českomor. vrch.	4S4	kambizem	modální	bo,sm,md	X	
33903	Předhoří Českomor. vrch.	4B1	kambizem	modální	sm	X	
33904	Předhoří Českomor. vrch.	4K5	kambizem	modální	sm	X	
35901	Jihomoravské úvaly	3J6	rendzina	suťová	lp,js,hb	X	X
35902	Jihomoravské úvaly	1L9	fluvizem	modální	db,js	X	X
35903	Jihomoravské úvaly	1L9	fluvizem	modální	db,js	X	X

*M.A./A - mikrobiální aktivita – organominerální horizont
**E.A./A - enzymatická aktivita – organominerální horizont

V tomto vymezeném prostoru se vymezí menší ploška o rozměrech 10 x 10 cm. Z této plošky se odebírají vzorky subhorizontu H a následně sondýrkou vzorek organominerálního horizontu čtyřmi vpichy do hloubky 10 cm. Hned po odběru jsou vzorky uloženy do chladících boxů a týž den odvezeny do laboratoře.

V terénu byla ověřena platnost typologického mapování a na základě půdních charakteristik popsaných pro jednotlivé lesní typy a ověřené na zákopcích a sondýrkou v terénu. V uvedené práci je z důvodu prozatímní neucelenosti analytických údajů pojednáno pouze o organominerálním horizontu vzorkovaných půd.

9.2.2 Chemické analýzy

Aktivita ureázy se stanovuje jako množství uvolněných amonných iontů během 2 hodinové inkubace půdního vzorku s ureou při 37°C.

Stanovení profilu enzymatických aktivit půdních mikrobiálních společenstev: Půdní suspenze připravená v acetátovém pufru je po přídavku fluorogenního substrátu inkubována 3 hodiny při 30°C v 96-jamkové mikrodestičce. Enzymatické aktivity jsou stanovovány měřením nárůstu fluorescence mezi 1 a 3 h. Po odečtu z kalibrační křivky jsou aktivity vyjádřeny jako množství uvolněného 4-methylumbeliferonu daným množstvím půdy za jednotku času.

Stanovení uhlíku mikrobiální biomasy fumigační extrakční metodou: Půdní vzorky jsou fumigovány chloroformem 24 hodin. Obsahy organického uhlíku a dusíku jsou stanoveny v extraktech (K_2SO_4, c = 0,5 mol.l^{-1}) fumigovaných a nefumigovaných půd a z rozdílů jsou vypočteny hodnoty obsahu půdního mikrobiálního uhlíku. Obsah C v nefungovaných půdách byl vzat jako extrahovatelný uhlík (C_{ext}). V přítomnosti koncentrované kyseliny sírové je organická hmota oxidována a Cr(VI) redukován na Cr(III). Úbytek Cr(VI) je stanoven fotometricky.

Bazální respirace titrační metodou: Půdní vzorek je inkubován v uzavřené lahvi nad roztokem hydroxidu sodného, do kterého je jímán uvolněný CO_2. Jeho množství je stanoveno zpětnou titrací.

Anaerobní N mineralizace (amonifikace): Půdní vzorek je týden inkubován při 40 °C v uzavřené zkumavce naplněné vodou, aby bylo zamezeno přístupu kyslíku a oxidaci amonných iontů na nitrátové. Z rozdílu koncentrací NH_4^+ na konci a na počátku inkubace je stanovena rychlost amonifikace.

Stanovení koncentrace amonných iontů v půdním extraktu: Metoda je založena na Berhelotově reakci amonných iontů s chlornanem a salicylanem, která dává modré zbarvení (salicylátový analog indofenolu). Intenzita zbarvení je měřena fotometricky při 660 nm.

Stanovení oxidovatelného uhlíku fotometricky: Půdní vzorek se suší na vzduchu při laboratorní teplotě a po odstranění případných zbytků rostlin. Poté se půda drtí a prosévá (250 µm) tak dlouho, až veškerý vzorek projde sítem. V suchém vzorku se stanoví sušina.

Měření bazální respirace, substrátem indukované respirace a respiračních růstových křivek systémem OxiTop (WTW): Půdní vzorek je inkubován spolu s roztokem hydroxidu sodného v uzavřené lahvi s měřící hlavicí OxiTop. Spotřeba kyslíku vede k poklesu tlaku v lahvi, neboť uvolněný oxid uhličitý je jímán do roztoku hydroxidu. Měřící zařízení průběžně zaznamenává pokles tlaku, který je poté přepočten na množství spotřebovaného kyslíku. V případě bazální respirace není k půdě přidán žádný substrát. Přídavek substrátu obsahující glukózu vede k okamžitému zvýšení respirace (substrátem indukovaná respirace, SIR), které není spojeno s růstem mikroorganizmů. Substrátem indukovaná respirace je stanovována během několika následujících hodin (standardně 10 h) po přídavku glukózy.

Tab. 2 Zjišťované parametry

Mikrobiální aktivita		
Zkratka	**Parametr**	**Jednotka**
AMO	anaerobní amonifikace	$\mu g NH_4^+\text{-}N.g^{-1}.d^{-1}$
Cext	extrahovatelný organický uhlík (0.5 M K_2SO_4)	$\mu g.g^{-1}$
Cox	oxidovatelný uhlík	%
MBC	uhlík mikrobiální biomasy fumigační extrakční metodou	$\mu g.g^{-1}$
RES	bazální respirace titračně (uvolněný CO_2)	$\mu g CO_2\text{-}C.g^{-1}.h^{-1}$
RSS	bazální respirace (spotřeba kyslíku)	$\mu g O_2.g^{-1}.h^{-1}$
SIR	substrátem indukovaná respirace (spotřeba kyslíku)	$\mu g O_2.g^{-1}.h^{-1}$
URE	aktivita ureázy	$\mu g NH_4^+\text{-}N.g^{-1}.h^{-1}$

Enzymatické aktivity		
Zkratka	**Enzym**	**Jednotka**
AGL	alfa glukosidáza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
AGM	chitináza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
B4F	fosfodiesteráza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
BGL	beta glukosidáza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
DCB	cellobiosidáza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
SUL	arylsulfatáza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}
XPN	beta xylosidáza	nmol MUF.g^{-1}.h^{-1}

9.2.3 Statistické zpracování:

Ke zpracování byl použit statistický software STATICTICA, metoda analýzy hlavních komponentů (PCA).

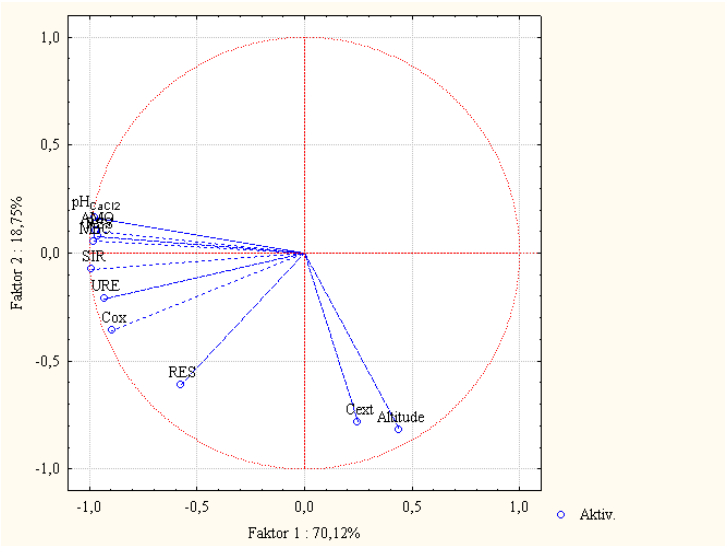
9.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Statistické zpracování je zaměřeno na porovnání mikrobiální aktivity v organominerálním horizontu s hodnotami výměnného pH půdy a s nadmořskou výškou, ve které byly vzorky odebrány.

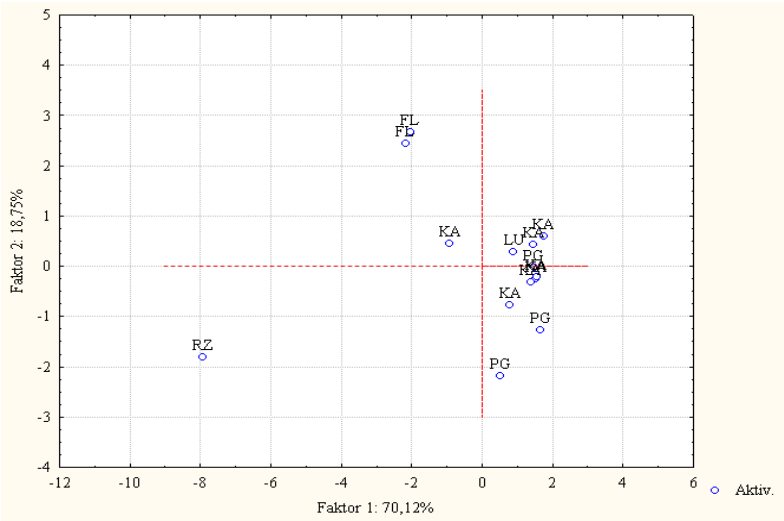
Graf komponentních vah (obr. 1) odhaluje silnou pozitivní korelaci mikrobiální aktivit navzájem mezi sebou i s hodnotami pH a hodnotou Cox. Naopak hodnoty extrahovatelného organického uhlíku (Cext) s mikrobiální aktivitou významně nekorelují, ale jsou významně závislé na nadmořské výšce (*altitude*). Z měřených hodnot mikrobiálních aktivit se významněji vylišuje parametr bazální respirace (RES) vyjadřující množství uvolněného CO_2. Z hlediska hodnocení zjištěné mikrobiální aktivity na půdní typy a převládající dřevinu (edifikátor ekosystému) (obr. 2 a 3) můžeme identifikovat čtyři shluky:

1. Výrazně extrémní hodnoty na rendzině (RZ) s lípou (LP);
2. Fluvizem (FL) s dubem (DB);
3. Kambizem (KA), Luvizem (LU) s listnatými i jehličnatými dřevinami;
4. Pseudoglej (PG) a Kambizem (KA) se smrkem (SM).

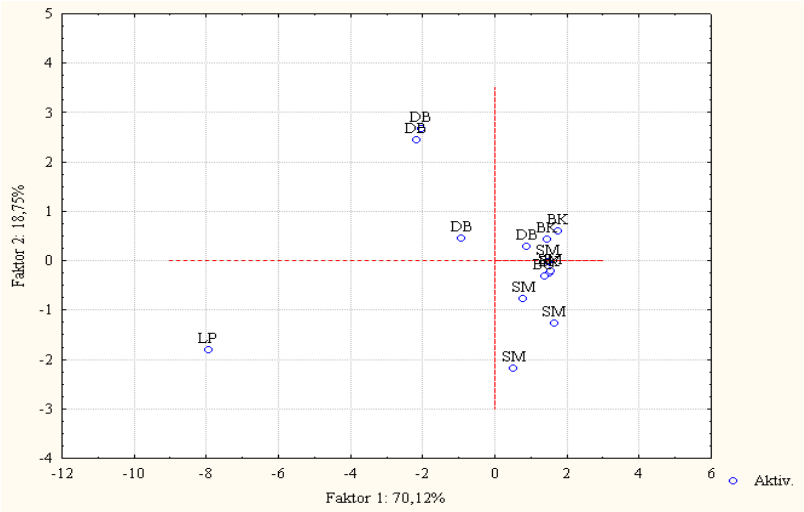
Mikrobiální aktivita je nejvyšší v první skupině, nižší v druhé skupině a nejnižší ve třetí a čtvrté skupině. Mezi třetí a čtvrtou skupinou není v mikrobiální aktivitě rozdíl.



Obr. 1 Graf komponentních vah



Obr. 2 Rozptylový diagram komponentního skóre při popisu objektů půdní typ



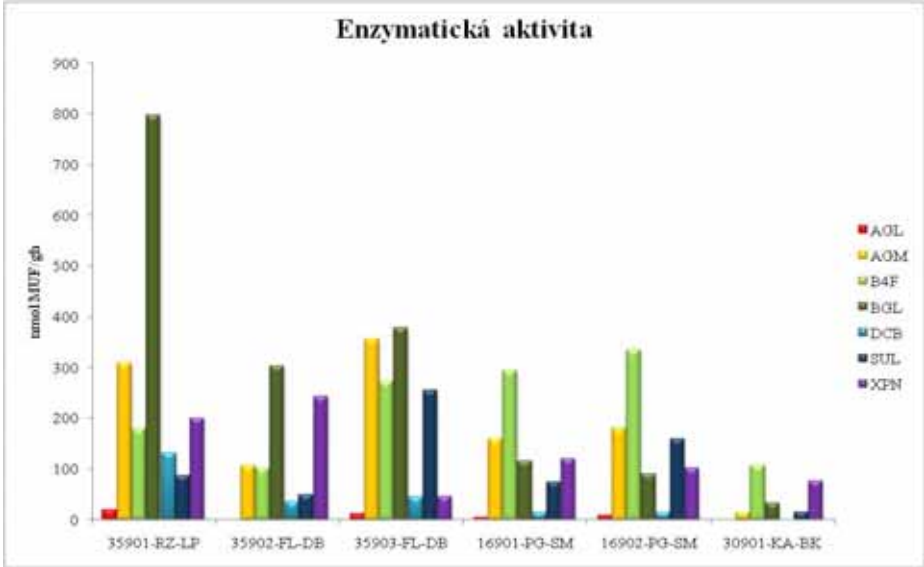
Obr. 3 Rozptylový diagram komponentního skóre při popisu objektů dřevina

Vybrané charakteristiky stanoviště (pH/$CaCl_2$, nadmořská výška a spalitelný uhlík) a mikrobioty – (uhlík mikroorganismů, respirace, substrátem indukovaná respirace a amonifokace) neurčují stav půdního prostředí vzhledem k jeho kvalitě a stupni rozkladu. Nejsou však černou skříňkou (Singh, 2004), která pouze akceptuje výsledky mikrobiální aktivity, ale kvantifikují mikrobiotu v době odběru. Jarní období se zde zřejmě promítá do maxima uhlíku mikrobiální biomasy a rovněž bazální respirace. Výjimečné hodnoty v dubo-jasanových kmenovinách na fluvizemích a na rendzině na Pavlovských kopcích jsou výsledkem rychlého koloběhu živin v klimatických podmínkách moravského termofytika a na bohatých půdách (fluvizemě pH – 5,1, rendzina pH - 6,9). Na těchto půdách se fermentační subhorizont takřka nevyskytuje a činnost mikrobioty probíhá v minerální části profilu. Z uvedeného vyplývá ekologická závislost mikrobioty a její činnosti na stanovišti a tím i na klasifikační jednotce půdy, jako kompartmentu ekosystému.

Podobný výsledek byl zjištěn pro enzymatickou půdní aktivitu (graf 1). Zdá se, že pro jednotlivé půdní typy ve spojitosti s určitou dřevinou jsou charakteristické určité enzymy. Sloupcový graf znázorňuje vysokou aktivitu BGL na bohaté rendzině v oblasti moravského termofytika a její klesací tendenci přes fluvizemě, pseudoglejové půdy až kambizemě ve smrkových monokulturách Českomoravské vrchoviny. Podobný charakter byl zjištěn u chitinázy odpovídající za katalýzu štěpení chitinu. Tyto aktivity také souvisí s chemickou půdní reakcí, která je v bohatých půdách vyšší a klesá směrem k chudším kambizemím ve vyšších polohách. Intenzita α - glukosidázy, byla zřejmě na vrcholu v podzimním období a rozklad sacharidů, který katalyzuje, může být již ukončen. Významný

je zde rozdíl od výše zmíněné β glukosidázy katalyzující glukózová rezidua. Podobné sezónní a prostorové změny dokládá Tscherko (1999).

Na druhé straně nízké hodnoty cellobiosidázy a arylsulfatázy jsou zřejmě významněji ovlivněny dobou odběru vzorků – v jarním chladném období, kdy se mikrobiální činnost začíná rozvíjet.



Graf 1 Enzymatická aktivita na vybraných půdních typech

9.4 ZÁVĚR

Výše uvedené výsledky prokazují existenci vysoké závislosti mezi mikrobiálními a enzymatickými charakteristikami, půdním typem a převládající dřevinou porostu. Jelikož sledované mikrobiální aktivity mezi sebou silně korelují, je možné jejich analýzy redukovat, případně některé zcela vypustit a tím celý postup zlevnit a urychlit aniž by došlo k podstatné ztrátě informací. Podobný postup je možné provést i u sledovaných enzymů. Zjištěné výsledky budou i nadále ověřovány dalšími analýzami.

Literatura

NĚMEČEK J. a kol. 2001: *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha, 2001, ISBN 80-238-8061-6

SINGH A., WARD O.P. 2004. Biotechnology and Bioremediation – an Overview; *Soil Biology*, Volume 2, Biodegradation and Bioremediation, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

ŠIMEK M. 2003. *Základy nauky o půdě*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2003.

TSCHERKO D., KANDELER E. 1999. Classification and monitoring of soil microbial biomass, N-mineralization and enzyme activities to indicate environmental changes, *Die Bodenkultur* 50 (4), 1999.

10. VÝSLEDKY PALEOEKOLOGICKEJ ANALÝZY ALUVIÁLNEJ PÔDY (LOKALITA ŠTÚROVÁ, ŽITNÝ OSTROV, SLOVENSKO)

10 Results of paleo-ecological ananlysis of alluvial soil (site Štúrová, Rye Island, Slovakia)

Eva Břízová, Peter Pišút *

ABSTRAKT
V príspevku prezentujeme výsledky paleoekologickej analýzy aluviálnej pôdy (fluvizem glejová) na dne zazemneného paleomeandra rieky Dudváh. Peľová analýza a rozbor makrofosílií poskytujú nové údaje o vývoji prírodného prostredia Podunajskej nížiny. Skúmaný meander bol prirodzenou cestou odstavený v subboreáli, kedy krajinu ešte z väčšej časti pokrývali zmiešané lesy s dubom, no s výrazným zastúpením peľov buka (*Fagus*) a jedle (*Abies*). V mokradných zníženinách rástli charakteristické slatinné jelšiny s jelšou lepkavou (*Alnus glutinosa*). Najväčší ústup lesa nastal v období subatlantika. Až do polovice 19. storočia bola celá oblasť silne ovplyvňovaná vysokou hladinou podzemnej vody a periodickými záplavami, čo odzrkadľuje peľ rôznych vodných a mokradných druhov rastlín. V peľovom spektre prevažovali pele šachorovitých rastlín (*Cyperaceae*), *Brassicaceae*/*Cuscuta*, peľ lipnicovitých (*Poaceae*) a mrkvovitých (*Apiaceae*). Vývoj miestnej hydrosérie začal 1) štádiom odstaveného ramena, avšak stále s prísunom tečúcej vody, chudobného na vodné rastliny aj mäkkýše, pokračoval 2) štádiom eutrofného poriečneho jazera s pomaly tečúcou alebo stojatou vodou, husto zarastajúceho vodnými rastlinami (*Batrachium, Potamogeton* sp., *Ceratophyllum demersum* a i.) s hojnou faunou vodných mäkkýšov a lastúrničiek (*Ostracoda*), ktoré sa časom zmenilo na 3) otvorený plytký močiar s pôdnym typom glej, porastený šachorovitými rastlinami (najmä *Carex riparia*). Súčasný biotop je výsledkom krajinných zmien, spojených s odvodňovaním, intenzifikáciou poľnohospodárstva, ruderalizáciou a šírením inváznych druhov.
Kľúčové slová: fluvizem, glej, paleoekológia, holocén, paleomeander, palynológia, Dudváh

ABSTRACT
Pollen and macrofossil analysis of Fluvisol from the Dudváh River terrestrialized palaeomeander (Rye Island) provides new information about the palaeo-environment of the Danube Lowland. Meander under study was cut-off during the Sub-Boreal period when the land was mostly covered by oak-dominated mixed forest with a notable high frequency of *Fagus* and *Abies*. At low-lying depressions, *Alnus glutinosa* have formed typical alder cars. The largest decline of the mixed forest occurred during the Sub-Atlantic period. Until the mid-19th century the region was strongly influenced by shallow groundwater and periodical floods, as reflected by pollen of aquatics and marsh species. Amongst non-arboreal taxa, pollen of *Cyperaceae, Brassicaceae*/*Cuscuta*, Poaceae and *Apiaceae* prevailed. Local succession changes started with 1) stage of abandoned oxbow still with influx of moving water, poor in both macrophytes and molluscs, 2) shallow eutrophic oxbow lake with slowly flowing or stagnant water overgrowing with aquatics (*Ranunculus* subgen. *Batrachium, Potamogeton* sp., *Ceratophyllum demersum* etc.) abound with molluscs, and 3) an open marsh dominated by *Cyperaceae* (mainly *Carex riparia*) with *Atriplex prostrata*, supporting diverse molluscs and *Ostracod* fauna. Present-day habitat is a result of landscape changes, which have been associated with draining, intensified agriculture, ruderalization and spread of invasive species.
Key words: Fluvisol, Gleysol, palaeo-ecology, Holocene, palaeomeander, palynology, Dudváh River

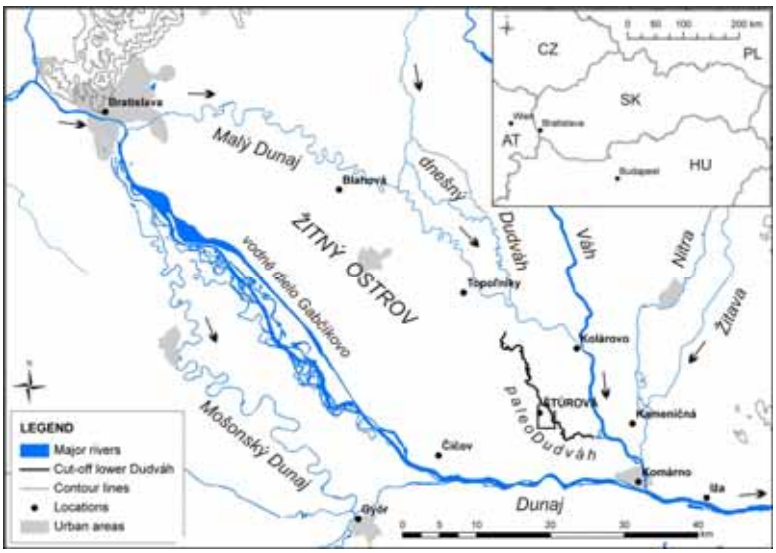
10.1 ÚVOD

Pôda nie je len základňou produkcie biomasy, ale predstavuje aj kultúrne a historické dedičstvo štátov a Zeme. Obsahuje paleontologické a archeologické artefakty, ktoré vypovedajú o premenách krajiny v štvrtohorách a narastajúcom vplyve človeka na prírodu. Výborným médiom pre

* RNDr. Eva Břízová, CSc., Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 21 Praha 1, ČR, e-mail: eva.brizova@geology.cz, Ing. Peter Pišút, PhD., Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4, SR, e-mail: pisut@fns.uniba.sk

paleoekologické analýzy sú organické vrstvy hydromorfných pôd, najmä organozemí. Nielen vrchoviskové rašeliniská, ale aj slatinné vrstvy bývalých riečnych ramien môžu predstavovať cenné prírodné archívy s veľkou výpovednou hodnotou o vývoji okolitej krajiny (Břízová, 2007).

Súčasťou výskumu starých riečnych foriem na Podunajskej rovine v rokoch 2005-2007 bol aj interdisciplinárne orientovaný výskum niekdajšieho dolného toku rieky Dudváh. Po závažných zmenách korýt v stredoveku, v období medzi rokmi 1378-1528 (Pišút, 2006) sa totiž jeho odstavený úsek v dĺžke najmenej 24 km v súčasnosti nachádza na dolnom Žitnom ostrove (obr. 1). Súčasťou uvedeného výskumu bola aj analýza sedimentov, tvoriacich pôdne solum a časť pôdotvorného substrátu silne karbonátovej fluvizeme glejovej z ílovitých náplavov. Cieľom bolo zistiť potenciál pôdy z hľadiska paleoekologických analýz a pokúsiť sa datovať vek odstaveného ramena.



Obr. 1 Zaniknutý dolný tok Dudváhu a poloha skúmanej lokality

10.2 MATERIÁL A METÓDY

Študovaný pedón je lokalizovaný na dne bývalého meandra Dudváhu pri obci Štúrová (47°50´20,99“ N, 17°56´49.17“ E) v klimaticky veľmi teplej a suchej oblasti Slovenska. Zazemnený meander v súčasnosti predstavuje refúgium pôvodnej mokradnej vegetácie uprostred intenzívne obhospodarovanej poľnohospodárskej krajiny (nadmorská výška 108-109 m n. m.). Miesto sondy sa nachádza v časti s homogénnym porastom vysokých ostríc asi 6 m od bývalého nárazového brehu ramena. Odber vzoriek a popis pôdneho profilu v kopanej sonde prebehli v dvoch fázach – v októbri roku 2006 (do hĺbky 100 cm) a v lete roku 2007, kedy pokles hladiny podzemnej vody, spôsobený extrémne teplým a suchým počasím umožnil odobrať vzorky a podrobne popísať pôdny profil až do hĺbky 130 cm. Takto sa podarilo preskúmať asi polovicu z odhadovanej hĺbky ramena (okolo 2.8 m). Celkove sme odobrali 26 vzoriek na peľovú analýzu a 13 na rozbor pôdnych makrofosílií. Pôdny profil sme popísali v zmysle Čurlíka a Šurinu (1999), farbu pôdy sme určili za vlhka podľa Munsella (2000). Pôdne vzorky boli analyzované na Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave (zrnitosť podľa Nováka, pH v H_2O aj KCl, obsah karbonátov, obsah a kvalita humusu).

Sedimenty obsahovali veľké množstvo subfosílnych ulít mäkkýšov (*Mollusca*) a ich fragmentov, boli však relatívne chudobné na palynomorfy. Obsahovali aj rastlinné makrozvyšky, ulitky lastúrničiek (*Ostracoda*), kožovité kokóny *Annelida*/*Turbellaria*, zvyšky hmyzu, drobné uhlíky, niekoľko úlomkov kostí (zrejme drobných cicavcov) a rybiu šupinu.

Metodika prípravy, analýzy a interpretácie sporomorf, rastlinných makrozvyškov a tanatocenóz mäkkýšov z pôdnych vzoriek je podrobne popísaná inde (Břízová *et al.,* 2007, Pišút *et al.,* 2010). Na kalkuláciu a vykreslenie peľových diagramov a makrofosílií sme použili program POLPAL (Walanus, Nalepka 1999). Taxóny rastlín, identifikované na základe peľov, boli zoskupené podľa životných foriem. Niektoré striktne mokradné druhy boli považované za súčasť lokálnej flóry aj v prípade, ak neboli doložené makrofosíliami, ale výskumom súčasnej flóry (Kubalová, 2006) v okolí lokality.

Rekonštrukcia vývoja vegetácie vychádza z modifikovanej klasifikácie pre Strednú Európu (Firbas, 1949, 1952, Dreslerová *et al.,* 2004). Na základe druhovej skladby a s pomocou PCA (= súčasť programu POLPAL) bol profil stratigraficky datovaný a peľový diagram rozdelený do miestnych peľových zón (LPAZ = *local pollen assemblage zones).*

Vzorky sedimentov na analýzu makrofosílií (hmotnosti 300-550 g) sme namáčali vo vode a v 10 % roztoku H_2O_2. Plávajúce ulity, lastúrničky, kokóny, zvyšky hmyzu a uhlíky sa vyberali pinzetou. Zvyšný sediment bol preplavovaný sitom s okom 0.25 mm, najodolnejšie hrudky karbonátového ílu sme dispergovali aj namáčaním v Calgone. Na determináciu semien, plodov a ulít mäkkýšov pod binokulárnou lupou sme používali predovšetkým vlastné porovnávacie zbierky recentných prírodnín, ale aj atlasy semien (napr. Cappers *et al*., 2006).

Rekonštrukcia a datovanie vývoja aluviálnej pôdy sa opierali aj o dva údaje, získané konvenčným rádiokarbónovým datovaním ^{14}C subfosílnych ulít mäkkýšov z hĺbky 55 and 102 cm (GADAM Centre, Gliwice, Poľsko). Interpretácia fosílnych nálezov vychádza aj z dôkladného prieskumu súčasnej vegetácie šiestich paleomeandrov Dudváhu (Kubalová, 2006, Pišút *et al.,* 2007).

10.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

10.3.1 Popis pôdneho profilu (litológia sedimentov)

V čase popisu pôdneho profilu (27. 7. 2007) bola v dôsledku dlhotrvajúceho sucha vrchná časť pôdneho sola rozpukaná vertikálnymi trhlinami, širokými do 5 mm a siahajúcimi až do hĺbky 85 cm, na makroagregáty šírky okolo 20 cm. Zjednodušený popis pôdneho profilu je v tab. 1.

Tab. 1. Zjednodušený popis pôdneho profilu

Horizont	Hĺbka (cm)	Morfologické vlastnosti
Ool	0-1	Nerozložené byle najmä ostrice pobrežnej (*Carex riparia*)
Aoc	0-20	Tmavosivohnedý humusový horizont, farba za vlhka 10YR 2.5/2, suchý, súdržný, silne karbonátový, štruktúra drobno polyedrická až drobno hrudkovitá, hojné úlomky a ulity mäkkýšov, postupný prechod do
C(Gr)c	20-39	Tmavo hnedosivý, farba za vlhka 10YR 4/3, silne karbonátový íl s prímesou jemného piesku; súdržná až uľahnutá konzistencia, masívna (koherentná) štruktúra, hojné úlomky a ulity mäkkýšov; rozpadnutý prechod do
CaGoc	39-56	Hnedá piesčitá hlina (sivá farba v matrici do 10 %), 10YR 4,5/3, silne karbonátový, navlhý, hojné ulity mäkkýšov a ich úlomky; v hĺbke 55-62 cm vrstva s nápadnou koncentráciou početných subfosílnych ulít dospelých jedincov kotúľky veľkej (*Planorbarius corneus*), zreteľný prechod do
CGorc	56-80	Tmavosivohnedá piesčitá hlina, farba 10YR 3,5/2, masívna, bezštruktúrna zemina, slabo plastická, karbonátová, difúzne, stredne kontrastné hrdzavohnedé škvrny v rozsahu 40 %, tiež slabo scementované karbonátové konkrécie v rozsahu 5-10 %, úlomky a celé ulity mäkkýšov, postupný prechod do
Grc	80-130 (260)	Navlhlý íl s prevládajúcou reduktomorfnou modrosivou farbou (10YR 3,5/1,5 za vlhka), plastický, malé až stredne veľké (nad 15 mm) hrdzavohnedé škvrny v rozsahu do 10 %, slabo kontrastné, aj okolo chodbičiek po koreňoch. V hĺbke 83 a 102 cm výborne zachované schránky korýtka (*Unio tumidus*). Hladina podzemnej vody v hĺbke 130 cm, predpokladaná hĺbka ramena 280 cm.

Zrnitostne je pôda stredná až ťažká (prachovitoílovito hlinitá až prachovitoílovitá). V horizontoch 39-56 (74) cm bola evidentná prímes textúrne mierne hrubozrnnejšieho materiálu s prímesou hrubého prachu až jemného piesku, ktorá sa však analyticky neprejavila. Obsah humusu je veľmi vysoký (tab. 2), podobne ako v prípade iných hydromorfných a textúrne ťažkých pôd tejto oblasti (cf. Fulajtár *et al.,* 1998). Pomer C_{HA}/C_{FA} (< 1) indikuje humus nižšej kvality s relatívne nižším stupňom humifikácie a stability ($Q_6^4 > 4.0$). Stredne alkalická reakcia pôdy súvisí so silne až extrémne vysokým obsahom karbonátov (tab. 2), pričom horizont sekundárnej akumulácie karbonátov v hĺbke 39-56 cm (obsah $CaCO_3$ 49 %) spĺňa nároky aj na kalcikový horizont. V spodine pôdy sa vyskytovali aj sekundárne karbonátové nodule.

Tab. 2 Niektoré analytické vlastnosti pôdy

Horizont	Vzorka (cm)	Ílové častice (%)	$CaCO_3$ (g/100g)	Cox (g/100g)	Obsah humusu (%)	HK/FK	Q_6^4 (HK)	CEC (cmol+/kg)	pH (H_2O)	pH (KCl)
Aoc	5-15	72,23	29	5,29	9,12	0,51	4,68	37,70	8,21	7,66
C(G)c	25-35	84,97	29	3,21	5,53	0,55	4,31	35,03	8,47	7,82
CaGoc	40-52	59,82	49	5,91	10,19	-		-	8,34	7,76
CGorc	55-70	88,89	14	8,57	14,78	-		-	8,16	7,60
Grc	90-100	65,35	13,6	1,95	3,36	-		-	8,01	7,59

Obsah vodorozpustných solí v pôde resp. konduktivita neboli analyzované, avšak vzhľadom na belavé povrchy agregátov v odkryve staršej sondy a prítomnosť niektorých druhov, tolerantných voči zvýšenému obsahu solí - najmä lobody rozprestretej (*Atriplex prostrata*) je zrejmé, že na lokalite sa periodicky uplatňuje aj pôdotvorný proces mierneho zasoľovania.

Podľa súčasnej klasifikácie (Kolektív, 2000) je pôdny taxón klasifikovaný ako fluvizem glejová, resp. (aj) slanisková. V zmysle WRB (2006) ako Gleyic, Calcic Fluvisol (Calcaric, Clayic). Pred odvodnením išlo s najväčšou pravdepodobnosťou o typický glej s redukčnými podmienkami (nástupom Gr-horizontu) v hĺbke do 50 cm od povrchu pôdy.

10.3.2 Rekonštrukcia vývoja vegetácie v širšom okolí lokality

Neskoroholocénnu biostratigrafiu na lokalite Štúrová možno rozdeliť na päť miestnych palynologických zón (LPAZ) a dve podzóny, ktoré sa dajú korelovať so všeobecným klimatostratigrafickým delením pre Strednú Európu:

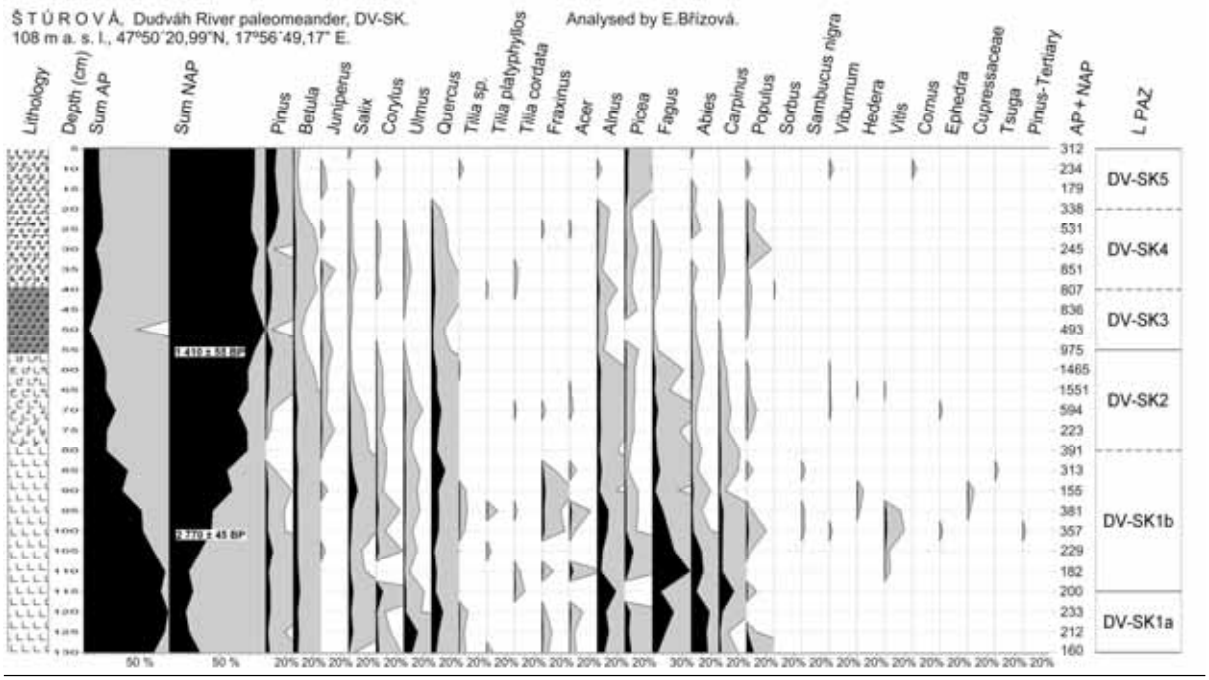
- DV-SK-1a-VIII: hĺbka 130-115 cm, *Abies* - *Fagus* - *Ulmus* - *Alnus* - *Quercus* - *Carpinus* - *Populus*;
- DV-SK-1b-IX: hĺbka 115-85 cm, *Abies* - *Fagus* - *Picea* - *Alnus* - *Salix* - *Quercus* - Cyperaceae;
- DV-SK-2-Xa: hĺbka 85-60 cm, Cyperaceae - Poaceae - vodné rastliny - *Quercus*;
- DV-SK-3-Xa: hĺbka 60-45 cm, Brassicaceae/*Cuscuta* - Cyperaceae - Apiaceae; DV-SK-4-Xb: hĺbka 45–20 cm Cyperaceae;
- DV-SK-5-Xc: hĺbka 20-0 cm, Cyperaceae - Brassicaceae/*Cuscuta* - *Pinus* - antropofyty.

S výnimkou dvoch najspodnejších podzón vo vzorkách prevažovali peľové zrná nedrevín, vrátane indikátorov kultivácie, odzrkadľujúce otvorenú kultúrnu pririečnu krajinu. Výsledky sa porovnávali aj s vývojom opusteného meandra Labe pri Starej Boleslavi (Břízová, 1999). Detailné výsledky peľovej analýzy, vrátane totálneho peľového diagramu budú publikované v práci Pišút a kol. (*in press*).

Paleomeander Dudváhu bol prirodzenou cestou odstavený v subboreáli (v dobe bronzovej alebo železnej v rámci archeologickej chronológie). V tomto období bola okolitá krajina ešte z väčšej časti zarastená rôznymi typmi nížinných lesov s dubom, hoci s pozoruhodne vysokým zastúpením peľov buka (*Fagus*) a jedle (*Abies*) vzhľadom na nížinnú oblasť (obr. 2). Najdôležitejšou súčasťou lesnej vegetácie v oblasti dolného Váhu a Žitného ostrova boli v tom čase rôzne typy panónskeho lužného lesa (*Fraxino – pannonicae Ulmetum*) s dubom (*Quercus*), brestami (*Ulmus*), lipou (*Tilia*), jaseňom (*Fraxinus*), topoľmi (*Populus*) a vŕbami (*Salix*). Z peľovej analýzy, ale aj nálezov semien jelše lepkavej vyplýva, že v terénnych zníženinách rástli v tejto oblasti aj typické slatinné jelšiny (*Alnetum glutinosae*), ako ich poznáme zo Šúra alebo medzidunových depresií Záhoria.

Najväčší ústup lesov, spôsobený človekom, nastal v študovanom území v priebehu staršieho subatlantika, pričom odlesnenie krajiny dosiahlo najvyšší stupeň vo včasnom stredoveku (600-1000 AD). Až do 19. storočia bol celý región silne ovplyvňovaný vysoko položenou hladinou podzemnej vody a periodickými záplavami, čo odzrkadľuje vysoká frekvencia peľu vodných a močiarnych rastlín. V sedimentoch prevládali peľové zrná šachorovitých rastlín (*Cyperaceae*), Brassicaceae /*Cuscuta*, lipnicovitých (*Poaceae*) a mrkvovitých (*Apiaceae*). V rámci nich sa však významne uplatňovali pele lokálnych druhov, napr. ostrice pobrežnej (*Carex riparia*, Cyperaceae) haluchy vodnej (*Phellandrium aquatica*, Apiaceae) či roripy lesnej (*Rorippa sylvestris*, Brassicaceae), doložených nálezmi semien.

Behom palynologického vyhodnocovania sa vo vrstvách datovaných do stredovekého obdobia našli aj zvyšky črevných parazitov človeka a prasiat (*Trichuris trichiura* - hlísta, *Ascaris* cf. *lumbricoides* – mrľa detská). Obaly ich vajíčok sa často nachádzajú aj inde v stredovekých objektoch v sedimentoch ukladaných v tomto období (Břízová, 1998, 1999, Břízová, Bartošková, 1994).

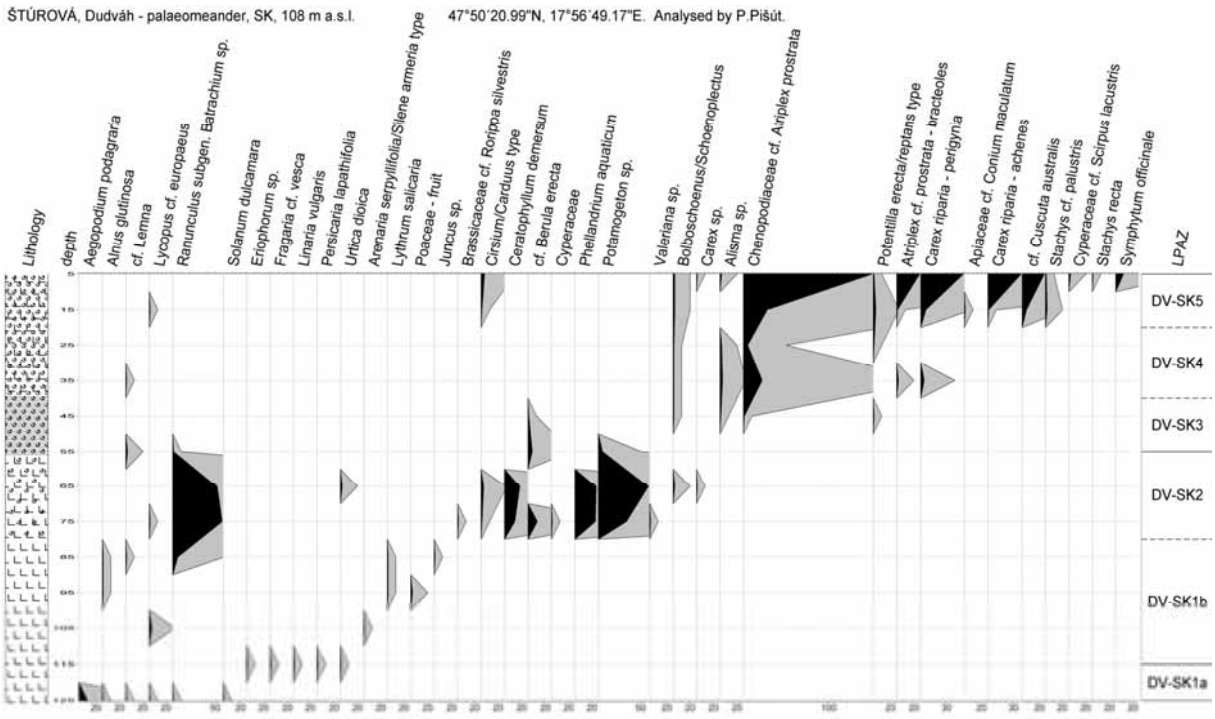


Obr. 2 Lokalita Štúrová, paleomeander Dudváhu, čiastkový peľový diagram – peľ drevín

10.3.3 Vývoj ekosystému odstaveného ramena a sukcesia vegetácie

Rozbor makrozvyškov, získaných výplavmi pôdnych vzoriek umožnil v paleozázname rozpoznať miestne druhy rastlín i živočíchov a spresniť údaje peľovej analýzy. Umožnil taktiež určiť jednotlivé štádiá zazemňovania odstaveného ramena a tým odhadnúť aj vek súčasnej pôdy. Lokálna sukcesia vegetácie začala štádiom odstaveného ramena, ktoré však naďalej ostávalo v spojení s Dudváhom a malo prísun tečúcej vody. Rameno bolo chudobné na vodné rastliny, z mäkkýšov tu žilo napr. korýtko rybničné (*Unio tumidus*). V bezprostrednom okolí ramena pravdepodobne rástli jelšiny, ale aj mezotrofnejšie lužné lesy s kozonohou hostcovou. Doložené sú aj viaceré charakteristické druhy lužného lesa, pobrežných húštin či mokradí (obr. 3).

Ďalší vývoj pokračoval štádiom plytkej odstavenej vodnej plochy s pomaly tečúcou až stojatou vodou. Eutrofné jazero s hojnou a druhovo rôznorodou faunou bezstavovcov (Pišút a kol., *in press*) dosahovalo hĺbku 0,3-1,2 m. Husto zarastalo vodnými rastlimami, doloženými okrem peľov aj početnými nálezmi semien močiarok (*Batrachium* sp.), červenavcov (*Potamogeton* sp.) či rožkatca ponoreného (*Ceratophyllum demersum*). Postupným prísunom jemného karbonátového materiálu za povodní (= preplavené sprašové hliny z Trnavskej pahorkatiny) a zazemňovaním sa napokon rameno ešte v stredoveku zmenilo na plytký otvorený močiar, porastený pásmi trste (*Phragmites australis*), napokon s dominanciou šachorovitých rastlín, najmä ostrice pobrežnej (*Carex riparia*). Analýza tanatocenóz mäkkýšov (spolu 2 183 nalyzovaných ulít a 41 druhov slimákov) ukázala, že išlo o otvorený močiar bez stromovej vegetácie, nanajvýš s brehovými porastami drevín. Takmer úplne v nich prevládali sladkovodné druhy (98 %), charakteristické pre biotopy stojatých vôd, mŕtvych ramien a plytké mokrade (Pišút a kol., *in press*).



Obr. 3. Diagram rastlinných makrozvyškov (semená a plody), získaných výplavmi vzoriek pôdnych vrstiev z lokality Štúrová (v absolútnych počtoch, zoradené stratigraficky).

10.3.4 Genéza aluviálnej pôdy

Podľa predchádzajúcich zistení vznikol na študovanom stanovišti v období stredoveku zazemnením vodnej plochy a jej premenou na plytký močiar najprv pôdny typ glej. Hladina podzemnej vody bola v tom čase blízko pri povrchu pôdy, o čom dodnes svedčí aj sivasté sfarbenie vrchných vrstiev pôdy (= fosílne znaky Gr-horizontu). Hladinový režim na študovanej lokalite bol prvý raz výraznejšie ovplyvnený výstavbou odvodňovacieho kanála v roku 1822. Napriek tomu ešte v roku 1876 veľké plochy dolného Žitného ostrova v okolí boli stále využívané najmä ako pastviny a vlhké lúky, len s malými plôškami oráčin (Bálintova mapa, reprodukovaná Krippelovou 1967).

Postupná výstavba siete kanálov od konca 19. storočia však spôsobila zníženie priemernej hladiny podzemnej vody v tejto oblasti miestami až o 60-100 cm. V tomto období časť močiarov na dne paleomeandrov Dudváhu preschla, čo umožnilo jej spontánne zarastenie mäkkým lužným lesom (Pišút *et al.,* 2007), prípadne umelú výsadbu vŕb na palivové drevo (tzv. hlavové vŕby). Výraznejšie sa začalo uplatňovať aj mierne zasoľovanie pôdy v suchších obdobiach, čo odráža prítomnosť obligátne halofytnej rastliny lobody rozptrestretej (*Atriplex prostrata*) a niektorých ďalších druhov. Nepochybne došlo aj k čiastočnej mineralizácii organických vrstiev pôd - zrejme až v tomto období vznikli z organozemí mnohé súčasné čiernice v tejto oblasti.

V období rokov 1962-1992 hladina podzemnej vody klesla v priemere ešte o ďalších 20-50 cm, avšak po vybudovaní vodného diela Gabčíkovo opäť stúpla (Hlavatý, Banský, 2006). Vodný režim na lokalite aj v súčasnosti ovplyvňujú extrémy počasia a kolísanie hladín na Dunaji a Malom Dunaji; napr. na jar roku 2007 stála voda vo výške 10-30 cm na povrchu pôdy takmer tri mesiace, podobne ako v lete tohto roka. Väčšinou sa však hladina podzemnej vody pohybuje v hĺbke 50-80 cm a tak súčasnú pôdu na stanovišti klasifikujeme ako fluvizem glejovú.

10.4 ZÁVER

V príspevku sumarizujeme výsledky paleoekologickej analýzy aluviálnej pôdy na Podunajskej rovine (Žitný ostrov). Dnešný pôdny predstaviteľ fluvizem glejová (slanisková) vznikol postupným zazemňovaním vodnej plochy poriečneho jazera v odstavenom meandri rieky Dudváh cez štádium gleja. Analýzou mikro- a makrofosílií z pôdnych sedimentov v kombinácii s rádiokarbónovým

datovaním bolo možné rekonštruovať vývoj vegetačného krytu v období mladého holocénu v širšom okolí skúmanej lokality, ale aj *in situ*).

Tab. 3 Spoločenstvá v oblasti dolného Žitného ostrova a dolného Považia, ktorých výskyt bol rekonštruovaný na základe paleobotanických údajov fluvizeme glejovej z lokality Štúrová

Trieda	**Rád**	**Zväz**	**Asociácia / Spoločenstvo**
Querco – Fagetea Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937	*Fagetalia* Pawlowski in Pawlowski et al. 1928	*Ulmenion* Oberd. 1953	*Fraxino – pannonicae Ulmetum* Soó in Aszód 1936 corr. Soó 1963 *Ulmo-Fraxinetum aegopodietosum* Jurko 1958 *Ulmo-Fraxinetum hederetosum* Jurko 1958 *Ulmo-Quercetum convallarietosum* Jurko 1958
	Quercetalia pubescentis Br-Bl. 1931	*Aceri tatarici – Quercion* Jakucs et Fekete 1957	*Junipero-Populetum albae* Zólyomi 1950
Salicetea purpurae Moor 1958	*Salicetalia purpurae* Moor 1958	*Salicion albae* (Oberd. 1933) Th. Müller et Görs 1958	*Salici-Populetum* (R. Tx. 1931) Meijer Drees 1936
Alnetea glutinosae Br.-Bl. et R.Tx. 1943	*Alnetalia glutinosae* R. Tx. 1937	*Alnion glutinosae* Malcuit 1929	*Carici elongatae – Alnetum* Koch 1926
Molinio – Arrhenatheretea R. Tx. 1937	*Molinietalia* Koch 1926	*Molinion coerulae* Koch 1926	
	Agrostietalia stoloniferae Oberd. in Oberd. et a. 1967	*Ranunculo repentis – Rumicenion crispi* Hejný et Kopecký 1979	*Trifoli repentis - Lolietum* Krippelová 1967
		Lolio – Potentillion R. Tx. 1947	*Rorippo-Agrostidetum stoloniferae* (Moor 1958) Oberd. et Th. Müller 1961.
Festuco – Puccinellietea Soó 1968	*Artemisio – Festucetalia pseudovinae* Soó 1968	*Festucion pseudoovinae* Soó in Máthé 1933	*Artemisio-Festucetum pseudoovinae* Soó (1933) 1945
Festuco – Brometeta Br.-Bl. et R. Tx. 1943	*Festucetalia valesiacae* Br.-Bl. Et R. Tx. 1943	*Festucion valesiacae* Klika 1931	*Potentillo-Festucetum pseudoovinae* Soó 1933
Lemnetea de Bolós et Masclans 1955	*Lemnetalia minoris* de Bolós et Masclans 1955	*Lemnion minoris* de Bolós et Masclans 1955	*Salvinio-Spirodeletum polyrhizae* Slavnić 1956
	Lemno-Utricularietalia Passarge 1978	*Utricularion vulgaris* Passarge 1978	*Lemno-Utracularietum vulgaris* Soó 1947
	Hydrocharitetalia Rübel 1933	*Hydrocharition* Rübel 1933	*Ceratophylletum demersi* Hild 1956
Potametea R.Tx et Preising 1942	*Potametalia* Koch 1926	*Nymphaeion albae* Oberd. 1957	*Nymphaeetum albo-luteae* Nowiński 1928
			Trapetum natantis V. Kárpáti 1963
			Potametum natantis von Soó 1927
	Callitricho – Batrachietalia Passarge 1978	*Ranunculion aquatilis* Passarge 1964	*Potamo perfoliati – Ranunculetum circinati* Sauer 1937
Phragmito – Magnocaricetea Klika in Klika et Novák 1941	*Phragmitetalia* Koch 1926	*Phragmition communis* Koch 1926	*Phragmitetum vulgaris* von Soó 1927
		Magnocaricion elatae Koch 1926	
	Oenanthetalia aquaticae Hejný in Kopecký et Hejný 1965	*Oenanthion aquaticae* Hejný ex Neühäusl 1959	*Oeanantho aquaticae – Rorippetum amphibiae* Lohmeyer 1950

V subboreáli, kedy bol skúmaný meander prirodzenou cestou odstavený od Dudváhu, ešte väčšinu regiónu dolného Považia a Žitného ostrova pokrývali rôzne typy nížinných lesov a luhov s dubom, avšak aj s nezanedbateľným výskytom jedle (*Abies*) a buka (*Fagus*) vzhľadom na nížinnú pririečnu krajinu. V terénnych zníženinách sa tu taktiež vyskytovali slatinné jelšiny. Neskôr sa už v okolitej krajine významne uplatňoval vplyv človeka. Najväčší ústup lesov, podmienený ich sústavným prerieďovaním v dôsledku pastvy, klčovania, vypaľovania, črchlenia a postupnej premeny na pasienky, neskôr lúky a ornú pôdu nastal v období subatlantika, s vrcholiacim odlesňovaním v ranom stredoveku. Výsledky potvrdili doterajšie palynologické a archeobotanické poznatky (napr. Krippel, 1963, Hajnalová, 1990, Čejka a Hajnalová, 2000), ale priniesli aj celý rad nových údajov o skladbe a vývoji vegetácie Podunajskej nížiny od subboreálu do súčasnosti. Až do polovice 19. storočia bol celý región silne ovplyvňovaný vysoko položenou hladinou podzemnej vody a periodickými záplavami. Na základe poznania ekologických nárokov jednotlivých typových druhov rastlín a recentného rozšírenia vegetačných typov (Jurko, 1958, Zahradníková-Rošetzká, 1965, Krippelová, 1967, Oťahelová, 1995 a,b, Oťahelová *et al.,* 2001) bolo možné rekonštruovať aj výskyt spoločenstiev, doložených paleobotanickými nálezmi (tab. 3).

Miestne sukcesné zmeny charakterizujú priebeh zazemňovania odstaveného ramena a postupnú premenu vodného biotopu na plytký otvorený močiar, porastený šachorovitými rastlinami. Prítomnosť niektorých rastlín súvisí aj s miernym zasoľovaním pôdy v suchých obdobiach. Súčasný biotop (pedotop) je výsledkom krajinných zmien, spojených s postupným odvodňovaním územia od 19. storočia, intezifikáciou poľnohospodárstva, ruderalizáciou a šírením inváznych druhov rastlín.

Výsledky ilustrujú veľký a doposiaľ u nás málo využívaný potenciál aluviálnych pôd pre paleoekologické analýzy. Zistenia sú aj významným prínosom pre historickú biogeografiu viacerých zriedkavých, chránených a ohrozených druhov rastlín a živočíchov, ktoré už v súčasnosti na študovanom stanovišti vôbec neexistujú, prípadne sú zriedkavé aj v rámci Podunajskej nížiny.

Poďakovanie

Tento výskum bol financovaný z prostriedkov grantovej agentúry VEGA v rámci projektov č. 1/0362/09 a 2/5016/25. Mgr. Majke Kováčovej, PhD. ďakujeme za pomoc pri príprave vzoriek na palynologickú analýzu. Peľová analýza bola financovaná v rámci výskumného zámeru Českej geologickej služby Praha (Globálne klimatické zmeny, číslo úlohy 326500).

Literatúra

BŘÍZOVÁ E. 1998. Pylová analýza sedimentu středověké Sněmovní ulice v Praze. *Archaeol. Prag.* (Praha) 14, 317–328.

BŘÍZOVÁ E. 1999. Late Glacial and Holocene development of the vegetation in the Labe (Elbe) River flood-plain (Central Bohemia, Czech Republic). *Acta Paleobotanica, Suppl. 2 - Proceedings 5th EPPC*, Kraków, 549-554.

BŘÍZOVÁ E. 2007. Vodní a mokřadní ekosystémy v průběhu pozdního glaciálu a holocénu na základě pylových analýz. *Zprávy Čes. Bot. Společ.*, Praha, 42, Mater. 22, 85-97.

BŘÍZOVÁ E., BARTOŠKOVÁ A. 1994. Early medieval hillfort of Budeč: reconstruction of environment of the basis of pollen analysis. *Sbor. geol. Věd, Antropozoikum* (Praha) 21: 75–86.

BŘÍZOVÁ E., PIŠÚT P., UHERČÍKOVÁ E. 2007. Rekonstrukce vývoje lesní vegetace na Žitném ostrově na základe pylové analýzy. In: Križová E., Ujházy K. (Eds.): *Dynamika, stabilita a diverzita lesných ekosystémov*. Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen, 209-215.

ČEJKA T., HAJNALOVÁ E. 2000. Reconstruction of environment in the surrounding areas of Komárno in the Roman period on the basis of the analysis of plant macroremains and molluscan thanatocoenoses. *Archeologické rozhledy*, 52, 316-329.

ČURLÍK J., ŠURINA B. 1998. Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd. VÚPOP, Bratislava, 134 s.

CAPPERS R.T.J., BEKKER R.M., JANS, J.E.A. 2006. Digitale Zadenatlas van Nederland. Groningen *Archaeological Studies, 4,* Barkhuis Publishing, Groningen.

DRESLEROVÁ D., BŘÍZOVÁ E., RŮŽIČKOVÁ E., ZEMAN A. 2004. Holocene environmental processes and alluvial archaeology in the middle Labe (Elbe) valley. In: Gojda M. (Ed.): *Ancient landscape, settlement dynamics and non-destructive archaeology,* Academia, Praha, 121-171.

FIRBAS F. 1949, 1952. *Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen*. – I. Allgemeine Waldgeschichte. G. Fisher, Jena.

FULAJTÁR E., ČURLÍK J., BARANČÍKOVÁ G., SEDLÁKOVÁ B., ŠURINA B. 1998. *Vplyv vodného diela Gabčíkovo na poľnohospodárske pôdy*. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava.

HAJNALOVÁ E. 1990: Antrakotomické rozbory z archeologických výskumov na Trnavskej pahorkatine a v údolí Váhu. *Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV*, 26, 223-236.

HLAVATÝ Z., BANSKÝ Ľ. 2006. Ground water levels and soil moisture. In: Mucha I., Lisický M.J.L. (Eds.): *Slovak-Hungarian Environmental monitoring on the Danube.* Ground Water Consulting Ltd., Bratislava, 85-88.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Reports,* No. 103. FAO, Rome.

JURKO A. 1958. *Pôdno-ekologické pomery a lesné spoločenstvá Podunajskej nížiny.* SAV, Bratislava.

KRIPPEL E. 1963: Postglacial Entwicklung der Vegetation des nördlichen Teils der Donauebene. *Biológia,* Bratislava, 18, 10, 730-741.

KRIPPELOVÁ T. 1967. Vegetácia Žitného ostrova. Spoločenstvá pastvín a rekonštrukcia vegetácie. Biologické *práce*, 13, 2, 1-108.

KUBALOVÁ S. 2006. Diverzita vegetácie paleomeandrov v poľnohospodárskej krajine. In: Měkotová, J., Štěrba, O. (Eds.): *Říční krajina 4*, Olomouc, 138-147.

Munsell Soil Color Charts 2000. Revised washable edition. Gretagmacbeth, New York.

OŤAHELOVÁ H. 1995a. Lemnetea. In: Valachovič, M. (Ed.). *Rastlinné spoločenstvá Slovenska*. 1. Pionierska vegetácia. Veda, Bratislava, 130-150.

OŤAHELOVÁ H. 1995b. Potametea. In: Valachovič, M. (Ed.). *Rastlinné spoločenstvá Slovenska*. 1. Pionierska vegetácia. Veda, Bratislava, 151-179.

OŤAHELOVÁ H., HRIVNÁK R., VALACHOVIČ M. 2001. Phragmito - Magnocaricetea. In: Valachovič, M. (Ed.). *Rastlinné spoločenstvá Slovenska*. 3. Vegetácia mokradí. Veda, Bratislava, 53-183.

PIŠÚT P. 2006. Changes in the Danube riverbed from Bratislava to Komárno in the period prior to its regulation for medium water (1886-1896). *In: Mucha I., Lisický M.J.L. (Eds.) Slovak-Hungarian Environmental monitoring on the Danube*. Ground Water Consulting Ltd., Bratislava, 59-67.

PIŠÚT P., UHERČÍKOVÁ E., BŘÍZOVÁ E., HAMERLÍK L., ČEJKA T. 2007. Príspevok k poznaniu genézy a súčasnej diverzity mäkkých lužných lesov na Žitnom ostrove. *In: Križová, E., Ujházy K. (Eds.): Dynamika, stabilita a diverzita lesných ekosystémov*, Zvolen, 217-226.

PIŠÚT, P., BŘÍZOVÁ, E., ČEJKA, T., PIPÍK, R. 2010. Paleofloristic and paleofaunistic analysis of Dudváh River oxbow and implication for Late Holocene palaeoenvironmental development of the Žitný ostrov Island (SW Slovakia). *Geologica Carpathica*, 61 (6): 513-533.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*, bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 74 s.

WALANUS A., NALEPKA D. 1999: POLPAL program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis. *Acta Palaeobotanica, Suppl.,* 2, 659-661.

ZAHRADNÍKOVÁ-ROŠETZKÁ K. 1965. Geobotanická charakteristika slatinných lúk a pasienkov (Molinion Koch 1926) na Žitnom ostrove. *Biologische Arbeiten,* 11, 5, 5-43.

11. VYUŽITÍ MAGNETICKÉ SUSCEPTIBILITY PRO SLEDOVÁNÍ ZNEČIŠTĚNÍ PŮD TĚŽKÝMI KOVY V OKOLÍ ŘEKY LITAVKY

11 Magnetic susceptibility use for soil contamination detection on floodplain of the river Litavka

Šárka Dlouhá, Eduard Petrovský, Hana Grison, Luboš Borůvka, Ondřej Drábek*

ABSTRAKT
Tradiční monitoring kontaminovaných půd zahrnující chemickou analýzu půdních vzorků pro posouzení míry znečištění je časově i finančně náročným úkolem. Magnetometrie představuje rychlou a relativně levnou metodu umožňující identifikaci a následné mapování kontaminovaných půd. Podstatou metody je detekce antropogenních ferimagnetik, které jsou společně s těžkými kovy obsaženy v atmosférickém spadu většiny průmyslových oblastí a ukládají se v povrchových vrstvách půd. Vztah magnetické susceptibility půd a obsahů vybraných těžkých kovů (Cu, Cd, Pb a Zn) byl studován v nivní oblasti řeky Litavky (Příbram). V příspěvku jsou shrnuty výsledky terénních (Bartington MS2D, SM400) i laboratorních měření magnetické susceptibility (MS2B). Byl potvrzen statisticky významný vztah objemové magnetické susceptibility s koncentracemi Pb, Zn a vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibility s koncentracemi Pb, Zn a Cu v půdách. Měření frekvenčně závislé susceptibility neprokázala významný podíl pedogenních ferimagnetik ve studovaných vzorcích. Rozložení hodnot magnetické susceptibility v hloubkových půdních profilech prokázalo obdobný trend jako rozložení obsahu těžkých kovů. Bylo možné vymezit 3 typy hloubkových půdních profilů a identifikovat magneticky obohacené vrstvy s vysokými hodnotami magnetické susceptibility.
Klíčová slova: magnetická susceptibilita, antropogenní ferimagnetika, těžké kovy, hloubkové půdní profily.

ABSTRACT
Traditional monitoring of contaminated soil, including chemical analysis of soil samples to assess the pollution level is time consuming and costly task. Magnetometry is a quick and relatively inexpensive method for the identification and subsequent mapping of contaminated soils. A basis of the method is the detection of anthropogenic ferrimagnets which, together with the heavy metals are contained in the atmospheric deposition of most industrial areas and deposited in surface soil layers. The relation of soil magnetic susceptibility and levels of selected heavy metals (Cu, Cd, Pb and Zn) was studied in the floodplain of the river Litavka (Pribram). The paper summarizes the results of field (Bartington MS2D, SM400) and laboratory measurements of magnetic susceptibility (MS2B). It was confirmed a statistically significant relationship of bulk magnetic susceptibility with concentrations of Pb, Zn and the relationship of mass-specific magnetic susceptibility, with concentrations of Pb, Zn and Cu in soils. Measurement of frequency-dependent susceptibility did not proved a significant proportion of pedogenic ferrimagnets in the studied samples. The distribution of the magnetic susceptibility values in soil depth profiles showed a similar trend as the distribution of heavy metals. It was possible to identify three types of bottom soil profiles and to identify the magnetic layer enriched with high levels of magnetic susceptibility.
Key words: magnetic susceptibility, human ferrimagnets, heavy metals, soil depth profiles

11.1 ÚVOD

Těžba a zpracování kovových rud patří vedle spalování fosilních paliv, chemického průmyslu a používání zemědělských chemikálií mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje těžkých kovů v půdách (Kabata-Pendias a Pendias, 2001). Hutní průmysl se podílí na znečištění životního prostředí především

* Ing. Šárka Dlouhá[1,2], RNDr. Eduard Petrovský, CSc.[2], Ing. Hana Grison, PhD.[2], prof. Ing. Dr. Luboš Borůvka[1], Ing. Ondřej Drábek PhD.[1], [1] Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra pedologie a ochrany půd, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, ČR, e-mail: dlouha@af.czu.cz, [2] Geofyzikální ústav AV ČR, Boční II/1401, 141 31 Praha 4, ČR

emisemi těžkých kovů (Cu, Cd, Sb, Zn) z tavících pecí a přímými úniky kontaminované vody z odkalovacích nádrží (Dudka a Adriano, 1997). S ohledem na možná rizika, která těžké kovy představují pro životní prostředí i pro samotné zdraví člověka, je věnována velká pozornost monitoringu kontaminovaných oblastí. V současné době jsou při studiu antropogenního znečištění životního prostředí těžkými kovy intenzivně rozvíjeny a využívány metody magnetometrie. Dosavadní teoretické i experimentální poznatky vyplývající ze studií zabývající se různými aspekty magnetometrie životního prostředí jsou shrnuty v pracích např. Petrovského a Elwooda (1999); Evanse a Hellera (2003). Podstatou metody je detekce ferimagnetických minerálů ve studovaných vzorcích. V případě kontaminace půd jsou nejčastěji studovány svrchní půdní vrstvy, které představují nejpřirozenější záchytná místa atmosférického spadu průmyslového původu obsahujícího nezanedbatelné množství antropogenních ferimagnetických částic (Hay *et al*., 1997; Kapička *et al.,* 1999; Hanesch a Scholger, 2002). Úzká vazba rizikových prvků na antropogenní ferimagnetika je vysvětlována společným výskytem jejich částic v prašném aerosolu, jejichž vztah je dán společným původem (průmyslové emise), stejnými transportními cestami v atmosféře a následně společnou depozicí na půdní povrch (Scholger, 1998; Kapička *et al.,* 2001). Dalšími mechanismy vysvětlujícími vztah ferimagnetik a rizikových prvků jsou substituce některých rizikových prvků do krystalové mřížky Fe oxidů a adsorpce rizikových prvků na povrch ferimagnetik (Hansen *et al*., 1981; Rodda *et al*., 1993).

Jedním z nejdůležitějších parametrů v magnetismu životního prostředí je magnetická susceptibilita měřená ve slabém magnetickém poli. Je to fyzikální veličina úměrná koncentraci silně magnetických (ferimagnetických) minerálů ve studovaných vzorcích (Evans a Heller, 2003). Vztah magnetické susceptibility s obsahem těžkých kovů v půdách potvrdila řada studií (Heller *et al*., 1998; Strzyszcz a Magiera, 1998; Bityukova *et al.,* 1999). K posouzení znečištění půd antropogenním spadem, resp. těžkými kovy je nutná správná interpretace získaných hodnot magnetické susceptibility, která je zaměřena na odlišení příspěvku antropogenních a přírodních ferimagnetik. Vymezení oblastí se zvýšenou magnetickou susceptibilitou půd v důsledku zvýšené koncentrace deponovaných antropogenních ferimagnetik shrnul Magiera *et al*. (2006):

(1) anomální hodnoty magnetické susceptibility jsou pozorovány v blízkosti průmyslových a městských oblastí;

(2) nejvyšší hodnoty magnetické susceptibility jsou pozorovány ve svrchních vrstvách (O horizonty) hloubkových půdních profilů;

(3) zvýšené hodnoty magnetické susceptibility jsou doprovázeny zvýšenými obsahy těžkých kovů.

Měření magnetické susceptibility hloubkových půdních profilů umožňuje rychlé a orientační vymezení příspěvku minerálů litogenního resp. pedogenního původu k magnetické susceptibilitě (Petrovský *et al*., 2004). Přesnější popis původu ferimagnetik umožňují některá laboratorní měření, např. určení velikosti ferimagnetických částic na základě jejich indukovaných a remanentních parametrů (Day *et al.,* 1977).

V rámci ČR patří půdy a sedimenty aluvia řeky Litavky k silně kontaminovaným rizikovými prvky (Žák *et al.,* 2009). V příspěvku jsou uvedeny výsledky měření magnetické susceptibility svrchních vrstev půd v terénu a v laboratoři a výsledky rozložení magnetické susceptibility v několika hloubkových půdních profilech. Cílem práce je ověřit možné využití magnetických parametrů půd pro vymezení půd kontaminovaných Cu, Cd, Pb a Zn.

11.2 MATERIÁL A METODY

Studijní plocha pro ověření vztahů magnetické susceptibility půd s obsahy vybraných těžkých kovů se nachází v aluviální oblasti řeky Litavky u obce Trhové Dušníky (Příbram). Na ploše převládá travní vegetace, bez zemědělského využití. Jako půdní typy byly určeny gleje a fluvisoly (IUSS Working Group WRB, 2006). Mezi hlavní zdroje kontaminace patří atmosférické depozice z hutí a opakované poškození kalových nádrží při povodních. Obsahy těžkých kovů v půdách jsou částečně ovlivněny složením matečných hornin ve studované oblasti.

V terénu byla měřena objemová magnetická susceptibilita (κ) svrchních vrstev půd pomocí senzoru Bartington MS2D. Měření byla prováděna v síti 20x20m, celkem 41 bodů, a na dvou transektech kolmých k řece ve vzdálenostech po 5 m, celkem 16 a 26 bodů. Ve vybraných bodech byly pomocí půdního vrtáku odebírány půdní vzorky z hloubky 10 cm, odpovídající dosahu měření pomocí

MS2D (Lecoanet *et al.,* 1999). Celkem bylo odebráno 42 půdních vzorků. Pomocí přístroje SM400 (Petrovský *et al.,* 2004) byla v terénu měřena magnetická susceptibilita v půdních profilech do hloubky 40 cm (celkem 23 profilů). Půdní jádra byla uschována v plastových trubkách pro následující laboratorní měření. Zeměpisná poloha všech v terénu měřených bodů byla určena pomocí GPS.

Laboratorními měřeními senzorem Bartington MS2B, umožňujícím měření magnetické susceptibility při nízké frekvenci – 0,465 kHz (κLF) a při vysoké frekvenci – 4,65 kHz (κHF), byla určena hmotnostně specifická magnetická susceptibilita ($\varkappa$) a frekvenčně závislá magnetická susceptibilita (κ_{FD} = (κLF–κHF/κLF) x 100). Hodnoty objemové magnetické susceptibility byly měřeny na odebraných půdních jádrech uložených v plastových trubkách senzorem Bartington MS2C (35 mm). Těžké kovy byly extrahovány z půdních vzorků pomocí 2M HNO_3, v poměru 1:10 (Borůvka *et al.*, 1996). Obsahy sledovaných kovů v jednotlivých extraktech byly stanoveny pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS). Získaná data byla zpracována pomocí programů Microsoft Excel 2007 a Statgraphics Centurion XV. Výsledky magnetických měření a chemických analýz byly hodnoceny odděleně ve svrchních (0 – 10 cm) a hlubších (10 – 40 cm) vrstvách půdy.

11.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Na základě stanovení hodnot aktivní půdní reakce (pH_{H2O}) a výměnné půdní reakce (pH_{KCl}), pohybujících se v rozmezí 6,6 – 4,9, resp. 6,4 – 4,8, lze hodnotit půdní reakci svrchní půdní vrstvy jako slabě kyselou. Průměrný obsah organického uhlíku (C_{ox}) v půdě je vysoký (4,2 %), nabývá hodnot v rozmezí 5,9 % – 1,2 %.

V tab. 1 jsou uvedeny průměrné obsahy studovaných těžkých kovů v porovnání s maximálně přípustnými obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách stanovených vyhláškou MŽP č.13/1994 Sb. Získané výsledky odpovídají předešlým pracím zabývajícími se kontaminací půd v okolí řeky Litavky, které shodně potvrdily vysokou míru kontaminace půd těžkými kovy (např. Borůvka *et al.,* 1996; Rieuwerts a Farago, 1996). Jednoduchou analýzou rozptylu byly potvrzeny statisticky průkazné rozdíly průměrných obsahů Cu, Pb a Zn ve svrchních a spodních půdních vrstvách. Obsahy těžkých kovů jsou vyšší ve svrchních vrstvách, v případě Cd nebyl nalezen statisticky prokazatelný rozdíl mezi svrchními a hlubšími vrstvami. Obsahy těžkých kovů ve studovaných vzorcích byly dále vyhodnoceny korelační analýzou, která potvrdila mezi všemi studovanými těžkými kovy těsný vztah, a lze tak předpokládat podobnost jejich původu v půdě (tab. 2).

Tab. 1 Průměrné obsahy těžkých kovů ve svrchních (0 – 10 cm) a spodních (10 – 40 cm) vrstvách půd a maximální přípustné hodnoty obsahu těžkých kovů v půdách stanovené vyhláškou MŽP (Vyhláška MŽP č. 13/1994 Sb.)

	Obsahy TK ($mg.kg^{-1}$)		**Max. přípustné hodnoty obsahu TK v půdách ($mg.kg^{-1}$)**
	0 – 10 cm n=61	10 – 40 cm n=20	
Pb	2 387,0	1 396,8	70,0
Zn	2 740,5	1 818,1	100,0
Cd	30,9	28,8	1,0
Cu	69,6	32,3	50,0

Tab. 2 Korelační tabulka studovaných charakteristik ve svrchní vrstvě půdy; *** označují průkazné závislosti na hladině významnosti p < 0,001.

n=61	**Cu**	**Cd**	**Pb**	**Zn**
		($mg.kg^{-1}$)		
Cu		0,642***	0,798***	0,767***
Cd	0,642***		0,779***	0,785***
Pb	0,798***	0,779***		0,814***
Zn	0,767***	0,785***	0,814***	

Průměrné, minimální a maximální hodnoty studovaných magnetických parametrů jsou uvedeny v tab. 3. Odděleně byly hodnoceny hodnoty magnetické susceptibility získané při terénních měřeních a

jim odpovídající odebrané půdní vzorky ze svrchních vrstev půd – A; hodnoty magnetické susceptibility získané měřením hloubkových půdních profilů byly rozděleny do dvou skupin, měření odpovídající hloubce 0 – 10 cm – B; měření odpovídající hloubce 10 – 40 cm – C.

Tab. 3 Průměrné, minimální a maximální hodnoty studovaných magnetických parametrů

MS - magnetická susceptibilita	Hmotnostně specifická MS $\varkappa \cdot 10^{-7}$ [$m^3.kg^{-1}$]	Objemová MS $\kappa \times 10^{-5}$ [SI]	Frekvenčně závislá MS κ_{FD} [%]
	A (měřeno v terénu)		
	n= 42;*	n= 42;***	n= 42;*
průměr (směrodatná odchylka)	6,08 (2,81)	18,63 (10,26)	2,87 (2,09)
minimum	1,89	3,24	0,0
maximum	18,91	43,27	8,34
	B (hloubka 0-10 cm)		
	n= 19;*	n= 19;**	n= 18;*
průměr (směrodatná odchylka)	9,07 (11,28)	106,22 (238,64)	3,13 (2,21)
minimum	2,0	14,1	0,1
maximum	53,6	1078,0	8,4
	C (hloubka 10-40cm)		
	n= 20;*	n= 20;**	n= 18;*
průměr (směrodatná odchylka)	2,48 (1,84)	40,23 (36,99)	2,62 (3,39)
minimum	0,31	8,0	0,0
maximum	7,0	133,0	11,8

* Bartington MS2B; ** Bartington MS2C; *** Bartington MS2D; A – půdní vzorky 0 – 10 cm, B, C – půdní jádra, 0 – 10, resp. 10 – 40 cm

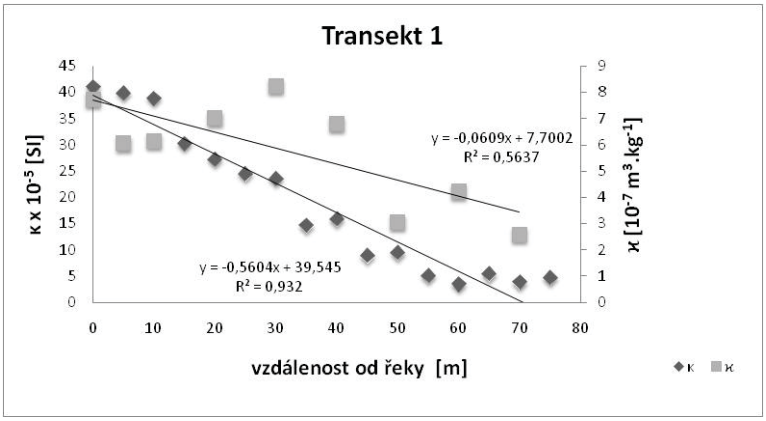
Velikost ferimagnetických částic ve vzorcích půd je rozhodujícím parametrem pro rozlišení antropogenního a pedogennního původu ferimagnetik. Hodnoty frekvenčně závislé susceptibility (κ_{FD}) ve studovaných vzorcích jsou poměrně nízké (pod 4 %). Lze předpokládat, že podíl pedogenních ferimagnetik, která jsou tvořena především superparamagnetickými zrny s relativně vysokými hodnotami κ_{FD}, je zanedbatelný (Dearing *et al.*, 1996). Zvýšené hodnoty magnetické susceptibility ve svrchních vrstvách půd mohou být důsledkem vyšší koncentrace antropogenních ferimagnetik obsažených v emisích z hutí. Data magnetické susceptibility byla před statistickými analýzami logaritmicky transformována. Korelační analýzou byla ověřena závislost mezi obsahy Pb, Zn, Cd a Cu v půdních vzorcích s hodnotami magnetické susceptibility (κ, $\varkappa$) (tab. 4).

Tab. 4 Korelační tabulka studovaných charakteristik ve svrchních vrstvách půdy (A, B) a ve spodních vrstvách půdy (C); *;** a *** označují průkazné závislosti na hladině významnosti $p < 0,05$; 0,01 a 0,001.

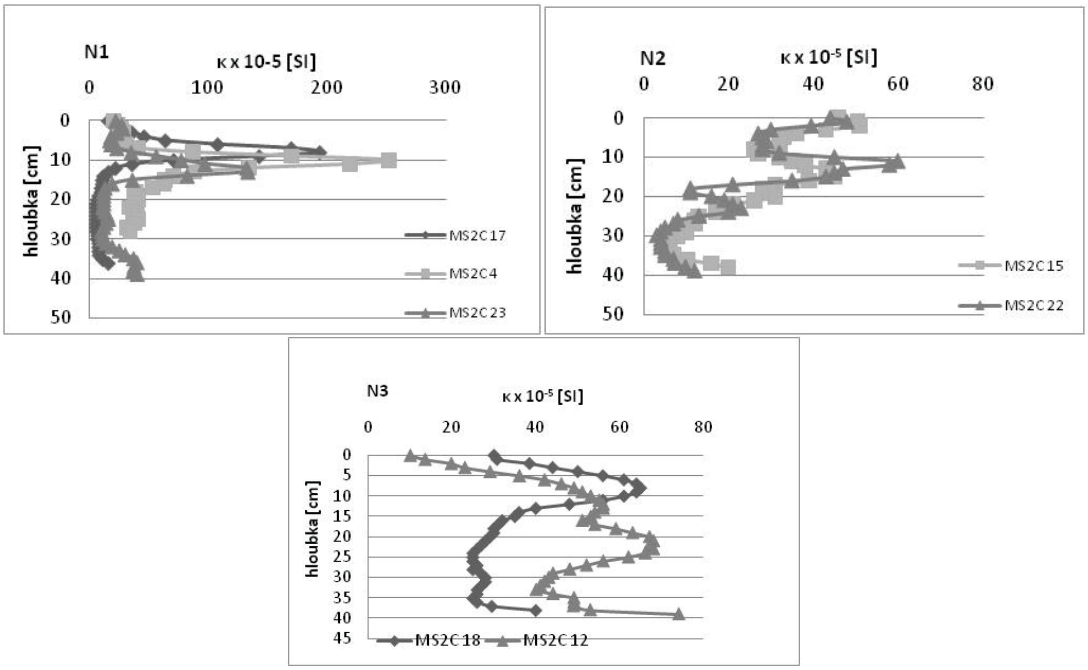
	κ ($\log_{10}$)	$\varkappa$ ($\log_{10}$)		
	A (n=42)	A (n=42)	B (n=17)	C (n=20)
Cu	0,238	**0,594****	**0,621****	**0,671****
Cd	0,238	0,297	**0,511****	0,288
Pb	**0,452****	**0,424****	**0,503****	**0,650****
Zn	**0,455****	**0,407****	**0,596****	**0,501****

Byl prokázán statisticky významný vztah mezi obsahy Pb, Zn a měřeními objemové magnetické susceptibility v terénu. Významné korelace byly zjištěny mezi hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitou svrchních (A, B) a spodních půdních vrstev (C) a obsahů Cu, Pb, Zn. V případě vzorků z půdních jader 0 – 10 cm (B) byl prokázán také vztah hmotnostně specifické magnetické susceptibility s Cd. Obdobné korelační koeficienty byly publikovány v pracích zabývajících se magnetickou susceptibilitou a obsahem těžkých kovů v oblastech s hutním průmyslem (Bityukova *et al.*, 1999; Hanesch a Scholger, 2002).

Měření magnetické susceptibility je kromě identifikace kontaminace půd těžkými kovy využíváno k vymezení rozsahu znečištěných oblastí. Mapováním prostorového rozložení magnetické susceptibility ve vztahu k obsahu vybraných rizikových prvků v půdách se zabývají např. studie Hellera *et al.* (1998), Kapičky *et al.* (1999), Hoffmanna *et al.* (1999). Hodnoty magnetické susceptibility půd jsou částečně závislé na vzdálenosti od řeky (obr. 1). Maximální hodnoty magnetické susceptibility byly naměřeny nejblíže u řeky, stejně tak koncentrace těžkých kovů jsou vyšší ve vzorcích odebraných u břehů řeky. Tato zjištění potvrzují závěry Borůvky *et al.* (1996), který uvádí jako hlavní zdroj znečištění oblasti protržení usazovacích nádrží během povodní.



Obr. 1 Hodnoty magnetické susceptibility v různých vzdálenostech od břehů řeky



Obr. 2 Rozložení hodnot magnetické susceptibility v hloubkových půdních profilech

Sledování průběhu magnetické susceptibility hloubkových půdních profilů bývá nejčastěji využíváno k odlišení přirozeného pozadí magnetické susceptibility od antropogenních anomálií (např. Spiteri *et al*., 2005; Magiera *et al*., 2006). Rozložení magnetické susceptibility bylo studováno v terénu na 23 hloubkových půdních profilech pomocí přístroje SM400 (Petrovský *et al*., 2004). Výsledky byly ověřeny měřením magnetické susceptibility půdních jader pomocí senzoru Bartington MS2C, pro měření začátků a konců jader byly použity korekce uváděné Bláhou *et al*. (2008).

Profily magnetické susceptibility měřené SM400 jsou shodné s hodnotami získanými během laboratorních měření. Bylo možné rozlišit 3 typy profilů magnetické susceptibility (obr. 2). Profily (N1) v silně podmáčených místech se vyznačovaly výrazně magneticky obohacenou vrstvou v 10 – 15 cm; hodnoty magnetické susceptibility v povrchové vrstvě půd byly nízké a klesaly v hlubších vrstvách. Dále bylo možné rozlišit profily (N2) s relativně vysokými hodnotami magnetické susceptibility v povrchové vrstvě půdy a několika vrstvami se zvýšenými hodnotami magnetické susceptibility. Profily nejblíže břehu řeky (N3) se vyznačovaly rostoucími hodnotami magnetické susceptibility ve spodních vrstvách (30 – 40 cm). Zvýšené hodnoty magnetické susceptibility mohou být důsledkem geologického podloží bohatého na přírodní ferimagnetické minerály, přesto lze v povrchových vrstvách půd vymezit vrstvy s vyššími hodnotami magnetické susceptibility (5 – 10; 20 – 25 cm) (Magiera *et al*. 2006).

11.4 ZÁVĚR

Půdy ve studované oblasti – aluvium řeky Litavky lze hodnotit jako silně kontaminované Cu, Cd, Pb i Zn. Byly potvrzeny statisticky významné vztahy objemové magnetické susceptibility měřené v terénu s obsahy Pb a Zn. Laboratorní měření hmotnostně specifické magnetické susceptibility prokázala vztah s obsahem Pb, Zn a Cu v odebraných vzorcích. Měření magnetické susceptibility ve vertikálních půdních profilech umožnilo vymezení magneticky obohacených vrstev a jejich porovnání s rozložením obsahů těžkých kovů v půdním profilu. Nejvyšší hodnoty magnetické susceptibility a nejvyšší koncentrace těžkých kovů byly identifikovány ve svrchních vrstvách půd. Měření frekvenčně závislé susceptibility neprokázala přítomnost superparamagnetických částic pedogenního původu. Získané výsledky potvrzují využitelnost magnetických parametrů při studiu kontaminace půd těžkými kovy. Nenáročná a rychlá měření magnetické susceptibility povrchových vrstev půd i hloubkových půdních profilů umožňují získat široké databáze relevantních údajů využitelných pro vymezení míst se zvýšenou koncentrací těžkých kovů. Chemické analýzy kvantifikující úroveň kontaminace pak mohou být konkrétně zaměřeny na takto předem vymezená místa.

Literatura

BITYUKOVA L., SCHOLGER R., BIRKE M. 1999. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallin. *Phys. Chem. Earth*, 24, 829-835.

BLAHA U., APPEL E., STANJEK H. 2008. Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility. *Environ. Pollut*., 156, 278-289.

BORŮVKA L., HUAN-WEI CH., KOZÁK J., KRIŠTOUFKOVÁ S. 1996. Heavy contamination of soils with cadmium, lead and zinc in the alluvium of the Litavka river. *Rostlinná výroba*, 42, 543-550.

DAY R., FULLER M., SCHMIDT V.A. 1997. Hysteresis properties of titanomagnetites: braun-size and compositional dependence. *Phys. Earth. Planet. Inter.,* 13, 60-267.

DEARING J.A., DANN R.J.L., HAY K., LEES J.A., LOVELAND P.J., MAHER B.A., O'GRADY, K. 1996. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Int*., 124, 228-240.

DUDKA S., ADRIANO D.C. 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *J. Environ. Qual*., 26, 590-602.

EVANS M., HELLER F. 2003. *Environmental Magnetism.* Academic Press, San Diego, 312.

HANESCH M, SCHOLGER R. 2002. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environ. Geol.,* 42, 857-870.

HANSEN L.D., SILBERMAN D., FISHER G.L. 1981. Crystalline components of stack-collected, size fractioned coal fly ash. *Environ. Sci. Technol*., 15, 1057-1062.

HAY K.L., DEARING J.A., BABAN S.M.J., LOVELAND P. 1997. A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. *Phys. Chem. Earth*, 22, 207-210.

HELLER F., STRZYSZCZ Z., MAGIERA T. 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *Geophys. Res.*, 103, 767-774.

HOFFMANN V., KNAB M., APPEL E. 1999. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *J. Geochem. Explor.*, 99, 313-326.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006: *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome, 145 p.

KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 2001. *Trace elements in soils and plants,* 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, 413.

KAPIČKA A., PETROVSKÝ E., JORDANOVA N. PODRÁZSKÝ V. 2001. Magnetic parameters of forest top soils in Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Phys. Chem. Earth,* (A), 26, 917–922.

KAPIČKA A., PETROVSKÝ E., USTJAK S., MACHÁČKOVÁ K. 1999. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic. *J. Geochem. Explor.,* 66, 291-297.

LECOANET H., LEVEQUE F., SEGUNA S. 1999. Magnetic susceptibility in environmental applications: comparison of field probes. *Phys. Earth Planet. Inter.,* 115, 191-204.

MAGIERA T., STRZYSZCZ Z., KAPIČKA A., PETROVSKÝ E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*, 130, 299-311.

PETROVSKÝ E., HŮLKA Z., KAPIČKA A. 2004. A new tool for in situ measurements of the vertical distribution of magnetic susceptibility in soils as a basis for mapping deposited dust. *Environ. Technol.,* 25, 1021-1029.

PETROVSKÝ E., ELLWOOD B.B. 1999. Magnetic monitoring of air-, land- and water pollution. *In: Maher, B.A., Thompson, R. (eds). Quaternary climates, environments and magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, 279-319.

RIEUWERTS J., FARAGO M. 1996. Heavy metal pollution in the vicinity of a secondary lead smelter in the Czech Republic. *Appl. Geochem.,* 11, 17-23.

RODDA D.P., JOHNSON B.B., WELLS J.D. 1993. The effect of temperature and pH on the adsorption of copper (II), lead (II) and zinc (II) onto goethite. *J. Coll. Int. Sci.,* 161, 57-62.

SCHOLGER R. 1998. Heavy metal pollution monitoring by magnetic susceptibility measurements applied to sediment sof the river Mur (Styria, Austria). *European J. Environ. Eng. Geophys.*, 3, 25-37.

SPITERI C., KALINSKI V., ROSLER W., HOFFMANN V., APPEL E. 2005. Magnetic screening of a pollution hotspot in the Lausitz area, Eastern Germany: correlation analysis between magnetic proxies and heavy metal contamination in soils. *Environ. Geol.*, 49, 1-9.

STRZYSZCZ Z., MAGIERA T. 1998. Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of southern Poland. *Phys. Chem. Earth*, 23, 1127-1131.

ŽÁK K., ROHOVEC J., NAVRÁTIL T. 2009. Fluxes of heavy metals from a highly polluted watershed during flood events: A case study of the Litavka river, Czech Republic. *Water Air Soil Pollut.*, 203, 343-358.

SEKCIA II.

INOVAČNÉ PRÍSTUPY V KATEGORIZÁCII A KLASIFIKÁCII PÔD

1. *Bohdan Juráni*
Inovačné prístupy v kategorizácii a klasifikácii pôd 95

2. *Pavel Novák, Jan Vopravil, Tomáš Khel, Jitka Lagová*
Výskyt třídy andosolů v České republice 98

3. *Pavel Pavlenda, Jozef Capuliak, Anna Stančíková*
Klasifikácia a niektoré vlastnosti kambizemí na trvalých monitorovacích plochách v lesoch Slovenska..... 105

4. *Anna Žigová*
Klasifikace paleopůd České republiky 111

5. *Jaroslava Sobocká*
Návrh inovácie antropogénnych pôd MKSP (definícia, diagnostika, klasifikácia).....118

6. *Luděk Šefrna, Marek Křížek, Václav Treml, Zbyněk Engel*
Kryozemě v Česku a na Slovensku 126

7. *Ján Čurlík*
Terrae calcis a rubifikácia, ich vzájomný vzťah, paleoklimatická interpretácia a vzťah k recentným pôdam Juhoslovenského krasu..... 133

8. *Tereza Zádorová, Jaroslava Janků, Josef Kozák, Jan Němeček, Vít Penížek*
Problematika převodu jednotek národní půdní klasifikace do systému World Reference Base 2006 146

9. *Zuzana Tatarková, Zoltán Bedrna*
Príspevok ku klasifikácii antropogénnych pôd..... 154

10. *Ján Kukla, Margita Kuklová*
Kľúč na určovanie vyšších syntaxónov pôd 162

11. *Rudolf Midriak*
Terminológia a klasifikácia spustnutých pôd 174

12. *Vít Šrámek, Lucie Vortelová, Věra Fadrhonsová, Kateřina Hellebrandová*
Výsledky průzkumu lesních půd v rámci programu Biosoil v České republice..... 182

13. *Milan Sáňka*
Možnosti kategorizace kontaminovaných půd v návaznosti na klasifikační systém půd..... 191

1. INOVAĆNÉ PRÍSTUPY V KATEGORIZÁCII A KLASIFIKÁCII PÔDY

1 Innovation approaches to the soil categorization and classification

Bohdan Juráni*

ABSTRAKT
Príspevok prináša prehľad inovačných prístupov v kategorizácii a klasifikácii pôd, ktoré boli pracovnou skupinou pre MKSP Slovenska počas dvoch rokov práce prijaté. Príspevok prináša okrem výpočtu principiálnych zmien tiež ich zdôvodnenie a hlavné diskusné pripomienky, ktoré členovia Slovenskej pedologickej spoločnosti k hlavným zmenám vzniesli. Predložený príspevok sa takto stáva úvodným vstupom pred prijatím novej, upravenej verzie MKSP, ktorej zverejnenie predpokladáme v relatívne blízkej budúcnosti.
Kľúčové slová: klasifikácia pôd, inovácia, Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska

ABSTRACT
The contribution provides an overview of innovative approaches in the categorization and classification of soils, which were by the Working Group on MKSP Slovakia for two years of work received. This paper in addition to listening of the principal changes also the main justification and discussion comments of the Slovak Soil Science Society members are involved Presented contribution thus becomes the initial input before adopting the new, revised version MKSP the publication of which we expect in the relatively near future.
Key words: soil classification, innovation, Morphogenetic soil classification System of Slovakia

1.1 ÚVOD

Každá klasifikácia má svoj účel a je vytvorená za určitým cieľom. Cieľ potom určuje druh vyvíjanej klasifikácie. Pre rôzne ciele je možné vytvoriť rôzne klasifikácie.

Klasifikácie, ktoré boli vytvorené pre priamu interpretáciu, pre limitované, obvykle aplikované ciele, sa nazývajú technické, alebo interpretačné klasifikácie. Klasifikácie zostavené pre široké vedecké ciele, ktoré môžu byť mnohoúčelové, sa nazývajú prírodné (prirodzené) klasifikácie. Nie je možné vytvoriť jeden jediný univerzálny prirodzený pôdny klasifikačný systém, ktorý by vyhovoval všetkým možným cieľom, existuje množstvo prirodzených klasifikačných systémov (Dijkerman, 1971).

Účelom akejkoľvek klasifikácie je organizovať vedomosti tak, aby vlastnosti objektov mohli byť zapamätané a ich vzťahy mohli byť pre špecifické ciele čo najlepšie porozumené (Cline, 1949). Klasifikácie sú nástroje, ktoré pomáhajú:

- ✓ zapamätať si vlastnosti objektov;
- ✓ vidieť vzťahy medzi objektmi klasifikácie.

Klasifikácie sú teda usporiadané súhrny našich súčasných vedomostí (zahrňujúce fakty, zákonitosti a teórie), ktoré sú zostavené tak, aby do nich mohli byť ľahko zahrnuté nové poznatky. Ak objem nových poznatkov narastie, klasifikácia má byť pozmenená (a to je náš dôvod pre úpravu MKSP).

Klasifikácia musí byť:

- hierarchická a musí umožňovať zatriedenie klasifikovaných pôd na všetkých úrovniach,
- otvorená – musí umožňovať jej doplňovanie a pozmeňovanie
- musí umožňovať zatriedenie akýchkoľvek pôd z územia, pre ktoré je určená.

* Prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc., Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, SR, e-mail: jurani@fns.uniba.sk

Klasifikácia zahŕňa tvorbu tried zoskupovaním objektov na základe ich spoločných vlastností. V každej klasifikácii poslúžia účelu (cieľu) najlepšie tie skupiny, ktoré majú najväčší počet čo najpresnejších a najdôležitejších údajov vo vzťahu k cieľu (Cline, 1949).

V súčasnosti používame pre tento účel diagnostické horizonty. Ich definícia môže byť založená na:

- ich centrálnych konceptoch, alebo
- hraničných hodnotách, definujúcich ich rozhrania.

U nás používame druhý prístup.

1.2 MATERIÁL A METODY

Predložený príspevok je výsledkom analytickej práce a následnej syntézy poznatkov pracovnej skupiny pre úpravu MKSP pri Societas pedologica slovaca. Pracovná skupina pre úpravu MKSP bola vytvorená na základe dobrovoľnej účasti jej členov, ktorí sa mohli zúčastňovať všetkých, alebo len vybraných zasadnutí. Pozvánky na účasť boli a sú zasielané všetkým členom spoločnosti. Metodika úpravy doposiaľ platnej verzie spočívala v podrobnom prediskutovaní všetkých častí klasifikačného systému s vyznačením častí, ktoré podľa mienky účastníkov bolo potrebné upraviť a následne v hľadaní spôsobu ich úpravy. Predpokladom vykonania zmien bol súhlas všetkých prítomných členov, v opačnom prípade (teda ak nedošlo ku konsenzu) zostávala platná predchádzajúca (doteraz platná) formulácia.

Po desaťročnom používaní poslednej verzie MKSP pracovná skupina do značnej miery už poznala slabé miesta doposiaľ používanej verzie, ako aj hlavné smery ich úpravy, čo bolo hnacím motorom práce. Napriek tomu, vzhľadom na nedostatok podkladov, niektoré problémy zostali nedoriešené a budú musieť byť predmetom pracovného úsilia podobnej pracovnej skupiny v budúcnosti.

1.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hlavné úpravy pripravované pracovnou skupinou v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Slovenska možno zhrnúť nasledovne:

Úpravy hodnotenia pôdnych druhov – určujú sa podľa pôdnej zrnitosti, skeletovitosti a berie sa tiež do úvahy podiel organických látok. Podľa toho sa pôdy delia na triedu

- minerálnych pôd
- organicko-minerálnych (humolitových) pôd
- organických pôd (histických)..

Jednotlivé triedy majú špecifické hodnotenia pôdneho druhu v princípoch sú nadväzujúce na medzinárodné triedenia. Obohatenie novej verzie MKSP spočíva v špecifickom hodnotení organických pôd.

Sfunkčnenie v plnom rozsahu všetkých hierarchických úrovní MKSP tak, aby všetky pôdy územia Slovenska bolo možné hodnotiť na všetkých hierarchických úrovniach systému (ide najmä o nižšie úrovne varieta a forma). Výsledok diskusií o klasifikácii pôd možno zhrnúť do nasledovných návrhov:

- Zriadenie skupiny vertických pôd a presunutie pôdneho typu smonica do tejto skupiny. Podrobnejší výskum ukázal, že tento pôdny typ v plnom rozsahu splňuje kritériá vertisolov v zmysle WRB (IUSS Working group, 2006) i Soil Taxonomy (Soil Survey staff, 1999). Ich výskyt na území Slovenska nie je viazaný len na známe územie pri Gbeloch, ale i v oblasti dolného Váhu (Šaľa) a Východoslovenskej nížiny. V budúcnosti bude potrebné riešiť zaradenie nemolických pôd skupiny vertických pôd.
- Problematiku rubifikovaných pôd, doteraz riešených na úrovni subtypu, hodláme riešiť na úrovni variety, keďže rubifikáciu nepokladáme za recentný pôdotvorný proces.
- U rendzín zavedenie subtypu „umbrizemná“ vyrieši problém zaradenia tanglových rendzín (v zmysle Kubiëna, 1953).
- Uvažujeme zrušenie subtypu rendzina kambizemná, keďže u rendzín, ako pôd ktoré vznikli z karbonátových hornín, je existencia kambického horizontu nelogická.
- Pracovná skupina akceptovala výsledky výskumu projektu VEGA zaraďuje do MKSP pôdny typ umbrizem.
- U pôd s glejovým horizontom (glej, čiernica) ako rozhodujúce kritérium pri hodnotení pokladáme výskyt redukčných znakov.

- U pôdneho typu kambizem navrhujeme zriadiť pôdny subtyp kambizem umbrizemná, t. j. kambizem s umbrickým horizontom o hrúbke do 30 cm.
- U pôdneho typu andozem opravujeme chyby v časti „Andické diagnostické znaky“ a v definícii pôdneho typu. Zriaďujeme subtyp andozem kambizemná – ako pôda s výrazným kambickým andickým horizontom pod umbrickým alebo ochrickým andickým A-horizontom.
- Cely rad úprav sa dotýka podzolov. Zmena v ponímaní spočíva v tom, že plne vyvinutý eluviálny podzolový Ep horizont je znakom podzolu modálneho. Došlo tiež k zriadeniu nových subtypov: podzol kryptický má len príznaky eluviálneho podzolového Ep horizontu, podzol umbrizemný má umbrický horizont.
- Pracovná skupina uvažuje o zriadení skupiny organických pôd a o presune pôdneho typu organozem do tejto skupiny, čím reaguje na skutočnosť, že organické pôdy sú svojimi vlastnosťami najviac vzdialené od minerálnych pôd.

Najrozsiahlejšie zmeny možno očakávať u skupiny antropogénnych pôd, ktorých chápanie do značnej miery súvisí i s definíciou pôd, ako takých. Po zrovnaní rozpracovania tejto skupiny pôd s inými systémami, najmä s WRB 2006 a 2007 (IUSS Working group, 2006, 2007) pracovná skupina dospela k poznaniu, že náš systém je relatívne slabo rozpracovaný. Uvažuje sa o rozsiahlejších zmenách na úrovni subtypov ale aj tiež o možnosti zvýšenia rozlíšenia kultizemí a antrozemí až na úroveň skupiny pôd. Pre antrozeme by ako diagnostická slúžila tzv. „antropogénne premiestnená vrstva“. Uvažuje sa tiež o využití poznatkov dotýkajúcich sa pokrývania pôd, označovaných ako fenomén „*soil sealing*“ v oblasti klasifikácie antrozemí.

1.3 ZÁVER

Prezentovaný príspevok prezentuje hlavné myšlienkové prúdy, ktorými sa zaoberala Pracovná skupina pre úpravu Morfogenetického systému pôd Slovenska zaoberala pri zvažovaní zmien a vylepšení doterajšieho systému počas uplynulých dvoch rokov. Mimo uvádzaných zmien predpokladáme množstvo menších zmien a doplnkov, ktoré vylepšia odbornú , ale i jazykovú stránku systému. Mottom práce skupiny bola jednak snaha, ktorú je možné vyjadriť myšlienkou „netvoríme nový klasifikačný systém ale upravujeme a vylepšujeme doterajší systém“, ale tiež i snaha nepresadzovať úpravy hlasovaním členov komisie, ale konsenzom po podrobnom argumentovaní a prediskutovaní problematiky**.**

Poďakovanie

Autor ďakuje za finančnú podporu grantovej agentúre VEGA, keďže príspevok vznikol aj vďaka využitiu výsledkov jej projektu 1/0431/09.

Literatúra

CLINE M.G. 1979. Basic principles of soil classification. *Soil. Sci*. 67, 1949, s. 81-91

DIJKERMAN J.C. 1971. *Introduction to pedology.* Skriptum. Wageningen 1971, 146 s.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. *World reference base for soil resources 2006*, World Soil Resources report No. 103. FAO, Rome.

IUSS WORKING GROUP WRB. 2007. *World reference base for soil resources 2006*, first update 2007. World Soil Resources report No. 103. FAO, Rome

SOIL SURVEY STAFF. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, USDA Handbook 436, 2nd edition, Unites States Government Printing Office, Washington DC, 696pp.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. VÚPOP Bratislava 2000, 76 s. ISBN 80-85361-70-1

KUBIËNA W.L. 1953. *Bestimmungsbuch und systematik der Boden Europas*. Stuttgart, 1953, 388 s.

2. VÝSKYT PŮD TŘÍDY ANDOSOLŮ V ČESKÉ REPUBLICE

2 Presence of Andosol´soil class in the Czech Republic

Pavel Novák, Tomáš Khel, Jan Vopravil, Jitka Lagová*

ABSTRAKT
Předpoklad, že na vulkanických vyvřelinách Nízkého Jeseníku se mohou vyskytovat půdy, řazené k referenční třídě andosolů, byl potvrzen a stručně byla popsána geneze andosolů. Diagnostická kritéria horizontů s andickým vývojem musela být definována podle klasifikace *World Reference Base* (2006) a podle slovenského Morfogenetického klasifikačního systému půd (2000). Český Taxonomický klasifikační systém (2001) dosud tyto definice postrádá. Dva půdní profily s andickými vlastnostmi byly odebrány a analyzovány na vulkanickém vrchu velký Roudný. Oba hodnocené profily vyhovují většině diagnostických kritérií třídy andosolů, takže mohly být klasifikovány: podle WRB 2006 jako *Vitric Andosol (Dystric) a Vitric Andosol (Eutric);* podle slovenské klasifikace jako kambisoly andické. Byl vysloven předběžný návrh na doplnění těchto půd do českého Taxonomického klasifikačního systému půd.
Klíčová slova: andosoly, mladé vulkanické horniny, Nízký Jeseník, půdní analýzy, klasifikační návrh

ABSTRACT
A preliminary hypothesis, that on young volcanic rocks of Lower Jeseník Mountains referential group of Andosols are present was confirmed, and genesis of studied soil was briefly described. Described diagnostic features for andic soil horizons were defined according to the classification: World Reference Base (2006), and Slovak Morphogenetic Soil Classification system (2000); as in the Czech Taxonomic Soil Classification System such criteria are missing. Two soil profiles with andic features on the Velký Roudný volcanic dome were sampled and analysed. Both of studied soils meet conditions of Andosol diagnostic criteria and therefore they could be classified as Vitric Andosol (Dystric) to Vitric Andosol (Eutric) according to the WRB 2006, and as andic Cambisol according to Slovak soil classification. A preliminary proposal for supplement of these soils in the Czech Taxonomic Soil Classification System has been putted forward.
Key words: Andosols, young volcanic rocks, Lower Jeseník Mountains, classification proposal

2.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Už několik roků se mezi českými půdoznalci vedou diskuze, zda také v České republice se mohou vyskytovat andosoly. Jejich výskyt se předpokládal (Holuba, 2003). Základním problémem ovšem je, že téměř všechny práce, zabývající se touto referenční třídou, podmiňují jejich genezi pouze z hornin andezitového typu. Andezit a jeho typy v jakékoliv formě jsou ovšem v České republice vzácné. U andezitu musí zhruba polovinu hmoty tvořit středně bazické plagioklasy s velkým podílem barevných součástí (biotitu, amfibolu, pyroxenu), ale především by měly obsahovat vulkanické sklo obdobného složení, tj. v nevykrystalizované formě. Někteří autoři (Shoji et Otowa, 1988, Arnold, 1988) však poznamenávají, že vulkanické sklo není podmínkou pro vznik půd, které by měly být k andosolům řazeny, a že se andosoly tedy mohou vytvářet i na jiných vulkanických horninách jako je ryolit, dacit, nebo olivinický a plagioklasový bazalt. Proto při řešení této otázky byla pozornost obrácena k Nízkému Jeseníku, kde došlo na počátku čtvrtohor k výlevům hornin, které těmto charakteristikám odpovídají. Půdy, které se na nich vytvořily, nejsou většinou zemědělsky využívány; proto průzkumy zemědělských půd jejich charakteristiku nezachytily. Rovněž andosoly v době konání Komplexního průzkumu půd ještě nebyly mezi půdami Čech uvažovány.

Andosoly, jako typické půdy vulkanických oblastí, mají jak specifickou morfologii, tak specifické fyzikální a chemické vlastnosti. Ke společným znakům andických půd patří hlavně vysoký obsah humusu (Amano, 1988, Shoji et Otowa, 1988, Balkovič, 2002 a další), který se pohybuje v humidních podmínkách nad 8 %, ale i 20 %. Humus v mocných povrchových horizontech (často > 50 cm) se

* Ing. Pavel Novák, CSc., Ing. Tomáš Khel, Ing. Jan Vopravil, PhD., Ing. Jitka Lagová, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., 156 27 Praha 5 – Zbraslav, Žabovřeská 250, ČR, e-mail: pnovak@vumop.cz

vyznačuje vysokým poměrem C : N (nad 13) a převahou fulvokyselin nad humínovými kyselinami (Higashi, 1983). Vysoký obsah humusu je dán vytvářením komplexů humusových látek s formami aktivního Fe a Al a s jílovými minerály (alofan, imogolit), vznikajícími zvětráváním sopečného skla (Arnold, 1988, Brady, 2002, IUSS Working group WRB, 2006). Vysoký obsah humusu podmiňuje tmavou barvu (*Munsell value* i *chroma* pod 3). Půdy jsou kyselé s nízkým obsahem bazických kationtů (Tan, 1984). Velmi výrazným znakem je nízká objemová hmotnost (pod 0,9 g.cm^3), vysoký obsah oxalátového Fe a Al a vysoký obsah fosfátů. Mají velký rozsah potenciální úrodnosti.

Mezníkem v chápání andosolů (andického horizontu) bylo jejich rozdělení na alofanické a nealofanické (Shoji et Otowa, 1988). Alofanické obsahují vysoké množství alofanu a vznikají větráním bazaltických andezitů. Nealofanické vznikají z hornin typu andezitu, ryolitu a dacitu. Podobné dělení je i v klasifikačním systému WRB 2006, kde typy andických horizontů se nazývají *sil* – andický typ (převládá alofan) a *alu* – andický typ (komplexy Al s organickými kyselinami). Jako ukazatele andických vlastností se používá stupeň retence fosfátů (Soil Survey 1999, WRB, 1998, IUSS Working group WRB, 2006, Kolektiv, 2000).

Genetický proces vzniku andozemí tvoří do jisté míry samostatnou větev obecného procesu zvětrávání (Němeček, 1990). Proto se andosoly vyznačují běžnou stratigrafií podobnou kambizemím: O – Aa – Ba (Bva) – C (Němeček a kol., 2001). Základním diagnostickým horizontem je horizont andický Ba (Bva), ležící pod anhydromorfním humózním horizontem andickým Aa.

Podle WRB 2006 (IUSS Working group WRB, 2006) musí mít andický horizont (nebo jejich soubor) tyto diagnostické znaky:

- objemová hmotnost za momentní vlhkosti musí být < 0,9 g.cm^3,
- obsah vulkanického skla v jemnozemi musí být větší než 10 %,
- v jemnozemi musí být > 10 % jílu,
- obsah Al_{ox} + ½ Fe_{ox} v jemnozemi musí být > 2 %,
- retence fosfátů musí být 85 % (v anionové kapacitě)
- mocnost > 30 cm.

K těmto základním znakům je možno přiřadit podle WRB 2006 další znaky andických horizontů:

- *Munsell value* a *chroma* musí být > 3 za vlhka,
- obsah humusu musí být > 8 %, zpravidla i >20 %ˇ, ale i < 25 %,
- v poměru FK/HK převažují fulvokyseliny
- poměr C:N musí být vysoký (> 13).

V případě slabšího stupně zvětrávání půdotvorného substrátu definuje WRB 2006 znaky vitrické:

- v jemnozemi > 10 % vulkanického skla nebo
- objemová hmotnost za momentní vlhkosti < 0,9 g.cm^3, nebo
- méně než 10 % jílu v jemnozemi nebo
- obsah Al_{ox} + ½ Fe_{ox} > 0,4 nebo
- retence fosfátů > 25 %
- mocnost vrstvy s těmito vlastnostmi musí být větší než 30 cm.

Podobně jako u andických vlastností je možno uvést další vitrické znaky:

- barva *Munsell value* + *chroma* < 3,
- v poměru FK/HK převažují fulvokyseliny
- poměr C:N musí být vysoký.

Morfogenetický klasifikační systém půd Slovenska (Kolektiv, 2000) uvádí poněkud zjednodušené znaky andického horizontu:

- obsah Al_{ox} + ½ Fe_{ox} ≥ 2 % nebo
- hodnota fosfátové retence > 85 %
- objemová hmotnost ≤ 0,9 g.cm^3
- výměnná alkalita pH ≥ 9,4 v NaF

Metamorfický andický podpovrchový horizont by měl mít podle MKSP SR:

- mocnost > 15 cm nebo
- *chroma* vyšší než v horizontu C nebo
- obsah volného Fe (Coffin) je v Bv > C horizontu nebo
- má výraznější strukturu
- objemová hmotnost < 0,9 g.cm^3

Podle těchto znaků bylo založeno hodnocení zkoumaných profilů. Stanovení obsahu vulkanického skla nebylo provedeno a ve výsledcích se neuvádí.

2.2 MATERIÁL A METODY

Největší z neovulkanitů Nízkého Jeseníku je vrchol Velký Roudný (780 m n.m.). Na vrcholu je geologické těleso tvořeno olivinickým bazaltoidem (Roth, 1962) a jeho báze je tvořena třemi výlevnými proudy, z nichž největší, jižní, je tvořen porfyrickým plagioklasovým bazaltem. Profil 1 byl vykopán a vzorky odebrány asi 20 m pod vrcholem na prudkém svahu kužele ve smíšeném lese. Profil 2 byl popsán na úpatí v nadmořské výšce 705 m na zatravněné umělé terase, která byla v minulosti zřejmě ornou půdou.

Oba profily byly popsány a z jednotlivých horizontů byly odebrány vzorky na chemické analýzy, zrnitostní rozbor a z každého horizontu po třech Kopeckého válečcích na stanovení fyzikálních charakteristik (tab. 1-2). Všechny vzorky byly analyzovány v laboratořích VÚMOP v Praze. Popisy profilů byly provedeny podle zásad Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček a kol., 2001).

2.3 VÝSLEDKY

Profil 1: příkrý svah, smíšený les

+4 – 0 cm	O: nadložní anhydromorfní horizont opadanky bez výraznějšího rozkladu (L);
0 – 12 cm	Aa1: hnědočerná, 5YR 2/1, nevýrazná drobtovitá struktura, písčitohlinitá, čerstvě vlhká, silně humózní, kyprá konzistence, cca 15 % skeletu do 3 cm, nezřetelný difusní přechod;
12 – 45 cm	Aa2: černá, 5YR 1,7/1, drobtovito-polyedrická struktura, písčitohlinitá, silně humózní, kyprá, 20 % skeletu (bazalt?) do 5 cm, postupný zvlněný přechod;
45 – 65 cm	ABa: hnědočerná, 5YR 3/1, slabě polyedrická až bezstrukturní, písčitohlinitá, silně humózní, kyprá, skelet 30 % až do průměru 30 cm, difusní, zvlněný přechod;
> 65 cm	B/C: hnědočerná, 5 YR 4/1, bezstrukturní, písčitohlinitá až hlinitá, kyprá, skelet > 50 %, do průměru 30 cm

Profil 2: louka na terasovaném svahu, v minulosti orná půda

0 – 24 cm	Aap: anhydromorfní (molický?) humusový horizont, hnědočerná, 5YR, 2/2, drobtová struktura, písčitohlinitá, silně humózní, velmi kyprá, vlahá, zřetelný, rovný přechod (hloubka orby);
24 – 45 cm	Aa: hnědočerná, 5YR 2/1, slabá drobtová struktura, hlinitá, silně humózní, velmi kyprá, skelet 10 % do průměru 3 cm, postupný přechod;
45 – 70 cm	ABa: hnědočerná, 5YR 2/2, slabě drobtovito-polyedrická, hlinitá, kyprá, obsah skeletu kolem 25 % - štěrk a kameny do 3 cm, zvlněný difusní přechod;
70 – 85 cm	B/C: hnědočerná, 5YR 3/2, nestrukturní, humózní, soudržné konzistence, vlhká, hlinitá, kameny a balvany bazaltu 40 % až do velikosti 40 cm.

2.4 DISKUZE

Diagnostické znaky andosolů jsou součástí všech klasifikačních systémů. Protože však v době sestavování platného českého Taxonomického klasifikačního systému půd (Němeček a kol., 2001) nebyly andosoly na území České republiky nalezeny, není ani propracována jejich diagnostika a systémové zařazení nižších jednotek. Používáme tedy klasifikační zařazení podle WRB 2006 a platné Slovenské klasifikace MKSPS (Kolektiv, 2000).

Tab. 1 Výsledky půdních analýz profilu 1

Profil 1

Hloubka (cm)	Horizont	pH v KCl	pH v H_2O	C_{ox} (%)	FK (%)	HK (%)	HL (%)	FK:HK	Q 4/6	H^+ex (mmol+/100g)	CEC (mmol+/100g)
+4-0	O	3,73	4,26	21,28	4,99	1,80	10,52	2,77	7,7	86,0	90,40
0-12	Aa1	3,56	4,40	14,51	5,90	2,09	6,99	2,82	7,6	50,0	47,66
12-45	Aa2	4,11	5,06	5,82	3,33	1,01	3,48	3,29	7,1	47,6	38,95
45-65	ABa	4,74	5,73	3,93	2,43	0,69	2,26	3,52	7,0	30,8	30,01
>65	B/C	4,86	5,91	2,19	2,02	0,57	1,08	3,54	7,0	25,0	30,85

Hloubka (cm)	Horizont	Nasycení bázemi (mmol+/100g)	Nasycení (%)	ECEC (mmol+/100g)	N celkový (%)	C:N	Fe_{ox} (%)	Al_{ox} (%)	Fe Coffin (%)	<0,002 mm (%)	<0,01 mm (%)
+4-0	O	<3,0	<10	15,16	1,58	13,46	-	-	-	-	-
0-12	Aa1	<3,0	<10	14,04	0,91	15,94	1,36	0,66	0,76	8,6	23,5
12-45	Aa2	<3,0	<10	12,40	0,35	16,62	1,51	0,59	0,72	6,9	20,3
45-65	ABa	<3,0	<10	11,86	0,29	16,37	1,64	0,34	0,62	5,0	26,1
>65	B/C	<3,0	<10	9,40	0,20	16,84	1,72	0,30	0,55	4,8	30,0

Hloubka (cm)	Horizont	0,01-0,05 mm (%)	0,05-0,25 mm (%)	0,25-2,0 mm (%)	PO_4^{2-} retence (%)	Vlhkost (%)	Pórovitost celková (%)	Max.kapilár. vodní kapacita (%)	Objemová hmotnost ($g.cm^3$)
+4-0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
0-12	Aa1	47,1	28,4	1,0	60,0	26,66	75,98	32,40	0,54
12-45	Aa2	36,4	40,4	2,9	60,5	30,51	67,15	33,72	0,84
45-65	ABa	46,6	18,5	8,8	72,6	-	-	-	-
>65	B/C	43,7	20,3	6,0	70,0	-	-	-	-

Tab. 2 Výsledky půdních analýz profilu 2

Profil 2

Hloubka cm	Horizont	pH v KCl	pH v H_2O	C_{ox} (%)	FK (%)	HK (%)	HL (%)	FK:HK	Q 4/6	H^+ex (mmol+/100g)	CEC (mmol+/100g)
0-28	Aap	5,36	6,12	5,21	1,95	1,50	2,75	1,30	7,4	17,2	31,10
28-45	Aa	5,55	6,40	5,45	1,05	0,66	1,25	1,59	6,6	13,0	27,10
45-70	ABa	5,67	6,52	3,08	0,98	0,48	0,87	2,04	6,5	11,0	27,63
>70	B/C	5,81	6,75	1,78	0,44	0,18	0,40	2,44	6,3	9,2	21,31

Hloubka cm	Horizont	Nasycení bázemi (mmol+/100g)	Nasycení (%)	ECEC (mmol+/100g)	N total (%)	C:N	Fe_{ox} (%)	Al_{ox} (%)	Fe Coffin (%)	<0,002 mm (%)	<0,01 mm (%)
0-28	Aap	13,90	48	20,70	0,38	10,8	1,57	0,51	2,22	8,4	27,4
28-45	Aa	14,10	52	19,04	0,30	10,9	1,58	0,54	2,17	7,8	31,7
45-70	ABa	16,63	60	19,42	0,20	10,3	1,64	0,51	2,03	7,1	33,1
>70	B/C	12,11	57	14,28	0,12	11,1	1,51	0,49	1,89	5,6	30,2

Hloubka cm	Horizont	0,01-0,05 mm (%)	0,05-0,25 mm (%)	0,25-2,0 mm (%)	PO_4^{2-} retence (%)	Vlhkost (%)	Pórovitost celková (%)	Max. kapilární vodní kapacita (%)	Objemová hmotnost ($g.cm^3$)
0-28	Aap	28,6	37,8	6,2	55,5	-	-	-	-
28-45	Aa	40,3	20,2	7,8	56,0	28,14	70,22	32,11	0,88
45-70	ABa	39,3	19,9	7,7	58,3	32,14	60,13	30,20	0,90
>70	B/C	34,6	23,0	12,2	56,2	-	-	-	-

2.4.1 Klasifikační zařazení půd podle WRB (2006)

Podle WRB 2006 (IUSS Working group WRB, 2006) jsou do třídy andosolů řazeny půdy, které mají:

- jednu nebo více vrstev s andickými nebo vitrickými diagnostickými znaky a s celkovou kombinovanou mocností těchto horizontů:
  - ✓ buď 30 cm nebo více do hloubky 100 cm od povrchu a začínající od max. 25 cm hloubky,
  - ✓ nebo které zaujímají 60 % či více celkové mocnosti půdního profilu k pevné hornině nebo cementované vrstvě, jež začíná v hloubce 25 – 30 cm
- a přitom se v profilu nevyskytují argilický, ferralický, petroplintický, plintický nebo spodický horizont, vyjma fosilních pohřbených horizontů.

Andické znaky jsou v klasifikaci WRB 2006 definovány poměrně velmi přesně a dosti striktně. Pro určení nižších jednotek třídy andosolů uvádí tato klasifikace celkem 18 „*prefix qualifiers*“ a 20 „*suffix qualifiers“,* které upřesňují zařazení podle morfologických, chemických či substrátových charakteristik.

Vitrické znaky a horizonty se liší od andických nižším stupněm zvětrání. Požadované diagnostické znaky jsou také méně přísné. Z hlediska těchto požadavků:

- U profilu 1 vyhovuje předepsaným andickým znakům pouze kombinovaná celková mocnost horizontů (tj. Aa1 + Aa2 + ABa) a jejich objemová hmotnost. Další diagnostické znaky (obsah jílu v jemnozemi, hodnota Al_{ox} + ½ Fe_{ox} > 2, retence fosfátů nad 85 %) požadavkům nevyhovují. Z doprovodných diagnostických znaků pak vyhovuje barva, poměr FK/HK a poměr C : N. Protože klasifikace WRB 2006 vyžaduje splnění všech požadovaných znaků, je možno říci, že profil nesplňuje požadavky pro andické vlastnosti.
- Vitrické znaky splňuje profil 1 prakticky všechny a to jak kritéria základní (kombinovanou mocnost horizontů, objemovou hmotnost, obsah jílu v jemnozemi, obsah Al_{ox} + ½ Fe_{ox} > 2, retenci fosfátů), tak i kritéria doprovodná (barvu, reakci, poměr FK:HK, poměr C:N).
- Profil 1 nesplňuje požadavky WRB 2006 na melanický humózní povrchový horizont. Jeho koncepce ve WRB je však jiná, než uvádí Němeček a kol. (2001). Podle Holuši (2003) je tento horizont moderového typu. Od případného umbrického horizontu se odlišuje objemovou hmotností a strukturou.
- V podstatě totéž je možno uvést o charakteristikách profilu 2 (travní porost).

Z uvedeného hodnocení vyplývá, že hodnocený profil 1 (lesní) je možno vzhledem ke stupni nasycení sorpčního komplexu hluboko pod 20 % klasifikovat na úrovni „*prefix*“ a „*suffix*“ jednotek jako *Vitric Andosol (Dystric*). Profil 2 (louka na úpatí vrchu) by potom, opět vzhledem k nasycenosti sorpčního komplexu slabě nad 50 %, měl být podle WRB 2006 klasifikován jako *Vitric Andosol (Eutric)* (což je však méně průkazné), případně i *Vitric Andosol (Colluvic),* protože profil vykazuje jisté známky akumulace. U tohoto profilu se zřejmě projevuje vliv dlouhodobého zkulturnění a užívání jako orná půda.

2.4.2 Klasifikační zařazení půd podle MKSP SR (2000)

Slovenský klasifikační systém (Kolektiv, 2000) vychází z poněkud odlišných kritérií andosolů a andických znaků než WRB 2006. Andosoly jsou popisovány jako půdy s melanickým Aa horizontem a kambickým Bva horizontem na zvětralinách vulkanických hornin s převahou vitrických znaků. Mocný, tmavý, humusový A horizont výrazně dominuje a potlačuje vizualní znaky B horizontu.

Kritériím andických znaků podle slovenské klasifikace nevyhovují u obou profilů kritéria důležitá, tj. retence fosfátů a obsah Al_{ox} + ½ Fe_{ox} > 2 %. Vyhovuje pouze objemová hmotnost a barva. Humusový melanický horizont má jiné pojetí než ve WRB 2006. V podstatě podle požadavků na něj kladených vyhovuje jen mocnost, barva a objemová hmotnost. Z toho vyplývá, že podle slovenské MKSP (2000) klasifikace by nemohly být oba profily řazeny k andosolům (andozemím).

Naproti tomu charakteristiky obou profilů v podstatě vyhovují kritériím kambických andických horizontů: soubory horizontů s těmito znaky mají velkou mocnost, obsah volného Fe (podle Coffina) je v těchto horizontech vyšší než v B/C horizontech, mají nízkou objemovou hmotnost a výraznější strukturu, mají pod 75 % skeletu. Proto by oba profily podle slovenské klasifikace MKSPS měly být řazeny jako kambizemě andozemné. Slovenský klasifikační systém nedefinuje kritéria vitrických

horizontů; proto vlastně není jiná možnost zařazení. Hodnocené profily zcela jasně tvoří přechody mezi kambickými a andickými horizonty.

2.5 ZÁVĚR

Dosažené výsledky potvrzují, že v České republice se vyskytují půdy s andickým vývojem a některými andickými znaky. Podle dosavadních výsledků a znalostí jsou omezeny na raně čtvrtohorní vulkanické vyvřeliny Nízkého Jeseníku, případně jeho nejbližšího okolí. Pokud se ojediněle vyskytují na zemědělské půdě, byly při Komplexním průzkumu půd (1967) zařazovány k hnědým půdám eutrofním, což není ovšem zcela správné. Je možno vyslovit velmi stručný návrh na doplnění českého Taxonomického klasifikačního systému půd TKSP (Němeček a kol., 2001) pro jednotky referenční třídy andosolů, respektování půdního typu andozem. Půdní subtyp kambizem andická již v TKSP hypoteticky existuje. Předběžné návrhy jsou:

- Andozem modální: bez dalších diagnostických znaků nebo jejich projevů. Patrně hypotetický výskyt.
- Andozem vitrická: navázala by na obdobnou jednotku WRB 2006. Výskyt je na vyvřelinách Bruntálska a možná i jinde pravděpodobný. Bylo by třeba definovat kritéria, odlišující ji (nebo spojující) s kambizemí andickou.
- Andozem rankerová: na vrcholech nebo v suťových partiích vulkanických vyvřelin. Problém je s definicí andických znaků.

Jak již bylo uvedeno, nejvíce možný je výskyt jednotky (subtypu) kambizem andická. Bude třeba definovat příslušná kritéria v daném systému.

Poděkování

Tento výzkum mohl být uskutečněn díky finanční podpoře z projektu NAZV MZe ČR QH 82089 a projektu MŽP ČR SP/2d3/155/08.

Literatura

AMANO Y. 1988. The Andisols – Entisols transition. *Proceedings of the 9th International Soil Classification Workshop*, Soil Management Support Service, Washington D.C.

ARNOLD R.W. 1988. *The worldwide distribution of Andisols and the need for an Andisol order in US Soil Taxonomy*. Soil Management Support Service, Washington D.C.

BALKOVIČ J. 2002. *Pôdy s andickými vlastnosťami vo vybraných pohoriach Slovenska*. Dizertační práce. PFUK Bratislava, 144 s.

BRADY N.C., WEIL R.R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall-Upper Saddle River New Jersey, USA, 956 p.

HIGASHI T. 1983. Characterisation of Al/Fe humus complexes in Dystrandepts through the comparison with synthetic forms. *Geoderma*, 31: 277-288.

HOLUŠA O. 2003. *Nález andozemě v Národní přírodní památce Velký Roudný (Nízkojesenický bioregion*). Práce a studie Musea Beskyd, Frýdek-Místek (Přírodní vědy) č. 13, 221 – 224.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources, 2006, *World Soil Resources report* No. 103, FAO Rome, 128 p.

NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M. 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Academia Praha, 550 s.

NĚMEČEK J. a kol. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*, ČZU Praha.

ROTH Z. a kol. 1962: *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000, list M-33-XXIV Olomouc*, ČAV – Geofond.

KOLEKTIV 2000. *Morfogenetický klasifikační systém půd Slovenska.* VÚPOP Bratislava, 76 s.

SHOJI S., OTOWA M. 1988. Distribution and significance of Andisols in Japan. *Proceed. 9th Intern. Soil Classification Workshop, Soil Management Support Service*, Washington D.C.

SOIL SURVEY STAFF 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil* surveys. USDA Washington D.C., Agric. Handbook 476.

TAN H.K. 1984. *Andosols*. Van Nostrand Reinhold, New York, 405 p.

3. KLASIFIKÁCIA A NIEKTORÉ VLASTNOSTI KAMBIZEMÍ NA TRVALÝCH MONITOROVACÍCH PLOCHÁCH V LESOCH SLOVENSKA

3 Classification and properties of Cambisols on permanent monitoring plots in forest of Slovakia

Pavel Pavlenda, Jozef Capuliak, Anna Stančíková *

ABSTRAKT
Príspevok je zameraný na klasifikáciu a vybraté vlastnosti kambizemí na základe výsledkov prieskumu na trvalých monitorovacích plochách v lesoch Slovenska, ktorý sa realizoval v rámci európskeho demonštračného projektu BioSoil. Tento projekt bol súčasťou implementácie nariadenia *Forest Focus* o monitoringu lesov a environmentálnych interakcií. Prezentované sú výsledky jednak z hľadiska klasifikácie WRB 2006 – podľa príslušných vlastností (*qualifiers*) a špecifikátorov (*specifiers*) určených v súlade s prítomnosťou diagnostických horizontov, diagnostických vlastností a diagnostických materiálov, prípadne iných definovaných kritérií, ako aj výsledky vychádzajúce z analytických stanovení jednotlivých veličín v odobratých vzorkách podľa fixne definovaných hĺbkových rozsahov. Značnú heterogenitu pôd v skupine kambizemí ilustrujú napríklad výsledky fyzikálnych (skeletnatosti, textúry) i chemických vlastností (obsah organického uhlíka, pH, nasýtenosť bázami).
Kľúčové slová: kambizeme, lesné pôdy, klasifikácia pôd, trvalé monitorovacie plochy, vlastnosti pôd

ABSTRACT
The paper presents overview of classification and selected properties of Cambisols on the base of survey on permanent monitoring plots in forests of Slovakia that was realized in the frame of European demonstration project BioSoil. The project was a part of implementation of Regulation Forest Focus on monitoring of forests and environmental interactions. Results of classification according to WRB 2006 (respective qualifiers and specifiers for Cambisols determined on the base of diagnostic horizons, diagnostic properties and diagnostic materials or other criteria) are referred in the paper as well as results of analytical determination of properties of samples from defined depths. Substantial heterogeneity and variability of Cambisols is illustrated by results of some physical properties (coarse fragments content, texture) and chemical properties (organic carbon content, pH, base saturation).
Key words: Cambisols, forest soils, soil classification, permanent monitoring plots, soil properties

3.1 ÚVOD

Systematické získavanie a hodnotenie informácií o lesných pôdach je nielen súčasťou hodnotenia kvality pôdneho fondu, ale aj podstatným predpokladom porozumenia stavu a vývoja lesných ekosystémov. Aj v rámci medzinárodného programu monitoringu lesov ICP Forests bolo zisťovanie a hodnotenie stavu pôd vnímané ako nevyhnutná zložka sledovania vývoja lesných ekosystémov a ich reakcie na rôzne antropogénne faktory. Prvé harmonizované zisťovanie stavu lesných pôd v rámci tohto programu sa realizovalo v prvej polovici deväťdesiatych rokov minulého storočia. V európskej databáze stavu lesných pôd sa zhromaždili a spracovali údaje zo 4 532 plôch v pravidelnej monitorovacej sieti v 23 krajinách. Hlavným výstupom bola správa o stave lesných pôd Európy, ktorú vypracovalo Koordinačné centrum pre lesné pôdy (FSCC) v rámci programu ICP Forests (Vanmechelen *et al.*, 1997). Toto zisťovanie malo svoje obmedzenia, najmä z hľadiska zúčastnených krajín či hĺbok vzorkovania. Pôdy boli klasifikované podľa FAO-UNESCO-ISRIC 1988, často však iba na základe mapových podkladov. V štúdii porovnávajúcej databázu z prieskumov lesných pôd v rámci monitoringu lesov a SGDBE (Soil Geographical Database of Europe) sa konštatovalo, že

* Ing. Pavel Pavlenda, PhD., Ing. Jozef Capuliak, PhD., Ing. Anna Stančíková, Národné lesnícke centrum, T.G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, SR, e-mail: pavlenda@nlcsk.org

napriek mimoriadnej hodnote údajov o vlastnostiach lesných pôd z monitorovacej siete bola ich využiteľnosť vo vzťahu ku klasifikácii pôd značne limitovaná (Wiedemann *et al.*, 2001).

V rokoch 2005-2008 sa v krajinách EÚ v rámci implementácie nariadenia *Forest Focus* o monitoringu lesov a environmentálnych interakcií (Regulation (EC) 2152/2003) realizoval demonštračný projekt BioSoil. Tento projekt bol zameraný na zisťovanie stavu pôd a vybratých indikátorov biodiverzity na trvalých monitorovacích plochách (TMP) európskeho monitoringu lesov. Dominantnou časťou projektu bolo detailné zisťovanie a hodnotenie stavu lesných pôd vrátane ich klasifikácie podľa WRB 2006, a to na plochách I. úrovne monitoringu (celoplošný reprezentatívny monitoring) i plochách II. úrovne monitoringu (vybraté typické lesné ekosystémy – intenzívny monitoring). Výsledky tohto zisťovania majú potenciál priniesť podstatne podrobnejšie informácie o lesných pôdach, a to na národnej úrovni, ale najmä na úrovni EÚ. V dôsledku časovej náročnosti laboratórnych analýz a validácie databáz sa však až v súčasnosti začína s podrobnejším hodnotením výsledkov. Na národnej úrovni boli prezentované iba čiastkové stručné prehľady výsledkov v správach za monitoring lesov (Pavlenda a kol., 2009), na celoeurópskej úrovni bola realizovaná predbežná analýza dát (Hiederer, Durant, 2010) a pripravuje sa druhá správa o stave lesných pôd Európy. Popri podrobnej charakterizácii stavu pôd je samozrejme potrebné analyzovať a hodnotiť zmeny oproti prvému prieskumu.

V tomto príspevku sa zameriavame na vyhodnotenie niektorých vlastností kambizemí (*Reference Soil Group of Cambisols* v zmysle WRB 2006), teda pôd dominujúcich v lesnom pôdnom fonde SR. Zistené výsledky sú prezentované jednak z hľadiska klasifikácie – podľa kvalifikátorov (vlastností - *qualifiers*), jednak aj z výsledkov z terénnych hodnotení a analytických stanovení jednotlivých veličín v odobratých vzorkách podľa fixne definovaných hĺbkových rozsahov.

3.2 MATERIÁL A METÓDY

Objektom zisťovania stavu pôd boli všetky trvalé monitorovacie plochy (TMP) I. aj II. úrovne monitoringu lesov Slovenska v rámci Čiastkového monitorovacieho systému Lesy (ČMS Lesy), ktoré sú zároveň súčasťou európskeho systému monitoringu lesov (program ICP Forests, schéma Forest Focus, projekt FutMon v rámci LIFE+). V tomto príspevku prezentujeme výsledky za plochy I. úrovne, teda plochy pravidelnej siete 16x16 km. Odbery vzoriek a hodnotenia pôd sa uskutočnili na všetkých 112 plochách vrátane niekoľkých plôch, ktoré boli momentálne bez lesného porastu – či už z dôvodov plánovanej obnovy porastov, alebo v dôsledku kalamitnej deštrukcie lesa.

Odbery zahrnovali pokrývkový humus (L zvlášť, F a H podľa hrúbky buď oddelene alebo spolu) a fixne určené hĺbky 0-10 cm 10-20 cm 20-40 cm a 40-80 cm v piatich opakovaniach. Vzorky humusu sa odoberali pomocou štvorcovej šablóny o známej ploche, aby bolo možné vypočítať celkovú zásobu organickej hmoty i zásob jednotlivých prvkov na plošnú jednotku lesa. Jedným z odberných miest bola pôdna sonda a ďalšie štyri boli v blízkosti rohov štvorcovej plochy, pričom vzorky minerálnej pôdy sa na týchto 4 miestach brali pomocou pôdneho vrtáka. Následne boli vzorky pre príslušnú hĺbku zmiešané do 1 vzorky a takéto zmesné vzorky boli analyzované pre každú hĺbku zvlášť.

Okrem toho súčasťou terénnych prác bol odber vzoriek pre určenie objemovej hmotnosti a odber vzoriek podľa horizontov ako predpoklad klasifikácie pôd.

Zisťované boli nasledovné veličiny:

- podiel skeletu (nad 2 mm), podiel frakcií íl, prach, piesok, zrnitostné triedy, objemová hmotnosť,
- aktívna i výmenná reakcia (pH), obsah karbonátov,
- C_{org}, N_t, S, hmotnosť organických vrstiev (suhorizontov pokryvného humusu),
- výmenná acidita, výmenný Ca, Mg, Na, K, Al, Mn, Fe, H^+, katiónová výmenná kapacita, nasýtenie bázami,
- pseudototálne obsahy litogénnych živín a rizikových prvkov po extrakcii v lúčavke kráľovskej,
- reaktívny Al a Fe.

Použité metódy vychádzali z manuálu ICP Forests, v niektorých prípadoch však boli veličiny rozšírené a metódy modifikované. Následne sa zahrnuli ako štandardizované postupy pre opakované zisťovanie pôdnych vlastností lesných pôd Európy a sú súčasťou aktualizovaného manuálu v rámci

programu ICP Forests. Sú prístupné na internetovej stránke: http://www.icp-forests.org/pdf/FINAL_soil.pdf.

Na rozdiel od prvého zisťovania stavu pôd na plochách monitoringu lesov v Európe bol povinnou súčasťou prieskumu aj štandardizovaný detailný opis pôdneho a klasifikácia pôd, najskôr podľa WRB 1998 a po prijatí ďalšej verzie sa uskutočnila revízia podľa WRB 2006 (IUSS Working Group WRB, 2006).

Pôdy na TMP boli klasifikované aj podľa aktuálnej verzie MKSP (Kolektív, 2000), hoci v tejto práci sa zameriavame na klasifikáciu podľa WRB 2006 a prehľad vybratých vlastností ako klasifikačných kritérií. Hoci časť terminológie používanej v klasifikácii pôd na národnej úrovni je veľmi podobná ako vo WRB, definície sa môžu odlišovať, a preto sa v terminológii pridržiavame pôvodných názvov najmä pri hodnotení kvalifikátorov pôdnych skupín.

3.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Podiel kambizemí na lesnom pôdnom fonde SR je podľa rôznych zdrojov z rôznych existujúcich podkladov odhadovaný od 55 až do 66,5 % (Hraško a kol., 1994, Šály, 1996, Koreň ml., Koreň, 1999, Pavlenda, 2002). Tieto rozdiely vyplývajú jednak z rôznych podkladov a rôznych techník plošnej kvantifikácie, ale aj z vývoja klasifikačného systému. Napr. rozdielne boli kvantifikované asociované, sprievodne sa vyskytujúce pôdy popri dominantných pôdach v príslušnom polygóne.

Spoločným znakom kambizemí je prítomnosť kambického horizontu, teda metamorfického podpovrchového horizontu, ktorý vznikol procesom brunifikácie a spĺňa kritériá z hľadiska hrúbky, alteračných a ďalších definovaných znakov. Je samozrejmé že pri rôznorodosti geologických, geomorfologických i klimatických pomerov a pestrosti drevinového zloženia lesných porastov je variabilita jednotlivých vlastností kambizemí veľmi veľká.

Pri hodnotení pôd na monitorovacích plochách boli na 66 zo 112 plôch pôdy klasifikované v zmysle WRB 2006 do skupiny *Cambisols*. V tomto súbore teda tvorili 58,9 %. O niečo nižší podiel týchto pôd oproti očakávaniu súvisí s tým, že v štyroch prípadoch boli pôdy, ktoré podľa národnej klasifikácie patria medzi kambizeme, klasifikované v skupine *Umbrisols*. Určité rozdiely v tom, či príslušná pôda je klasifikovaná ako kambizem, sú spojené aj s rôznou definíciou kambického horizontu v MKSP 2000 a WRB 2006 z hľadiska nekarbonátovosti jemnozeme, resp. prejavov odnosu karbonátov.

Podľa WRB 2006 (IUSS Working Group WRB 2006) je potrebné pri klasifikácii pôdy podľa pôdneho profilu na druhej úrovni klasifikácie (po určení referenčnej pôdnej skupiny – *Reference Soil Group* – RSG ako hlavnej jednotky) zaznamenať všetky vlastnosti – kvalifikátory. Pri mapovaní pôd sa podľa účelu a mierky mapy môže znížiť počet kvalifikátorov. Pri klasifikácii pôd na monitorovacích plochách sme zvolili postup úplného zoznamu kvalifikátorov. Okrem hlavných (prefixových) kvalifikátorov sme v prípade kambizemí na základe identifikovaných vlastností priradili 1 až 5 sufixových kvalifikátorov.

V 85 % prípadoch neboli identifikované znaky podmieňujúce špecifické prefixové kvalifikátory, a tak boli pôdy klasifikované ako *Haplic Cambisols*. Z ostatných sme evidovali výskyt pôd limitovaných hĺbkou po súvislú pevnú horninu v hĺbke menej ako 100 cm, teda *Leptic Cambisol* (10,5 %). Na dvoch plochách boli zistené vlastnosti indikujúce zaradenie pôdy ku *Endogleyic Cambisols* a v jednom prípade *Stagnic Cambisol*.

Pri danom spôsobe klasifikácie bola situácia zložitejšia z hľadiska sufixových kvalifikátorov. Na dvoch plochách bola identifikovaná litologická diskontinuita, ktorá v klasifikácii znamenala kvalifikátor *Ruptic*. Významné zastúpenie mali pôdy s vyšším obsahom pôdneho skeletu. Celkove až pre 64 % z hodnotených pôd bol podľa zaznamenaného podielu pôdneho skeletu priradený kvalifikátor *Skeletic* (v tom 35 % *Endoskeletic*, teda nad 40 % pôdneho skeletu iba v hĺbkovej zóne 50-100 cm, nie v celej hodnotenej časti pôdneho profilu do 100 cm).

Významným indikátorom humóznosti kambizemí na monitorovacích plochách je veľmi časté priradenie kvalifikátora *Humic*. Až 64 % kambizemí vyhovuje podmienke pre kvalifikátor *Humic*, čo znamená obsah organického uhlíka nad 1% (v jemnozemi) do hĺbky 50 cm (vypočítaného ako vážený priemer z údajov pre jednotlivé horizonty v danom hĺbkovom rozpätí). Naopak ani v jednom prípade nebol zistený taký nízky obsah organického uhlíka, ktorý by znamenal priradenie kvalifikátora *Hyperochric*.

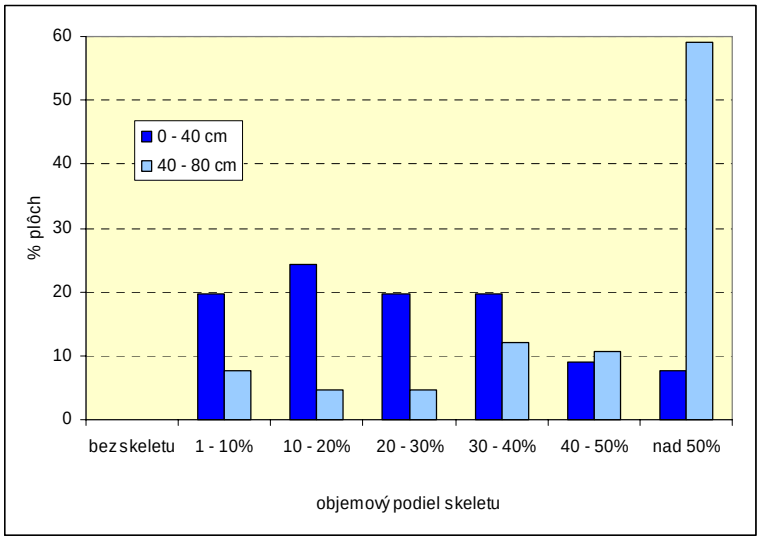
Podiel pôd s vlastnosťami indikujúcimi nasýtenie bázami bol pomerne vyrovnaný (38 % *Dystric*, v tom 16,7 % Hyperdystric a 44 % *Eutric*, v tom 15,2 % *Hypereutric*). V štyroch prípadoch (61% plôch) zistené znaky indikovali kvalifikátor *Calcaric*. Na základe splnenia kritéria pre príslušné sfarbenie bol v jednom prípade pôdy priradený kvalifikátor *Chromic*.

Vzhľadom na to že podľa WRB 2006 je pre kambický horizont definovaný textúrny limit (ak je materiál horizontu piesčitý, nemôže byť hodnotený ako kambický, hoci by spĺňal všetky ostatné kritériá), je vylúčená možnosť kvalifikátora *Arenic* pre pôdu klasifikovanú ako *Cambisol*. Naopak veľmi časté je splnenie kritérií pre kvalifikátor *Siltic* indikujúceho prítomnosť vrstvy minimálne 30 cm hrubej, ktorá je podľa zrnitosti hodnotená ako prach (Si) prachovitá hlina (SiL) prachovito-ílovitá hlina (SiCL), alebo prachovitá hlina (SiC).

Najčastejšie sa vyskytovanou klasifikačnou jednotkou a teda pre lesný pôdny fond Slovenska „typickou pôdou" v rámci skupiny *Cambisols* je: *Haplic Cambisol (Humic, Eutric, Skeletic, Siltic*).

Vyššie uvedené prehľady charakterizujú kambizeme v hodnotenom súbore monitorovacích plôch na lesnom pôdnom fonde Slovenska podľa vybratých vlastností dôležitých pre klasifikáciu, a to z hľadiska spĺnenia konkrétnych definovaných kritérií (hraničných hodnôt). Pre podrobnejšiu charakterizáciu súboru kambizemí ďalej uvádzame prehľady v tabuľkovej a grafickej podobe s využitím opisnej štatistiky (miery polohy, miery variability).

Na obr. 1 je znázornené rozdelenie početností pre objemový podiel pôdneho skeletu v dvoch agregovaných hĺbkach: 0-40 cm a 40-80 cm. Ani na jednej z plôch, kde bola pôda klasifikovaná ako Cambisol, nebola pôda v hodnotenej časti profilu úplne bez skeletu. Kým v hĺbke 0-40 cm bol podiel skeletu väčšinou 10 až 40%, v hĺbke pod 40 cm až bol až v 59 % plôch podiel skeletu nad 50 %.

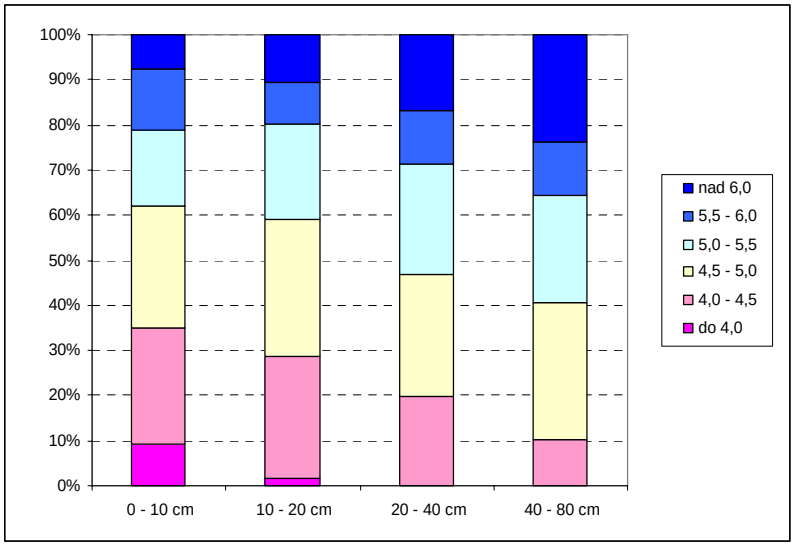


Obr. 1 Rozdelenie početností podielu skeletu v kambizemiach podľa hĺbok

Z významných chemických klasifikačných kritérií uvádzame aspoň základné informácie o pôdnej reakcii. Namerané hodnoty aktívnej reakcie (pH v hydrosupenzii) v minerálnej pôde zaznamenali rozpätie 3,6 až 7,5. Mediánové hodnoty za jednotlivé hĺbky boli nasledovné: 5,0 pre hĺbku 0-10 cm, 4,9 pre hĺbku 10-20 cm, 5,1 pre hĺbku 20-40 cm a 5,4 pre hĺbku 40-80 cm. Zastúpenie plôch podľa nameraných hodnôt v definovaných triedach pH pre jednotlivé hĺbky je znázornené na obr. 2. Z neho je zrejmé, že podiel hodnôt spadajúcich do intervalu silne kyslých pôd je najvyšší pre hĺbku 0-10 cm, so zväčšujúcou s hĺbkovou triedou podiel kyslých pôd klesá. Reakcia bola meraná aj vo vzorkách subhorizontov pokrývkového humusu. Mediánová hodnota aktívnej reakcie pre Ool bola 5,2, pre Oof, resp. spoločné vzorky Oof a Ooh 4,8, ale pre Ooh len 3,7. Aj tento jednoduchý indikátor výrazne indikuje väzbu medzi humusovou formou a aciditou pôdy.

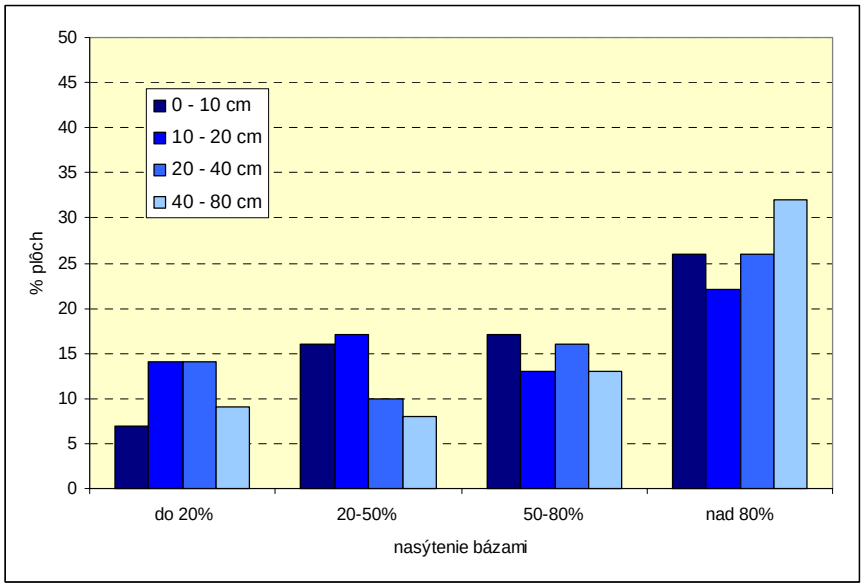
Ďalšou klasifikačnou vlastnosťou je nasýtenie bázami. Prehľad zisteného stavu pre túto veličinu v danom súbore je znázornený na obr. 3. Ako bolo vyššie uvedené, podiel kambizemí s kvalifikátorom *Eutric* bol vyšší ako podiel kambizemí s kvalifikátorom *Dystric*. Napriek evidentnému zakysleniu pôd, ktoré pre podmienky Slovenska v dôsledku vstupu kyslých atmosférických depozícií potvrdili viaceré

práce (najvýraznejšie pre podhorské a horské oblasti severného a stredného Slovenska), je stav za celý súbor plôch reprezentujúcich kambizeme, pomerne priaznivý. Podiel silne nenasýtených pôd nepresahuje 15 %, pričom však stav v hĺbke 10-20 cm a 20-40 cm je nižší než pri povrchu pôdy.



Obr. 2 Podiel nameraných hodnôt pH v jednotlivých triedach podľa hĺbok odobratých vzoriek

Značnú heterogenitu pôd v hodnotenom súbore ilustrujú aj výsledky meraní obsahu organického uhlíka. V hĺbke 0-10 cm sa pohybovali od 15,1 do 155,0 mg.kg^{-1} (medián 40,6 mg.kg^{-1}), v hĺbke 10-20 cm od 7,0 do 62,2 mg.kg^{-1} (medián 20,4 mg.kg^{-1}), v hĺbke 20-40 cm od 5,7 do 39,5 mg.kg^{-1} (medián 11,9 mg.kg^{-1}) a v hĺbke 40-80 cm od 2,1 do 42,2 mg.kg^{-1} (medián 8,00 mg.kg^{-1}).



Obr. 3 Rozdelenie početností nasýtenia bázami podľa hĺbok odobratých vzoriek

Prehľad vypočítaných zásob organického uhlíka (na základe nameraného obsahu uhlíka v jemnozemi, podielu skeletu a objemovej hmotnosti, resp. pre pokrývkový humus na základe hmotnosti tohto materiálu na plošnú jednotku) je v tab. 1. Stredné hodnoty pre kambizeme sú o niečo nižšie než stredné hodnoty rovnakým spôsobom vypočítaných zásob za celý súbor TMP (Pavlenda, 2008).

Tab. 1 Zásoby organického uhlíka v kambizemiach v daných hĺbkových zónach

	Aritmetický priemer	Minimum	10-percentil	Medián	90-percentil	Maximum
Pokrývkový humus	6,5	1,8	2,6	5,8	10,4	33,4
0 – 20 cm	56,2	18,1	29,3	53,6	96,0	118,2
0 – 100 cm	103,9	33,6	54,1	98,1	177,7	218,6

3.4 ZÁVER

Kambizeme (*Cambisols*) s celkovou výmerou približne 15 mil. km^2 sú po kryosoloch (*Cryosols*) a leptosoloch (*Leptosols*) treťou najrozšírenejšou skupinou pôd na svete. Aj keď tieto pôdy spĺňajú spoločné kritériá vyplývajúce z genézy týchto pôd a príslušných diagnostických vlastností, variabilita ich vlastností je obrovská nielen na globálnej úrovni, ale aj na úrovni lesného pôdneho fondu takej malej krajiny ako je Slovensko. Stručný prehľad vlastností kambizemí z reprezentatívneho súboru monitorovacích plôch na lesnom pôdnom fonde je len skromným príspevkom k poznaniu tejto významnej skupiny pôd. Existujúca báza dát má však potenciál významne prispieť k hodnoteniu i klasifikácii kambizemí nielen na národnej úrovni, ale aj v celoeurópskom kontexte, najmä vo väzbe na iné informácie o stave a vývoji lesných ekosystémoch monitorovacích plôch Európy.

Poďakovanie

Autori ďakujú Ministerstvu pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, Ministerstvu životného prostredia SR a Európskej komisii za finančnú podporu pri riešení problematiky monitoringu lesov ako súčasti dlhodobého programu monitoringu lesov v Európe (ICP Forests, Forest Focus, projekt „FutMon“ - LIFE ENV/D/000218, Čiastkový monitorovací systém Lesy), v rámci ktorého vznikol prezentovaný príspevok. Zároveň ďakujú odborníkom zo všetkých inštitúcií (VÚPOP, TU Zvolen, ÚEL SAV, NLC-ÚLZI Zvolen), ktorí sa podieľali na prácach v rámci prieskumu pôd.

Literatúra

FAO-UNESCO-ISRIC 1988. FAO-Unesco Soil Map of the World Revised Legend. *World Soil Resources Report* No. 60, FAO, Rome, 118 pp.

HIEDERER R. , DURRANT T. 2010. *Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Preliminary Data Analysis. EUR* 24258 EN. JRC Scientific and Technical Reports. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 126 pp.

HRAŠKO J. *et al*. 1994. *Pôdna mapa Slovenska.* Bratislava, SÚGK 1 : 400 000.

ISSS-ISRIC-FAO 1998. World reference base for soil resources. *World Soil Resources Report* No. 84. FAO, Rome, 88 pp.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Report* No. 103. FAO, Rome, 136 pp.

KOLEKTÍV 2000: *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná klasifikácia*. VÚPOP, Bratislava, 76 s.

KOREŇ M. (Jr.), KOREŇ M. 1999. Numerická analýza vybratých kartografických podkladov Slovenska. *Štúdie o Tatranskom národnom parku* 4 (37), s. 189-225.

PAVLENDA, P. 2002. Pôdne pomery a biodiverzita lesných spoločenstiev. *In: Ochrana biodiverzity a jej implementácia do lesníctva. Zborník zo sympózia konaného 21. júla 2002*. LVÚ, Zvolen, s. 59-64.

PAVLENDA P. 2008. Kvantifikácia zásob uhlíka v lesných pôdach. *In: Kobza, J. (Ed.): Piate pôdoznalecké dni. Zborník príspevkov*, VÚPOP, s. 243-250.

PAVLENDA P., BUCHA T., ĎURKOVIČOVÁ J., IŠTOŇA J., KRÚPOVÁ D., LEONTOVYČ R., PAJTÍK J., PAVLENDOVÁ H., PRIWITZER T., STANČÍKOVÁ A., TÓTHOVÁ S., VODÁLOVÁ A. 2009. *Monitoring lesov Slovenska.* Správa za Forest Focus a ČMS Lesy 2008. Zvolen, NLC, 113 s.

ŠÁLY R. 1996. *Pedológia.* Učebné texty. TU, Zvolen, 178 s.

VANMECHELEN L., GROENEMANS R., VAN RANST E. 1997. Forest Soil Condition Report. Results of a Large-Scale Soil Survey. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 262 pp.

WIEDEMANN T., KLAP J., LANGOUCHE D., VAN RANST E. 2001: *Confrontation of the Forest Soil Condition Level I database with the Soil Geographical Database of Europe*. FSCC, Ghent, 53 pp.

http://www.icp-forests.org/pdf/FINAL_soil.pdf

http://www.icp-forests.org/Manual.htm

4. KLASIFIKACE PALEOPŮD ČESKÉ REPUBLIKY

4 Classification of Paleosols in the Czech Republic

Anna Žigová*

ABSTRAKT
Studie se zabývá řešením otázky, zda pro paleopůdy České republiky je třeba vytvořit samostatný klasifikační systém anebo je implementovat do stávající klasifikace. V první fázi bylo analyzováno zařazení paleopůd v různých klasifikačních systémech. Další část práce byla věnována výzkumu provedenému v krasových územích a vývoji půd na vápencích. Soubor použitých metod zahrnoval stanovení chemických vlastností půd, organické půdní hmoty, zrnitosti, makromorfologickou a mikromorfologickou charakteristiku. Bylo navrženo doplnění klasifikačního systému půd České republiky o tři referenční třídy, které budou zahrnovat paleopůdy. Jedna by obsahovala půdní typy *terra fusca* a *terra ross*a, další pak půdní typy *braunlehm* a *rotlehm* a do poslední by se zařadil půdní typ *ferretto.*
Klíčová slova: paleopůdy, klasifikace půd, referenční třídy, půdní typy

ABSTRACT
The study solves the problem of the classification of Paleosols in the Czech Republic: can they be implemented into the current classification or do they require an independent classification system? In the first stage, position of Paleosols in different classification systems was tested. Second part of the study presents results from karst areas and the development of soils on limestone. The applied set of methods includes the determination of chemical properties soils, soil organic matter, particle size distribution and macromorphological and micromorphological characteristics. We propose to supplement the present classification system for soils in the Czech Republic by three reference groups which would involve Paleosols. One reference group is proposed to be reserved for *terra fusca* and *terra rossa* soil types, another one for *braunlehm* and *rotlehm*, and the third one for *ferretto*.
Key words: Paleosols, classification of soils, reference groups, soil types

4.1 ÚVOD

Paleopůdy jsou nedílnou součástí půdního pokryvu. Jedná se fosilní a reliktní půdy, které se vyvíjely v pleistocénu a ve starších geologických obdobích. Půdy vyskytující se na některých územích jako reliktní a fosilní se v jiných oblastech, díky jinému spolupůsobení faktorů pedogeneze, mohou vyskytovat jako recentní.

Kubiëna (1956) klasifikuje půdy podle způsobu výskytu a vyděluje několik hlavních forem výskytu (autochtonní půdy, půdní sedimenty, autochtonní půdy na půdních sedimentech, autochtonní formy proměn). K nejdůležitějším formám výskytu z klasifikačního hlediska patří autochtonní půdy na primární matečné hornině zahrnující recentní, reliktní a fosilní půdy. Obecné schéma členění paleopůd na „*non-buried Paleosols*“ (reliktní půdy) a „*buried Paleosols*“ (fosilní půdy) bylo popsáno Brongerem a Cattem (1998).

Klasifikace Krasilnikova a García Calderóna (2006) se zabývá výhradně klasifikací fosilních půd a vychází z World Reference Base for Soil Resources (1998). Autoři uvádějí diagnostické charakteristiky, navrhují použití prefixu infra pro označení většiny horizontů, jako například infracambic horizon, infraspodic horizon, ale i samotných paleopůd (Infracambisols, Infrapodzols, atd.).

V německé klasifikaci (Wittmann *et al*., 1998) nacházíme třídu půd terrae calcis s půdními typy terra rossa a terra fusca, které odpovídají reliktním půdám a třídu paleopůd s půdními typy fersiallit a ferrallit. V rakouské klasifikaci (Nestroy *et al*., 2000) jsou vyděleny v třídě kalklehme půdní typy kalkbraunlehm, kalkrotlehm a typ reliktpseudogley v třídě pseudogleye. U půdních typů braunerde a parabrauerde jsou vyčleněny reliktní subtypy. Nettleton *et al*. (2000) navrhují zavedení paleosol orders jako například Paleoinceptisol, použití označení cryptic pro pohřbené a enduric pro reliktní půdy. V

* RNDr. Anna Žigová, CSc., Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6 - Lysolaje, ČR, e-mail: zigova@gli.cas.cz

Keys to Soil Taxonomy (2010) je problematika paleopůd řešena na úrovni subgroups přidáním prefixu pale.

Na území bývalého Československa je klasifikace paleopůd řešena rovněž různými způsoby. V Houbově práci (1970), pojednávající o půdních typech v typologickém průzkumu lesů, jsou popsány půdní typy terra fusca a terra rossa. Šály (1978) popisuje pouze terra calcis. Smolíková (1982a) v přehledu československých půd uvádí půdy typu terra fusca, terra rossa, braunlehm, rotlehm a ferretto. Němeček a Tomášek (1983) ve své práci uvádějí na úrovni půdních typů terrae calcis, braunlehm a rotlehm. Bedrna a Košťálik (1999) sestavili pro Slovensko klasifikaci fosilních půd a sedimentů starších než svrchní holocén, přičemž z ní byly vyloučeny reliktní půdy, které mohou být do jisté míry ovlivňovány antropogenní činností. V publikaci Tomáška (2007) je zmíněna pouze terra fusca. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (Němeček *et al.,* 2001) byl vypracován pro půdy recentní a problematika paleopůd je řešena okrajově.

Tento příspěvek je zaměřen na řešení otázky, zda pro paleopůdy České republiky je třeba vytvořit samostatný klasifikační systém anebo je implementovat do stávající klasifikace.

4.2. MATERIÁL A METODY

K řešení problematiky klasifikace byl použit soubor různých metod. Část práce týkající se půd typu braunlehm, rotlehm, ferretto a terra rossa byla řešena prostřednictvím literárních zdrojů.

Vlastní výzkum byl proveden v krasových územích a byl zaměřen na vývoj paleopůd typu terra fusca na vápencích. Pro charakteristiku pedogeneze byla využita reprezentativní stanoviště odrážející typické přírodní poměry. Soubor použitých metod zahrnoval makromorfologický popis, stanovení zrnitosti, pH, $CaCO_3$, kationtové výměnné kapacity, stupně sorpčního nasycení, celkového obsahu bazických kationtů, jednotlivých výměnných kationtů (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), C_{ox}, N_t, Fe_t, Fe_d a Fe_o. Pro popis barvy jednotlivých půdních horizontů byly použity standardní škály (Munsell Soil Color Charts, 2000). Mikromorfologická analýza orientovaných půdních výbrusů byla prováděna podle Smolíkové (1972a).

Počet lokalit, kde byl sledován vývoj půd na vápencích je poměrně rozsáhlý. Pro tuto studii byly vybrány reprezentativní půdní profily v autochtonní pozici nacházející se na území Moravského krasu (Hostěnice, Macocha) a Českého krasu (Plešivec). Půdotvorným substrátem sledovaných lokalit v Moravském krasu jsou vápence macošského souvrství (střední devon).

Lokalita Hostěnice (obr. 1) se nachází v nadmořské výšce 394 m. Stratigrafie profilu je následující:Ah-AhBr-Br-BrCrk.

Obr. 1 Hostěnice

Půdní profil na území Macochy (obr. 2) je situován v nadmořské výšce 463 m a má stratigrafii: Ah-AhBr-Br-BrCrk.

Obr. 2 Macocha

Půdotvorným substrátem paleopůdy nacházející se v Českém krasu (obr. 3) v nadmořské výšce 405 m jsou vápence pražského souvrství (spodní devon). Stratigrafie půdního profilu je následující: Ah-Br-BrCrk.

Obr. 3 Plešivec

4.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Ve studovaných paleopůdách typu terra fusca jsou patrné určité rozdíly v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí jak je patrné z výsledků v tab. 1.

Výrazně zrnitostně lehčí z hlediska zařazení na úrovní půdního druhu jsou Ah horizonty. Zrnitostně těžké jsou střední části profilů, a to zejména horizonty Br. V případě lokality Hostěnice, kde byl při makromorfologickém popisu zjištěn výrazně větší podíl makroskeletu v porovnání se dalšími půdami, je zřetelný podíl frakce 0,25-2,00 mm. Společným znakem všech studovaných profilů je vysoký podíl frakce <0,001 mm a zvýšený obsah částic 0,01-0,05 mm.

Tab. 1 Zrnitostní složení

Lokalita	Hloubka cm	<0,001 mm %	<0,01 mm %	0,01-0,05 mm %	0,05-0,25 mm %	0,25-2,00 mm %
Hostěnice	0-7	15,1	32,3	42,7	23,4	1,6
	7-24	41,6	60,3	30,6	7,2	2,0
	24-40	38,3	61,9	26,3	9,0	2,7
	40-80	19,0	25,7	16,9	16,7	40,8
Macocha	0-7	25,8	48,9	46,8	4,0	0,3
	7-15	25,3	46,1	47,4	5,9	0,5
	15-37	31,5	50,5	44,7	4,3	0,5
	37-75	34,2	52,4	42,0	4,8	0,8
Plešivec	0-9	17,0	42,7	34,3	19,7	3,3
	9-33	30,6	36,3	0,3	61,0	2,4
	33-74	31,2	58,7	27,9	3,0	10,4

Další parametry půd týkající se hodnot pH, obsahu $CaCO_3$, sorpčního komplexu půd a organické půdní hmoty jsou uvedeny v tab. 2 a 3. Evidentní je růst hodnot uhličitanů ve spodních částech profilu se zvýšeným obsahem skeletu vápence. Půdní reakce, vyjma lokality Macocha, kde byl zjištěn vyšší obsah drobného skeletu, je podstatně nižší pod horizontem Ah a pak má opět vzestupnou tendenci. Stupeň sorpčního nasycení v jednotlivých profilech koreluje s obsahem bazických kationtů. Stupeň sorpčního nasycení je nízký u profilu Hostěnice v hloubce 7-24 cm a u lokality Plešivec v hloubce 9-33 cm. Kationtová výměnná kapacita je nejvyšší v Ah horizontech, i když v případě Hostěnic je výrazně vyšší, což je zřejmě způsobeno vysokým obsahem organické půdní hmoty.

Tab. 2 pH, uhličitany a sorpční kapacita půd

Lokalita	Hloubka cm	pH_{H2O}	pH_{KCl}	$CaCO_3$ %	V %	S mmol/100g	KVK mmol/100g
Hostěnice	0-7	6,37	5,88		79	67,60	86,1
	7-24	4,78	3,61		30	8,80	29,3
	24-40	6,71	6,49	1,4	91	30,00	33,3
	40-80	7,31	7,20	60,0	100	17,10	17,1
Macocha	0-7	5,81	5,33		53	18,41	34,88
	7-15	6,59	6,03		68	22,58	33,05
	15-37	6,99	6,35		62	18,38	29,85
	37-75	7,52	6,86	0,3	99	23,56	23,76
Plešivec	0-9	5,79	5,30		70	26,20	37,20
	9-33	4,90	3,69		47	9,60	20,60
	33-74	7,65	7,07	18,8	100	20,30	20,30

V - stupeň sorpčního nasycení, S - obsah výměnných bazických kationtů, KVK - kationtová výměnná kapacita

Tab. 3 Výměnné kationty a půdní organická hmota

Lokalita	Hloubka cm	K^+ mmol/100g	Ca^{2+} mmol/100g	Mg^{2+} mmol/100g	C_{ox} %	N_t %	C/N
Hostěnice	0-7	0,62	74,77	4,47	13,92	1,01	13,76
	7-24	0,18	9,27	0,56	1,16	0,11	10,54
	24-40	0,23	34,07	0,61	1,36	0,14	9,71
	40-80	0,14	21,12	0,43	0,24	0,05	4,80
Macocha	0-7	0,30	33,97	2,13	9,33	0,37	25,08
	7-15	0,26	33,77	3,41	2,29	0,21	11,17
	15-37	0,29	29,15	0,62	1,19	0,12	10,08
	37-75	0,26	27,62	0,58	0,78	0,08	9,75
Plešivec	0-9	0,66	23,51	1,46	2,02	0,46	4,39
	9-33	0,25	7,99	0,41	0,97	0,09	10,78
	33-74	0,30	23,18	0,64	0,57	0,05	11,40

K^+ - výměnný draslík, Ca^{2+} - výměnný vápník, Mg^{2+} - výměnný hořčík, C_{ox} - organický uhlík, N_t - dusík

Studované profily v Moravském krasu mají vyšší obsah výměnného hořčíku. Rozdíly v zastoupení výměnného vápníku a draslíku, ale nejsou tak zřetelné. Obsah organického uhlíku je vždy nejvyšší v Ah horizontech a výrazně klesá v následujících horizontech, což platí i pro profilové zastoupení dusíku. Celkový podíl organické půdní hmoty je vyšší u lokalit Moravského krasu a pravděpodobně souvisí s druhovým složením vegetace a podmínkami rozkladu opadu. Jedním z doporučovaných kritérií hodnocení kvality organické půdní hmoty je poměr C/N. Podle tohoto kritéria je hodnota zásobenosti dusíkem Ah horizontu na lokalitě Hostěnice velmi nízká. Velmi nepříznivé hodnoty má podle daného kritéria lokalita Macocha. Naopak u lokality Plešivec je zásobenost dusíkem vysoká.

V tab. 4 jsou prezentovány údaje o barvě horizontů, celkovém obsahu železa a jeho volných formách, které poskytují určité informace spojené s procesy rubifikace u daných paleopůd. Výrazný je barevný přechod podle hodnot Munsella. Barvy Br horizontů mají hodnoty 5YR. U recentních půd u horizontů Bv, případně Bs se tato škála pohybuje v rozmezí 7.5YR. Ve všech případech je patrný nárůst celkového železa, ale i krystalických forem (Fe_d).

Tab. 4 Barva a formy železa v půdě

Lokalita	Hloubka cm	Barva za vlhka	Barva za sucha	Fe_t %	Fe_d %	Fe_o %	Fe_d/Fe_tx100	Fe_o/Fe_tx100
Hostěnice	0-7	10YR 2/2	10YR 2/1	1,78	1,07	0,24	60,11	13,48
	7-24	5YR 5/6	5YR 6/6	2,96	1,67	0,28	56,42	9,46
	24-40	5YR 4/4	5YR 5/4	3,52	1,87	0,29	53,12	8,24
	40-80	5YR 5/4	5YR 6/8	1,26	0,82	0,07	65,08	5,55
Macocha	0-7	10YR 2/2	10YR 4/3	2,44	1,28	0,18	52,56	7,47
	7-15	5YR 3/3	5YR 5/4	2,63	1,35	0,19	51,12	7,02
	15-37	5YR 4/6	5YR 5/6	2,76	1,38	0,18	50,07	6,46
	37-75	5YR 5/6	5YR 6/8	3,02	1,61	0,21	54,43	6,86
Plešivec	0-9	10YR 2/1	10YR 5/2	2,40	1,36	0,20	56,67	8,33
	9-33	5YR 6/8	5YR 7/6	2,89	1,71	0,16	59,17	5,54
	33-74	5YR 5/8	5YR 6/6	3,00	1,75	0,16	58,33	5,33

Fe_t - celkový obsah železa, Fe_o - oxalátová forma železa, Fe_d - dithioničitanová forma železa

Důležité z hlediska studia paleopůd je mikromorfologické studium. Pro Ah horizonty je typický vysoký podíl slabě rozloženého opadu. Charakteristická je zejména skladba Br horizontů tvořeného braunlehmovým stavebním plazmatem červenohnědé barvy, přičemž v jednotlivých půdách je rozdílné zastoupení drobných braunlehmových konkrecí. Z mikroskeletu je převládající složkou křemen. Ve spodních částech profilů je výrazně zastoupen mikroskelet s přítomností úlomků vápence. Vůdčím pedogenetickým procesem je rubifikace, kdy v první fázi dochází k současnému zvětrávání vápenců a alochtonní složky, která může být eolického nebo jiného původu. Procesy rubifikace vyžadují výrazně jiné klimatické podmínky než jsou současné, a proto se terra fusca vyskytuje na území České republiky jako reliktní.

Hodnocený soubor půd se zejména barvou jednotlivých horizontů, zrnitostním složením, distribucí volných forem železa a mikromorfologickými znaky výrazně odlišuje od recentních půd a lze je hodnotit jako reliktní půdy, to znamená paleopůdy zachované na povrchu. Na území Českého krasu byly provedeny i další studie zabývající se problematikou mineralogického složení a geneze půd typu terra fusca (Žigová *et al.,* 1999; Žigová, 2000; Žigová a Šťastný, 2000; Žigová *et al.,* 2009). V současné době je obtížné jejich zařazování jak do stávajícího klasifikačního systému půd České republiky, tak i do World Reference Base for Soil Resources (2007). V národním klasifikačním systému nacházíme rubifikovaný horizont Br i rubifikované subtyty v rámci půdních typů rendzina, pararendzina, hnědozem, luvizem a kambizem. Z toho lze usuzovat, že vůdčím pedogenetickým procesem u výše zmíněných půd nebude proces rubifikace, ale jiné půdotvorné procesy v závislosti na referenční třídě daných půdních typů. V takto postavené klasifikaci lze spíše předpokládat, že se jedná o půdy vyvinuté z půdních sedimentů, což je rovněž možné. Dosažené výsledky však ukazují, že procesy rubifikace nejsou plně totožné s jinými pedogenetickými procesy, u půd nacházejících se v autochtonní poloze. Výskyt procesů rubifikace není ojedinělý a je významný i z hlediska vývoje půdního pokryvu a klimatu na území České republiky.

V literatuře nacházíme četné odkazy na půdní typy, které se na našem území vyskytují jako reliktní a fosilní půdy se specifickou pedogenezí a které podle jejich popisu nelze zařazovat do

klasifikačního systému. Souborně je o těchto půdách pojednáno v paleopedologické části publikace Němečka *et al.,* (1990).

Problematikou půd typu terra fusca a terra rossa se ve svých pracích zabývají Pelíšek (1939, 1984) a Smolíková (1963a, 1963b). Četné jsou i práce o braunlehmech a rotlehmech. Velká část výzkumu týkající se těchto půd byla provedena Smolíkovou (například 1972b, 1975, 1982b, 1984). Stěžejní problémy týkající se geneze, výskytu a charakteristických znaků půd typu ferretto půd řešili Smolíková (1974), Smolíková a Zeman (1982), Bezvodová (1987) a Bezvodová a Zeman (1987).

Možností, jak řešit otázku půd typu terra fusca, terra rossa, braunlehm, rothlehm a ferretto, které se v České republice vyskytují jako reliktní nebo fosilní, je více. Stěžejními jsou však dvě možnosti. Jednou z nich je vytvořit samostatnou klasifikaci pro paleopůdy, která by obsahovala již zmíněné půdy, ale i další, jako jsou například černozem, hnědozem, luvizem, které se vyskytují v sprašových sériích. Druhou možností, která je preferována, je zařazení těchto půd do Taxonomického klasifikačního systému půd. Paleopůdy jsou ve většině případů polygenetické, avšak v klasifikačním systému jsou takové půdy reprezentovány pseudoglejem. Výskyt andozemí, které jsou rovněž v klasifikaci půd, byl popsán pouze ojediněle (Holuša, 2003). Dalším důvodem proč rozšířit klasifikační systém o další referenční třídy a půdní typy je, že se v současnosti vyvíjí i mimo území České republiky a mají své místo i v některých národních klasifikacích, jak bylo zmíněno výše. V současné době by se podle dosavadních poznatků jednalo o rozšíření klasifikace o další tři referenční třídy. Zařazení půd terra fusca a terra rosa již bylo navrhováno (Žigová, 2004). Otázkou zůstávají názvy nových referenčních tříd a případně jednotlivých subtypů.

4.4 ZÁVĚR

Půda je otevřený systém a v případě prokazatelného výskytu určitého půdního typu by měla být deklarována možnost jeho vložení do systému. S ohledem na skutečnost, že paleopůdy mohou být součástí zemědělského i lesního půdního fondu je řešením doplnění klasifikačního systému o další referenční třídy a půdní typy. V současné době by se jednalo o rozšíření o další tři referenční třídy, kdy první by zahrnovala půdní typy terra fusca a terra rossa, další by obsahovala půdní typy braunlehm a rotlehm a do poslední by se zařadil půdní typ ferretto.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantem GA ČR č.526/08/0434 a je součástí výzkumného záměru AV0Z30130516 Geologického ústavu AV ČR, v.v.i.

Literatura

BEDRNA Z., KOŠŤÁLIK J. 1999. Klasifikácia fosílnych pôd a pôdnych sedimentov Slovenska. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava.

BEZVODOVÁ B. 1987. Ferreto soils at the southeastern margin of the Bohemian Massif - a mineralogical and geochemical characterization and its application in stratigraphy. *Chemical Geology,* 60: 331-335.

BEZVODOVÁ B., ZEMAN A. 1987. Mineralogical and geochemical characterisics of ferretto soils. Sborník geologických věd. *Antropozoikum,* 18: 73-101.

BRONGER A., CATT J.A. 1998. The position of paleopedology in geoscience sand agricultural sciences. *Quaternary International*, 51/52: 87-93.

FAO-ISRIC-IUSS 1998. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Report* 84. FAO-ISRIC-IUSS. Rome.

HOUBA A. 1970. *Půdní typy a nižší taxonomické jednotky typologického průzkumu lesů*. MS. ÚHUL. Brandýs nad Labem.

HOLUŠA O. 2003. Nález andozemě v Národní přírodní památce Velký Roudný (Nízkojesenický bioregion, Čeká republika). *Práce a studie Muzea Beskyd (Přírodní vědy)* 13: 221-223.

IUSS WORKING GROUP WRB 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports* 103. FAO. Rome.

KUBIËNA W. L. 1956. Zur Methodik der Paläopedologie. *Actes du IV. Congrès International du Quarternaire* (Roma-Pise, Août-Septembre 1953), v. I : 297-305.

KRASILNIKOV P., GARCIA CALDERON N.E. 2006. A WRB-based buried paleosol classification. *Quaternary International* 156-157: 176-188.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS 2000. Revised Washable Edition. Munsell Color.

NĚMEČEK J., TOMÁŠEK M. 1983. Geografie půd ČSR. *Studie ČSAV*, 23. Academia. Praha.

NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M. 1990. *Pedologie a paleopedologie.* Academia. Praha.
NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd ČR,*. ČZU, VÚMOP, Praha.
NESTROY O., DANNEBERG O. H., ENGLISH M., GEěL A., HAGER H., HERZBERGER E., KILIAN W., NELHIEBEL P., PECINA E., PEHAMBERGER A., SCHNEIDER W., WAGNER J. 2000. Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft.* Heft 60. Wien.
NETTLETON W.D., OLSON C.G., WYSOCKI D.A. 2000. Paleosol classification: Problems and solution. *Catena*, 41: 61-92.
PELÍŠEK J. 1939. Červenozemě či terra rossa v jižní části Moravského krasu. *Příroda,* XXXII (9): 298-301.
PELÍŠEK J. 1984. Fosilní terra fusca v krasových oblastech Moravy. *Československý kras,* 34: 49-55.
SMOLÍKOVÁ L. 1963a. *Půdy ze skupiny terrae calcis v Československu.* Kandidátská disertační práce. MS. Univerzita Karlova. Praha.
SMOLÍKOVÁ L. 1963b. Stratigraphische Bedeutung der Terrae calcis-Böden. *Antropozoikum,* 1: 101-121.
SMOLÍKOVÁ L. 1972a. Hlavní mikromorfologické znaky půd. *Časopis pro mineralogii a geologii,* 17: 87-93.
SMOLÍKOVÁ L. 1972b. Genesis of fossil soil types in the loess series of Czechoslovakia. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 2: 45-48.
SMOLÍKOVÁ L. 1974. On the genesis, occurence and age of the soils of ferreto type in Czechoslovakia. *Rostlinná výroba*, 20 (XLVII): 475-487.
SMOLÍKOVÁ L. 1975. Reliktní braunlehm cromerského stáří v Suchdole u Prahy. *Časopis pro mineralogii a geologii*, 20: 393-404.
SMOLÍKOVÁ L. 1982a. *Pedologie II.* Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
SMOLÍKOVÁ L. 1982b. Zur Genese mittelpleistozäner Böden auf dem Hügel Červený kopec bei Brno. *Věstník Ústředního ústavu geologického,* 57 (3): 169-178.
SMOLÍKOVÁ L. 1984. On the Development of Pleistocene Soils in Czechoslovakia. In: Pécsi M. (Ed.) *Lithology and stratigraphy of Loess and Paleosols*, Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, 33-38.
SMOLÍKOVÁ L., ZEMAN A. 1982. Bedeutung der Ferretto-Böden für die Quartärstratigraphie. *Sborník geologických věd. Antropozoikum,* 14: 57-93.
SOIL SURVEY STAFF 2010. *Keys to Soil Taxonomy, 11th edition*. USDA - Natural Resources Conservation Service. Washington. DC.
ŠÁLY R. 1978. *Pôda základ lesnej produkcie*. Príroda, Bratislava.
WITTMANN O., ALTERMANN M., KÜHN D. (Eds.) 1998. Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschland, *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 86: 1-180.
TOMÁŠEK M. 2007. *Půdy České republiky.* Česká geologická služba, Praha.
ŽIGOVÁ A. 2000. Role of the Climatic Factor in Soil Formation at Boubová (Bohemian Karst, Czech Republic). *Geolines,* 11: 96-98.
ŽIGOVÁ A. 2004. Evoluce půdního pokryvu Českého krasu ve vztahu k pedodiverzitě a klasifikačnímu systému půd. In: Rohošková M. (Ed.) *Sborník z konference na téma Pedodiverzita*. 20.-21. října. Pedologické dny 2004. Roztoky u Křivoklátu, 69-75.
ŽIGOVÁ A., MATOUŠEK V., ŠŤASTNÝ M. 1999. Pedogenesis of a polycultural archaeological site in the Bohemian Karst (Czech Republic). In: Bech J. (Ed.) *Extended abstracts. 6th International Meeting on Soils with Mediterranean type of Climate.* 4-9 July 1999. Barcelona, 600-602.
ŽIGOVÁ A., ŠŤASTNÝ M. 2000. Soil cover of Přední Kobyla site (Bohemian Karst) genesis: Role of clay minerals. Scripta Facultatis Scientarium Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis, *Geology,* 28-29/1998-1999: 117-124.
ŽIGOVÁ A., ŠŤASTNÝ M., KREJČOVÁ J. 2009. Clays minerals in soils formed on limestonnes in the southwest part of Prague, Czech. 167. In: Krupskaya V., Lessovaia S., Zaitseva T., Wilson L. (Eds.): *International Conference „Clays, Clays Minerals and Layered Minerals - CMLM2009*. September, 2009. Zvenigorod, Moscow Region, Russia, 21-25.

5. NÁVRH INOVÁCIE SKUPINY ANTROPOGÉNNYCH PÔD V MKSP 2000 (DEFINÍCIA, DIAGNOSTIKA, KLASIFIKÁCIA)

5 A proposal for anthropogenic soil group innovation in the MSCS 2000 (definition, diagnostics, classification)

Jaroslava Sobocká*

ABSTRAKT
Príspevok sa zaoberá charakteristikou skupiny pôd antropogénnych, vrátane redefinície pojmu pôda. Pre procesy pôsobiace v antropogénnych pôdach sa diskutuje problematika pozitívnych a negatívnych antropogénnych procesov, čím sa charakteristika skupiny antropogénnych pôd komplikuje. V dôsledku zmeneného chápania diagnostiky diskutujeme kultizemný a antrozemný pôdny horizont a ich variety. Súčasne navrhujeme zaradenie antropogénnej formy do systému MKSP pre všetky pôdne typy. Pre klasifikáciu kultizemí sa navrhujú len nepatrné zmeny. Ide o pomerne dobre definovanú a konsolidovanú skupinu pôd dobre rozlíšiteľnú v terénnom prieskume. Ide o začlenenie nového pôdneho subtypu do systému – kultizem antrozemná, ktorá je prechodným subtypom k antrozemiam. Pre skupinu antrozemí sa predkladajú podstatnejšie zmeny založené na novej diagnostike. Predkladáme návrh na zaradenie pojmu „antropogénne premiestneného materiálu“ (vrátane jeho charakteristiky) do systému diagnostických horizontov, vrstiev a znakov pôd. Okrem už zavedených pôdnych subtypov (iniciálny, rekultivačný) sa navrhujú ďalšie, ktoré boli zistené v teréne alebo popísané v literatúre. Z ďalších subtypov sa navrhuje antrozem reduktomorfná s prítomnosťou antropogénne vzniknutých redukčných plynných zložiek (môže byť kategorizovaná ako pôdna varieta). Na diskusiu budú predložené aj antrozem oglejená a antrozem glejová ako dôsledok pôsobenia hydromorfných procesov. K najviac diskutovaným problémom bude taxonomická úroveň skeletnatých pôd (napr. odpadový materiál z metalurgického priemyslu) a pôdy s výskytom povrchovej dlažby (ekranické pôdy).
Kľúčové slová: antropogénna pôda, klasifikácia pôd, taxonomická úroveň, antropogénne premiestnený materiál

ABSTRACT
The paper deals with the characteristics of the anthropogenic soils, including the redefinition of the term soil. For processes acting in anthropogenic soils the issue of positive and negative anthropogenic affects is discussed, what with characteristics of anthropogenic soil group is more complicated. Due to changing understanding of the diagnostics there is a discussing about cultizemic and anthrozemic soil horizons and their varieties. At the same time, we propose the ordering of the anthropogenic form into the MKSP system for all soil types. For Cultizems classification there are proposed only minor changes. It is relatively well defined and well-consolidated group well recognizable in field surveys. It is the ordering of a new soil subtype of the soil into the system – Cultizem Anthrozemic, who is an intergraded subtype to the Anthrozems. Substantial changes based on the new diagnostics are proposed for the group Antrozems. This is a suggestion to include the term "human-transported material" with its characteristics into the system of soil diagnostic horizons, layers and features. In addition to the already involved soil subtypes (initial, recultivated) there are further proposals that was found at field survey or having described in the literature. From the other subtypes there is proposed reductomorphic Anthrozem with presence anthropogenic gaseous components (it would be categorized like soil variety). For discussion the Anthozem pseudogleyic and Anthrozem gleyic will be presented as a result of hydromorphic processes affects. The most discussed issue is the taxonomic level of skeletal soils (e.g. from metallurgical waste material industry) and soils with superficial pavement (ecranic soils).
Key words: anthropogenic soil, soil classification, taxonomic level, human-transported material

* doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: e-mail: j.sobocka@vupop.sk

5.1 ÚVOD

Klasifikácia pôd je proces (postup, procedúra) zoskupovania pôdnych objektov do viac alebo menej homogénnych skupín, pri ktorom sa rešpektujú dopredu dohodnuté a definované kritériá. Desiata skupina pôd antropických v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd SR (Kolektív 2000) (ďalej len MKSP 2000) zahrňuje pôdy s výrazným antropickým (kultivačným či degradačným) pôdotvorným procesom. Túto skupinu pôd tvoria dva pôdne typy: kultizem (s dominantným kultizemným Ak-horizontom) a antrozem (s dominantným Ad-horizontom) bez ďalších diagnostických horizontov alebo len s ich náznakmi.

Treba poznamenať, že táto skupina pôd je najslabšie spracovanou a diagnostikovateľnou skupinou pôd v MKSP 2000, čo je podmienené niekoľkými faktami:

- výskum a vývoj týchto pôd je pomerne mladou disciplínou klasifikácie pôd bez výrazného historického zázemia;
- pôdne, morfologické, fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti týchto pôd sú pomerne málo preštudované, preto diagnostika pôd je slabo preukazná, alebo sa opiera o diagnostiku a klasifikáciu iných (rozvinutejších) klasifikačných systémov (najmä WRB 2006);
- výskum týchto pôd je komplikovaný riešením problémov pôda – nepôda, nakoľko v niektorých klasifikačných systémoch (WRB 2006) sa chápanie pôdy rozširuje na tzv. „epidermu Zeme“, čo nemusí byť pôda v klasickom chápaní pôdoznalcov, ale mapová jednotka, ktorá zahrňuje aj územia pokryté asfaltom, betónom, a dlažbou;
- klasifikácia a mapovanie týchto pôd nie je jednoduché, pretože musí počítať so zastavanými prvkami urbanizácie miest a obcí (mapovanie tzv. „pedo-urbánnych komplexov“ (Sobocká a kol., 2007).

Vzhľadom na uvedené fakty je potrebná určitá revízia či detailnejšie dopracovanie diagnostiky a klasifikácie skupiny antropických pôd predovšetkým pre pripravovanú revidovanú verziu Morfogenetického klasifikačného systému pôd SR (2000). Táto požiadavka je naliehavá aj preto, že v najnovšom vydaní svetovej referenčnej bázy (IUSS Working group WRB, 2006) i v revidovanej verzii (IUSS Working group WRB, 2007) je okrem pôdnej referenčnej skupiny antrosolov uvedená aj referenčná skupina technosolov, ktorej definícia pôdy, diagnostika a charakteristika subtypov je v mnohých aspektoch revolučná. V príspevku sa nebude prejednávať charakteristika antropogénnych substrátov, hoci tieto veľmi úzko súvisia s diagnostikou antrozemí. Táto téma si zaslúži samostatný príspevok..

5.2 MATERIÁL A METÓDY

Pre riešenie zadaného cieľa sme sa zaoberali charakteristikou skupiny pôd antropických (navrhujeme antropogénnych), vrátane redefinície pojmu pôda. Diskutujeme problematiku antropogénnych procesov, na základe čoho sa charakteristika skupiny antropogénnych pôd rieši oveľa detailnejšie a komplikovanejšie. V rámci definície pôdnych horizontov a znakov navrhujeme zaviesť a definovať nový pojem „vrstva premiestneného (antropogénneho) materiálu = *human transported material*“. Podľa navrhovaného zmeneného chápania diagnostiky diskutujeme kultizemný a antrozemný pôdny horizont a ich charakteristiku a variety ako aj návrh na rozdelenia skupiny pôd antropických.

Ako podklad pre riešenie sme zvolili štúdium niekoľkých klasifikačných systémov, ktoré sú uvedené v prácach Sobocká (2008a, 2008b, 2008c), preštudovali sme ruský klasifikačný systém pôd (Šišov *et al*., 2001) vrátane systému kategorizácie technogénnych povrhových útvarov (Tonkonogov, Lebedeva, 1999), francúzsky klasifikačný systém pôd (Blaize *et al.*1998), systematiku pôd a pôdotvorných substrátov Nemecka (DBG, 1998) a antroposoly v Taxonomickom klasifikačnom systéme pôd ČR (Němeček a kol., 2001). Zaujímavé boli aj návrhy Rossitera (2007) a Lehmanna, Stahra (2007).

Najviac skúseností sme čerpali zo svetového referenčného systému pôd sveta (IUSS WG WRB, 2006) a jej revidovanej verzie (2007), kde sa hlavne skupina technosolov riešila pomerne progresívnym spôsobom a doteraz je v pôdoznalekej komunite prijímaná dosť zdržanlivo až odmietavo. Pôdne antropogénne skupiny sme podrobili korelácii porovnaním pôdnych typov dvoch klasifikačných systémov pôd: kultizemí (MKSP 2000) a antrosolov (WRB 2006) (Sobocká, 2008c) ako aj antrozemí (MKSP 2000) a technosolov (WRB 2006) (Sobocká, 2008a, 2008b).

Len stručne uvedieme základnú charakteristiku jednotlivých pôdnych typov, nakoľko tieto sú dostupné v citovaných literatúrach.

Kultizeme (MKSP 2000) sú pôdy majúce melioračné pretvorenie pôdneho profilu rôznou fyzikálnou, chemickou a biologickou kultiváciou (kultizemný Akm-horizont) a to záhradkárstvom, rigolovaním, terasovaním, ap. Všetky tieto ľudské činnosti zlepšujú pôdne vlastnosti a zvyšujú produkčné predpoklady. Tieto pôdy môžeme identifikovať len v poľnohospodárskej krajine s dlhodobou kultiváciou ako pôdy hlboko transformované, záhradné pôdy, alebo pôdy špeciálnych kultúr ako sú vinice, sady. Pôdy sa vyznačujú hlbokým pretvorením pôdneho sola a homogenizáciou pôdneho profilu.

Antrosoly (WRB 2006*)* (z gréc. *anthropos* = ľudský) sú pôdy s charakteristikami, ktoré sú výsledkom ľudských aktivít. Sú modifikované do určitej hĺbky profilu a zahrňujú dodanie organických látok alebo domáceho odpadu do pôdy, zavlažovanie a zúrodňovanie. Skupina zahrňuje pôdy inak známe ako: plaggenové pôdy, ryžové pôdy (*paddy soils*), oázové pôdy, Terra Preta do Indo (Brazília), agrozeme (Rusko), terestrické antropogénne pôdy (Nemecko), antroposoly (Austrália) a antrosoly (Čína). Sú tvorené na prakticky akomkoľvek pôdotvornom materiáli, ktorý je modifikovaný dlhodobou kultiváciou alebo dodaním iného materiálu. Vo vývoji profilu je vplyv človeka obvykle ohraničený na povrchové horizonty.

Antrozeme (MKSP 2000) sú chápané ako človekom vytvorené pôdy (*man-made soils*) s antrozemným diagnostickým Ad-horizontom vyvinutým z antropogénne premiestneného materiálu. Hlavným diferenciačným kritériom pre antrozeme je premiestnený antropogénny materiál („ex-situ materiál“ rozdelený do troch podskupín: prírodný premiestnený materiál, prírodno-technogénny a technogénny materiál (Sobocka *et al*., 2000). Z neho sa postupne vyvíja iniciálny povrchový horizont, avšak vzhľadom na krátky čas pôdotvorby je menej výrazný je navozená rekultivačná vrstva pôdneho materiálu.

Technosoly (WRB 2006) (z gréc. *technos* = zručný) sú definované ako pôdy so silným pôsobením človeka s diagnostikou danou určitým obsahom artefaktov. Vlastnosti a pedogenéza technosolov sú dané ich technickým pôvodom, okrem významného obsahu artefaktov môžu byť pokryté technickou horninou (tzv. geomembránou). Tvoria pôdy z odpadov (výplne krajiny, kaly, škvara, banská hlušina a popolčeky), z dlažby s podložným nekonsolidovaným materiálom (geomembránou) a pôdy vytvorené z človekom vytvorených materiálov. Treba ich odlíšiť od Antrosolov, ktoré predstavujú pôdy s dlhodobým a intenzívnym poľnohospodárskym využívaním.

5.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

5.3.1 Objekt klasifikácie pôd

Objektom klasifikácie MKSP 2000 (Kolektív, 2000) je pôda ako najvrchnejšia časť zemskej kôry, ktorá vzniká na styku a za pôsobenia biosféry, atmosféry, litosféry a hydrosféry a s ktorými má sústavnú látkovú a energetickú výmenu. Umožňuje rast rastlín a ďalšie funkcie. Ostatné časti zemského povrchu pôdou v tomto ponímaní nie sú. Treba poznamenať, že táto definícia predmetu klasifikácie v MKSP 2000 nezahrňuje objekty pod silným antropickým (či antropogénnym vplyvom). To znamená, že kultizeme a antrozeme by tam ani nemali byť. Do definície navrhujeme doplniť antroposféru (noosféru), pretože sa domnievame, že človek je tiež pôdotvorný činiteľ, hoci trochu iným spôsobom ako atmosféra biosféra, litosféra či hydrosféra.

V tomto chápaní navrhujeme spresniť definíciu pôdy: „Pôda je najvrchnejšia časť zemskej kôry, ktorá vzniká na styku a za pôsobenia biosféry, atmosféry, litosféry, hydrosféry, s ktorými má sústavnú látkovú a energetickú výmenu a môže byť výrazne ovplyvňovaná prvkami antroposféry (noosféry)“.

V súvislosti s večnou pôdoznaleckou otázkou pôda – nepôda prišiel Nachtergaele (2005) s originálnou formuláciou definície pôdy. Navrhuje uvažovať tzv. epidermu Zeme (epidermický materiál), kedy pôdoznalec môže pomenovať všetky telesá na povrchu Zeme, ktoré vytvárajú prienik medzi atmosférou, hydrosférou, litosférou, biosférou a antroposférou, čo je z hľadiska pôdnej klasifikácie a mapovania veľká výhoda. Treba poznamenať, že v jeho verzii sa už uvažuje s antroposférou. Definícia značne rozširuje chápanie pôdy ako povrchového útvaru Zeme, ktorú definuje štyrmi triedami, z nich dve sa nazývajú „materiály“ a ďalšie dve sú pôdy v tradičnom zmysle. Čo je dôležité – všetky triedy možno ucelene klasifikovať a mapovať.

Je však otázka – ak pôdoznalec sa má zaoberať len pôdou v tradičnom zmysle, kto sa bude zaoberať povrchovým útvarom nepôdy – geológovia, geografi? Treba si uvedomiť, že faktor času môže túto nepôdu za niekoľko storočí, či tisícročí pretvoriť na pôdu. Dôkazom sú pochované archeologické náleziská miest veľkých civilizácií pod hrubými pôdnymi vrstvami.

Tento progresívny prístup prijalo aj najnovšie vydanie World Reference Base (IUSS Working group WRB, 2006), ktorý definuje objekt klasifikácie ako „akýkoľvek materiál do 2 m od zemského povrchu, ktorý je v kontakte s atmosférou s vylúčením vyšších živých organizmov, území so súvislým ľadom a vodných plôch“. Definícia takto zahrňuje súvislé horniny a materiály, dláždené a asfaltové urbánne pôdy, pôdy priemyselných území, jaskynné pôdy a subakválne pôdy do 2 m.

5.3.2 Korelácia skupín antropogénnych pôd (MKSP 2000 a WRB 2006)

Treba poznamenať, že definícia, diagnostika a klasifikácia kultivovaných antropogénnych pôd viacerých medzinárodných klasifikačných systémov je lepšie porovnateľná než skupina pôd antrozemných (technogénnych) (Sobocká, 2008a). V tomto ohľade môžeme nájsť mnoho porovnateľných analógov, napr. kultizeme záhradné v MKSP 2000 sú porovnateľné českými s hortickými kultizemami (Němeček a kol., 2001), s hortisolmi v nemeckej klasifikácii pôd (DBG, 1998), s hortickými transformovanými antroposolmi vo francúzskom systéme pôd (Blaize, 1998) alebo s hortickými antrosolmi vo WRB 2006. Súčasné členenie skupiny antropických pôd v MKSP 2000 je podobné ako vo WRB 2006 (Tab. 1)

Tab. 1 Porovnanie pôdnych skupín MKSP 2000 a WRB 2006

Definície: MKSP 2000	**Definície: WRB 2006**
Skupina pôd antropických: s výrazným antropickým (kultivačným či degradačným) pôdotvorným procesom	Referenčná pôdna skupina: pôdy so silným ľudským ovplyvnením
Kultizeme: pôdy s dominantným kultivačným Ak-horizontom bez ďalších diagnostických horizontov, alebo ich náznakmi	Referenčná pôdna skupina: Antrosoly: pôdy s dlhodobým a intenzívnym poľnohospodárskym využívaním
Antrozeme: pôdy s dominantným antrozemným Ad-horizontom bez ďalších diagnostických horizontov, alebo ich náznakmi	Referenčná pôdna skupina: Technosoly: pôdy obsahujúce množstvo artefaktov

Korelácia oboch systémov MKSP 2000 a WRB 2006 priniesla niekoľko zaujímavých výsledkov (Sobocká, 2008a, 2008c):

- Skupina antropogénnych pôd MKSP 2000 (kultizeme a antrozeme) je v zhode s pôdnymi skupinami pôd WRB 2006 „silne ovplyvnených človekom“ (antrosoly a technosoly).
- Obe pôdne skupiny sú svojimi diagnostikou i pôsobením ľudských natoľko odlišné, že si zasluhujú odlíšenie, t.j. vytvoriť skupinu pôd kultizemných a skupinu pôd technozemných Podobné je to aj vo WRB 2006. Skutočnosť, že sa v skupinách vyskytuje len jeden pôdny typ je zapríčinené nedostatočným štúdiom týchto pôd a chýbajúcimi detailnejšími diagnostickými kritériami. V týchto skupinách sa nevylučuje možnosť ich doplňovania ďalšími pôdnymi typmi.
- Názov antropický sa v pôdoznaleckých klasifikáciách nepoužíva, preto ho navrhujeme zmeniť na antropogénny, t.j. skupina pôd antropogénnych.

5.3.3 Korelácia kultizemí (MKSP 2000) a antrosolov (WRB 2006)

Korelácia diagnostických horizontov kultizemí a antrosolov (Sobocká, 2008c) bola pomerne slabá v dôsledku odlišne stanovených kritérií. Zhoda bola pri antrickom horizonte (WRB 2006) v dvoch diagnostických znakoch (znaky kultivácie a prímes agrochemikálií), v ďalších bolo potrebná detailizácia (určenie farby a hrúbky horizontu).

Nezhoda bola v hĺbke kultivovaného Akm-horizontu >35 cm verzus >50 cm. To znamená, že kultizem je možné porovnať s antrosolmi jedine v tom prípade, ak spĺňa podmienku hrúbky horizontu

50 cm a viac. Ak táto podmienka nie je splnená, pôdy sa klasifikujú ako regosoly (ochrický horizont), alebo černozeme, molické fluvisoly (molické horizonty) alebo iné pôdne typy. Z tohto hľadiska treba prehodnotiť diagnostické charakteristiky agrogénnej transformácie – to nie je len hĺbka orby, ale aj proces dodávania organo-minerálnych hnojív a kompostu do pôdy, výskyt artefaktov, fertilizačné aktivity (pesticídy, vápnenie, minerálne hnojivá). V charakteristike diagnostického kultizemného horizontu je diskutabilný obsah organického C > 0,3 %, v kultizemiach mal by byť oveľa vyšší – typický.

Novo definovaný antrický horizont vo WRB 2006 je porovnateľný s kultizemným ornicovým Akp-horizontom, tento však musí spĺňať farebné kritérium molického a umbrického horizontu. Pre naše ornicové horizonty platia aj farby ochrického resp. melanického horizontu.

Podobne porovnanie kultizemného melioračného Akm-horizontu je slabé s hortickým, resp. terrickým diagnostickým horizontom. Vo WRB 2006 sú antrosoly len tie, ktoré majú s hortický, plaggický alebo terrický horizont (okrem horizontov vlhkej kultivácie).

Pre ilustráciu uvádzame príklad korelácie kultizemí s antrosolmi. Vlastnosti sú najlepšie charakterizované na úrovni tzv. *qualifiers*, t.j. vlastností pôd vo forme prefixov alebo sufixov (Tab. 2).

Tab. 2 Korelácia kultizemí (MKSP 2000) a antrosolov (WRB 2006)

Kultizem v MKSP 2000	**Antrosol vo WRB 2006**
Pôdny typ: **Kultizem** (pre zaradenie do antrosolov platí pre všetky subtypy kritérium > 50 cm, inak sú pôdy zaradené do regosolov, resp. iných pôdnych typov)	Referenčná pôdna skupina: **Antrosol** (s hortickým, plaggickým alebo terrickým horizontom s hrúbkou > 50 cm a viac)
Kultizem modálna (KTm)	Regický Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem černozemná (KTb)	Hortický Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem čiernicová (KTč)	Hortický Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem hnedozemná (KTh)	Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem luvizemná (KTl)	Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem kambizemná (KTk)	Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem pseudoglejová (KTg)	Stagnický Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem glejová (KT_G)	Gleyický Antrosol (Arenický, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem slanisková (KTs)	Salický Antrosol (Arenic, alebo Siltický, alebo Clayický)
Kultizem slancová (KTc)	Antrosol (Sodický, Arenický, alebo Siltický alebo Clayický)
Variety: Nasýtená Kyslá Karbonátová Alkalická Kontaminovaná	*Prefixy alebo sufixy:* Sufix Eutrický Sufix Dystrický Sufix Kalkarický Sufix Alkalický Sufix Toxický
Formy: Záhradná Rigolovaná Terasovaná ---	*Prefixy alebo sufixy:* Hortický --- Eskalický Terrický

Pozn. 1: Prefixy hydragrický, irragrický, plaggický, technický, fluvický, spodický, ferralický ako aj sufixy oxyakvický a novický nie sú uvažované v systéme MKSP 2000

Pozn. 2: Pre zvyšok diagnostického horizontu možno použiť špecifikátor *bathy* – horizont alebo materiál vyskytujúci sa medzi 100 a 200 cm od povrchu pôdy

Pre systém pôd SR sa naskytuje možnosť vypracovať podrobnejšiu charakteristiku s dôrazom na detailnejšie kritériá kultivácie pôd a navrhnutie nových pôdnych typov. Z tohto dôvodu je možná vízia prehodnotiť vlastnosti kultizemného horizontu a detailnejšie ho špecifikovať. Napr. pre záhradné pôdy býva špecifický molický horizont s ďalšími charakteristikami ako je biologické oživenie (koprolity krotoviny), prítomnosť rozpustného P_2O_5. Navrhuje sa možnosť zaviesť do skupiny pôd kultizemných

pôdny typ *hortizem* – ako špecifický prípad intenzívne kultivovanej pôdy s molickým horizontom a biologickým oživením.

Na úrovni formy navrhujeme zaviesť pre všetky pôdny typy MKSP 2000 *antropogénnu formu* charakterizovanú prítomnosťou antropogénnej vrstvy alebo fyzikálneho porušenia pôvodného pôdneho profilu). Príkladom je napríklad kambizem s porušením profilovej horizontácie v dôsledku vojenských aktivít ako míny, letecké bomby, alebo snáď plochy antropogénne odkrytých lomov s litozemami klasifikované s antropogénnou formou.

Ako iná alternatíva sa uvažuje zaviesť nový pôdny subtyp *kultizeme antrozemnej* (možno aj pre iné pôdne typy) ako prechodný subtyp s prítomnosťou antropogénne premiestneného materiálu alebo artefaktov (< 20 %). Ide napríklad o kultizem, ktorá má navážku antropogénne premiestneného materiálu do určitej hĺbky (menej ako 50 cm).

5.3.4 Korelácia antrozemí (MKSP 2000) a technosolov (WRB 2006)

Korelácia diagnostických horizontov antrozemí a technosolov (Sobocká, 2008a, 2008b) bola málo zhodná v dôsledku inak stanovených kritérií. Zhoda bola jedine pri výskyte artefaktov, kde vo WRB 2006 bola kvantifikovaná na 20 % obj. a viac, zatiaľ čo v MKSP sa deklaruje len ich prítomnosť. Ostatné charakteristiky – technická hornina, či geomembrána sa v MKSP 2000 nevyskytuje aj v dôsledku inak chápanej definície objektu klasifikácie. Zhoda bola v hĺbke antropogénneho transportovaného materiálu (WRB 2006), ktorý sa kryl s antrozemou prekryvnou (>35 cm).

Pre ilustráciu uvádzame príklad korelácie antrozemí s technosolmi. Vlastnosti sú najlepšie charakterizované na úrovni tzv. *qualifiers*, t.j. vlastností pôd vo forme prefixov alebo sufixov (Tab. 3).

Tab. 3 Korelácia antrozemí (MKSP 2000) a technosolov (WRB 2006)

Antrozem in MKSP 2000	**Technosol vo WRB 2006**
Pôdny typ: Antrozem modálna (s Ad-horizon ≥10 cm)	Referenčná pôdna skupina: Technosol alebo Regosol (Arenosol) doplnený prefixami alebo suffixami
Antrozem iniciálna (s Adi-horizon 1-10 cm)	Technosol alebo Regosol (Arenosol) doplnený prefixami (Leptický, etc.) alebo sufixami (Skeletický, Arenický, Siltický, Clayický, atď.)
Antrozem rekultivačná (s Adr-horizon)	Technosol alebo Regosol (Arenosol) doplnený prefixami (Mollický, alebo Umbrický, etc.) alebo sufixom (Humický, etc.)
Antrozem pokryvná (s umelým prekryvom výrazne odlišným antropogénnym (organickým) materiálom ≥35 cm)	Technosol alebo Regosol (Arenosol) doplnený prefixami (Folický, Histický) alebo iné sufixy
Variety: Kyslá Karbonátová Alkalická Kontaminovaná	*Prefixy alebo sufixy:* Sufix Dystrický Sufix Kalkarický Sufix Alkalický Sufix Toxický
Formy: Urbická Depóniová Haldová	*Prefixy or sufixy:* Prefix Urbic Prefix Garbic Prefix Spolic

Pozn. 1: Prefixy ekranický, linický, kryický, alický, akrický and lixický nie sú zastúpené v MKSP 2000 ako aj sufixy oxyakvický a novický.

Pozn. 2: Sufix transportický je potrebné použiť pre všetky klasifikované antrozeme, ktoré majú vrstvu hrubú 35 cm alebo viac, ktorá bola odstránená ľudskou aktivitou z pôdneho zdroja nachádzajúceho sa mimo bezprostrednej blízkosti

5.3.5 Antropogénne premiestnený materiál (APM)

Absolútne zle je chápaný princíp antrozemí, nakoľko v prípade MKSP 2000 sme neuvážene uviedli viacero indikačných diagnostických horizontov (Ad, Adi, Adr), hoci je ide len iniciálny pôdny horizont charakteristický pre regozeme (ak je dostatočne viditeľný), no v mnohých prípadoch je veľmi ťažké ho určiť v dôsledku veľmi krátkej doby pôdotvorby. Je dôležité vedieť, že pôdny diagnostický

horizont v antrozemiach prakticky chýba, na povrchu sa prevažne vyskytuje vrstva premiestneného pôdneho materiálu, ktorú možno považovať za určitý horizont.

Z tohto dôvodu navrhujeme zaviesť nový termín: „antropogénne premiestnený materiál (APM)“ (*human-transported material*) – tvorí človekom premiestnený antropogénny materiál so špecifickými morfologickými, fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Vrstva APM by mala byť diagnostická pre všetky antrozemné pôdy. Hrúbku tohto materiálu navrhujeme >50 cm.

Antropogénne premiestnený materiál (APM) navrhujeme rozdeliť na vrstvu pôdnu a vrstvu nepôdnu (čo je prakticky antropogénny substrát). Je len samozrejmé, že na pôdna vrstva má funkciu „byť pôdou“, zatiaľ čo nepôdna vrstva predstavuje navezený materiál rôzneho zloženia, ktorý je vystavený pôdotvorným podmienkam a po dostatočne dlhom čase sa môže stať pôdou. Okrem toho ako diagnostické znaky navrhujeme doplniť výskyt artefaktov, medzi ktoré zahrňujeme pevné alebo kvapalné látky vytvorené alebo modifikované človekom ako výsledok priemyselnej, stavebnej, banskej činnosti (sklo, guma, plast, popolček, benzín, keramika a iné.

Ako sa zdôraznilo v práci Sobocká *et al.* (2000) antropogénny materiál a jeho charakteristika by mal byť centrálnym konceptom diagnostiky antrozemí a ten by sa mal rešpektovať pri tvorbe inovovanej verzie MKSP. Antrozemný horizont Ad treba zrušiť, alebo premenovať na horizont (vrstvu) antropogénne premiestneného materiálu. Rozlíšenie pôdneho a nepôdneho materiálu záleží na pôdoznalcoch, v každom prípade by oba termíny mali mať vlastnú charakteristiku, predovšetkým obsah organického C a kvantifikáciu prítomného obsahu artefaktov (> 20 % ?). Treba poznamenať, že sa tu s stretávame s termínom nepôdy, ktorá či chceme, či nie, je prirodzenou súčasťou antrozemí.

Zo subtypov navrhujeme vylúčiť antrozem modálnu z dôvodov atypického vývoja antrozemí, bez klasickej modálnosti. Antrozem iniciálnu navrhujeme ponechať ako antrozem s prekryvom nepôdneho materiálu (indikácia pre iniciálne štádia nepôdnych materiálov). Antrozem rekultivačnú navrhujeme premenovať na antrozem kultizemnú (s odlišnou charakteristikou), nakoľko by sa jednalo o prechodný typ ku kultizemiam. V praxi by to boli pôdy umelo vytvorených mestských záhrad, zeleninových plantáží, strešnej zelene a podobne.

Antrozem prekryvná je trochu problematická nakoľko prekryv odlišným antropogénnym materiálom (rašelina, humolit a pod.) je podstatou všetkých antrozemí. Po konzultáciách navrhujeme názov vynechať.

Okrem pôvodných pôdnych subtypov navrhujeme zaviesť niekoľko ďalších subtypov: antrozem redukčná (v podstate reduktosoly nemeckého klasifikačného systému) s prítomnosťou redukčných plynných zložiek zo skládok prevažne biologických odpadov, resp. ako produkt metagenézy komunálnych odpadov. V tomto prípade možno uvažovať aj o variete

Ako ďalšie subtypy sa uvažujú tie, ktoré výrazne chýbali v predchádzajúcom systéme: antrozeme oglejené a antrozeme glejové. Tieto subtypy podliehajú intenzívnym hydromorfným procesom a mali by mať podobnú charakteristiku ako u ostatných pôdnych subtypov.

Diskutabilné bude uvedenie ďalších pôdnych subtypov ako sú antrozem skeletnatá a antrozem ekranická. Pri antrozemi sleketnatej by išlo o málo zvetrateľný materiál prevažne z technogénnych materiálov ako je struska, skeletnatý odpad metalurgických závodov. Sú to pôdy napr. opustených železničných tratí, ciest, opustených skeletnatých hald a pod. Antrozem ekranická by bola analógom ekranického prefixu vo WRB 2006, to znamená, že dlažby, asfalty, betóny o určitej hrúbke.

5.4 ZÁVER

Hlavným dôvodom korelácie, či porovnania diagnostických horizontov a vlastností pôd kultizemí v MKSP 2000 a antrosolov vo WRB 2006 bolo nájsť spoločné princípy hodnotenia pôd (kritériá), ktoré by napomohli pri riešení inovovanej verzie MKSP 2000. Veľmi dôležitým momentom pri porovnávaní pôd bolo aj prehodnotenie chýbajúcich diagnostických kritérií, ktoré je možné aplikovať na pomery Slovenska.

Všetky zmeny sú vytvárané s cieľom lepšie porozumieť týmto skupinám pôd a detailnejšie sa orientovať pri ich klasifikačnom zatrieďovaní. Uvedený príspevok je určitým východiskom pre ďalšie dopracovanie diagnostických a klasifikačných kritérií antropogénnych pôd v pripravovanej verzii MKSP.

Literatúra

BLAIZE D. 1998. *A Sound Reference Base for Soil, the "referential pédologique*". INRA, Paris, (English version), 322p.

DBG 1998. *Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands.* Band 86, 180 s.

FAO 1994. *Soil Map of the World.* Revised legend with corrections. ISRIC, Wageningen, 140 p.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia.* VÚPOP Bratislava, 76 s.

ISSS-ISRIC-FAO 1998. World reference base for soil resources. *World resources reports*, 84, 88 p.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. *Word Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome.

LEHMANN A., STAHR K. 2007. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J. Soils & Sediments* 7 (4) 247-260 (2007).

NACHTERGAELE F. 2005. The soils to be classified in the World Reference Base for Soil Resources. *Eurasian Soil Sci*., 38(Suppl. 1): 13-19.

ROSSITER D.G. 2007. Classification of Urban and Industrial Soils in the World reference Base for Soil resources. *J. Soils & Sediments* 7(2) 96-100(2007).

SOBOCKA J., BEDRNA Z., JURANI B., RAČKO J. 2000. Anthropogenic Soils in the Morphogenetic Soil Classification System of Slovakia. In: *Burghardt, W., and Ch. Dornauf (eds): Proceedings 1st International Conference. SUITMA, July 12-18 2000*. University of Essen, vol. I, pp.277-281.

SOBOCKÁ J. 2007. Urbánne pôdy (príklad mesta Bratislavy). Bratislava: VÚPOP, 2007, 126 s.

SOBOCKÁ J. 2008a. Anthrozems in Slovakia and its correlation with Technosols (WRB 2006). In: *Antropizácia pôd IX. Zborník príspevkov z vedeckého seminára*, 27.-28.5.2008 Bratislava, 46-54, 978-80-89128-48-8.

SOBOCKÁ J. 2008b. Position of Technosols in the Slovak Soil Classification System and their Correlationn. *Gruntoznalstvo (Soil Science, Počvovedenije),* Tom 9, No 3-4 (13), 2008, 177-182.

SOBOCKÁ J. 2008c. Kultizeme Slovenska a ich porovnanie s Antrosolmi (WRB 2006). *Vedecké práce VÚPOP*, 30, 113-123, Bratislava, 2008.

ŠIŠOV L.L., TONKONOGOV V.D., GERASIMOVA M.I. 2001. *Russian soil classification system*. V.V. Dokučajev Soil Science Institute, 2001, Moscow, 221p.

TONKONOGOV V.D., LEBEDEVA I.I. 1999. A System for Categorizing Technogenic Surface Formations (Humanly Modified Soils). In J.M., R.J. Ahrens and R.B. Bryant(eds): *Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils*. Proceedings-Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998.USA-NRCS, NSSS, Lincoln, NE, pp. 186-189.

6. KRYOZEMĚ V ČESKU A NA SLOVENSKU

6 Cryosols in the Czech Republic and Slovakia

Luděk Šefrna, Marek Křížek, Václav Treml, Zbyněk Engel*

ABSTRAKT
Existence kryozemí v půdním krytu Česka a Slovenska byla dosud studována spíše z geomorfologického hlediska a hlavně podle tříděných a netříděných forem mrazových půd. Porovnání s půdní klasifikační jednotkou *Cryosols* (WRB) či *Gelisols* (USDA) však musí být založeno nejen na morfologickém popisu, ale i na studia teplotního režimu a fyzikálních vlastností. Na lokalitách českých Sudetských pohoří a Vysokých Tater na Slovensku nad hranicí lesa již několik let probíhá měření těchto parametrů. Proto dnešní pohled na existenci těchto půd máme objektivnější názor i když se jedná o marginální půdní jednotku. Z hlediska morfologie půdních profilů a teplotního režimu – především počtu regelačních cyklů – jsou mrazové půdotvorné procesy aktivní. Neexistence permafrostu však umožňuje doporučit zařazení na úrovni gelických subtypů v rámci referenčních půdních typů litozemí, rankerů, kambizemí, kryptopodzolů a podzolů.
Klíčová slova: kryozem, klasifikace půd, permafrost, mrazové půdotvorní procesy

ABSTRACT
Crysolol´s existence in the soil cover, the Czech Republic and Slovakia has been studied more from a geomorphologic point of view, and mainly by sorted and unsorted soil frost forms. A comparison with soil classification unit Cryosols (WRB) or Gelisols (USDA) must be based not only on morphological description, but also on study of the temperature regime and physical properties. On the localities in Czech Sudeten Mountains and the High Tatras in Slovakia in upper the forest border the measurement of these parameters for several years has been carrying our. Therefore from today's view we have a more objective opinion of existence of these soils although this soil is considered as marginal soil unit. Referring to the morphology of soil profiles and the temperature regime – particularly the number of regelation cycles – frost soil forming processes are active. The absence of permafrost, however, allows the recommended classification on the level gelic subtypes in the reference soil types Lithosols, Leptosols, Cambisols, Crypto-Podzols and Podzols.
Key words: Cryosol, soil classification, permafrost, frost soil forming processes

6.1 ÚVOD

Kryozemě (*Cryosols*) je velká skupina klimagenních půd, která nechybí ve třech hlavních světových klasifikacích – World Reference Base (IUSS Working group WRB, 2006), Soil Taxonomy (USDA, 1999) a *Réfenciel pedologique francais* (INRA, 1995). Do českého a slovenského půdního taxonomického systému Kolektív (2000) a Němeček *et al*. (2001), které se již delší dobu vyvíjejí samostatně, tyto půdy nebyly zařazeny z mnoha důvodů. Jednak ležíme mimo arktickou oblast s výskytem permafrostu, nemáme velké plochy vysokohorských poloh s biomem horské tundry a zájem pedologů při mapování a výzkumu půdních vlastností se soustřeďuje na zemědělský a lesnický půdní fond, kde tyto půdy přirozeně nejsou. Geomorfology popisované tříděné mrazové strukturní půdy s polygony, pruhy, sítěmi a kruhy, či netříděné s mrazovými kopečky (thufury), nejsou určovány podle půdních profilů s diagnostickým sledem půdních horizontů, ale především podle morfologických a genetických znaků (Wasburn, 1979; Van Vliet-Lanoë, 1998; Křížek, Treml, Engel, 2007) .

Výzkum pedogeneze kryozemí je založen především na popisu forem těchto půd a dynamice kryogeneze, která souvisí s teplotním režimem půd, mezoklimatickými podmínkami jednotlivých lokalit (v nichž je důležitá sněhová pokrývka), na zrnitosti a vegetačním krytu. Zásadním kriteriem pro

* RNDr. Luděk Šefrna, CSc., RNDr. Marek Křížek, PhD., Mgr. Václav Treml, PhD., RNDr. Zbyněk Engel, PhD., Univerzita Karlova v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 41 Praha 2, ČR, e-mail: sefrna@natur.cuni.cz

posuzování možnosti řadit některé naše půdy mezi kryozemě je přesné zjištění teplotního režimu během roku (především množství regelačních cyklů) a dále zjištění existence a případně rychlosti půdních kryoturbací.

Světové klasifikace půd mají některé shodné přístupy k vymezení kryozemí:

- WRB (Working group WRB, 2006) – *Cryosol* (jedna ze 30 referenčních tříd) – celoročně zmrzlá půda - t<0° C, s projevy kryoturbace, mrazové vzdouvání, mrazové třídění, vymrzání úlomků, tvorba segregačního ledu a přítomnost kryoklastik, kontrakce za sucha, desková nebo polyedrická makrostruktura, prefix a suffix *cryic* a *gelic* jsou jedněmi ze 121 používaných diagnostických znaků;
- Soil Taxonomy USDA (1999) – *Gelisol* (jeden ze 12 *orders* – řádů) – permafrost do 100 cm a nebo gelický materiál s permafrostem do 200 cm, (teplotní režim *cryic* = průměrná roční teplota v 50 cm < 8° C);
- RPF (INRA, 1995) – *Cryosol* (jedna ze 30 GER – referenčních tříd) – pergelisol a všechny typy kryických projevů, mimo jiné *termokarst* (termokras), *cryoreptation* (kríp), soliflukce, *pipkrates* (jehlovitý led), thufury; přívlastek – *cryoturbé* – je na úrovni subtypů.

6.2 MATERIÁL A METODY VÝZKUMU

Strukturní půdy jsou primárně typologicky rozděleny dle přítomnosti či nepřítomnosti projevů mrazového třídění, tj. podle genetického hlediska, a sekundárně dle geometrického tvaru, tj. morfologického hlediska (tab. 1) (Křížek, Treml, Engel, 2007).

Tab. 1 Strukturní půdy Vysokých Sudet a Vysokých Tater s primárním dělením dle genetického hlediska a sekundární klasifikací dle morfologického hlediska (*sensu* Křížek, Treml, Engel, 2007)

Tvar	Charakteristika
I. tříděné	
Polygony	Polygonální morfologie (s rovnými stranami na rozdíl od sítí), kde jemnozrnnější materiál je podobně jako u tříděných kruhů obklopen hrubšími úlomky. U těchto tvarů je nejlépe vyvinuta selekce hrubozrnného (hranáčů) a jemnozrnného materiálu.
Kruhy	Kruhový tvar, kde jemnozrnnější materiál je obklopen hrubšími úlomky.
Sítě	Mají nepravidelný půdorys, není u nich dominantní ani polygonální, ani kruhový tvar. To je staví z hlediska dokonalosti třídění mezi méně dokonalé tříděné kruhy a dokonalejší tříděné polygony.
Pruhy	Jsou vyvinuté na svazích o průměrných sklonech 5-15°. Mezi pruhy hranáčů se nachází jemnozrnnější složka, která tvoří vyklenutí, zatímco hranáče jsou koncentrovány do vkleslých částí tohoto tvaru (brázd).
II. netříděné	
Mrazové kopečky (thufury)	Jsou to morfologicky nápadné drobné elevace s pravidelným, většinou kruhovým či oválným půdorysem, které nad okolním reliéfem vyčnívají o 20-68 cm. Mrazové kopečky rozdělujeme na dva subtypy: na půdní kopečky (*earth hummocks*) a na rašelinné kopečky (*peat hummocks*).
Pruhy	Jde o soliflukčně podmíněné formy mrazových, resp. půdních kopečků; vyskytují se zejména na mírných svazích navazujících na vrcholové plošiny. Netříděné pruhy mají vyklenutý střed, který je protažen ve směru sklonu svahu. Výška vyklenutí centrálního pruhu je mezi 15-40 cm. Délka těchto pruhů dosahuje až prvních desítek metrů.

Zkoumané lokality byly vybrány na základě studií popisujících strukturní půdy (Kunský, Záruba, 1950; Sekyra 1950; Andrusov, 1954; Sekyra, 1954; Jahn, 1958; Sekyra, 1960; Lukniš 1973; Klimaszewski, 1988; Traczyk, 1995; Treml, Křížek, Engel, 2003; Kociánová *et al*, 2005; Křížek *et al.,* 2005; Treml a kol. 2005; Křížek, 2007), které byly ověřovány vlastním terénním průzkumem probíhajícím ve Vysokých Sudetech (Krkonoše, Králický Sněžník a Hrubý Jeseník) od roku 2003 a ve Vysokých Tatrách od roku 2007. Konkrétně se jedná o lokality Modré sedlo (Krkonoše), Luční hora

(Krkonoše), Bílá louka (Krkonoše), Vysoké Kolo (Krkonoše), Králický Sněžník (vrchol), Keprník, Tabulové skály (Hrubý Jeseník), Hincovo pleso (Vysoké Tatry), Lúčne sedlo (Vysoké Tatry), Skalnaté pleso (Vysoké Tatry), Kopské sedlo (Belianské Tatry).

Diagnostickými znaky a režimy pro kryozemě jsou morfologie profilu a povrchové struktury, které mají jasný kauzální vztah ke kryickému teplotnímu režimu. Na jejich zjišťování a charakteristice je založena identifikace kryozemí v našem půdním krytu. Zrnitost a množství kryoklastik jsou důležité pro posuzování rychlosti a vyvinutosti těchto znaků. Vlastní měření půdních teplot probíhá profilově (hloubky 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40 cm) ve Vysokých Sudetech již od roku 2004 a ve Vysokých Tatrách od roku 2007. Pro měření teplot jsou využívána čidla MINIKIN T, TT, T3, která měří kontinuálně teplotu s hodinovým intervalem. U teplot je v této práci zjišťován jejich průběh, charakteristika přechodů přes 0°C, suma záporných teplot a průměrná roční teplota. Prosté přechody přes 0°C v tomto článku přibližně charakterizují regelaci probíhající ve strukturních půdách. Přesnějším vyjádřením regelace, avšak komplikovanějším, je metoda uvolňování latentního tepla (*sensu* Grab, 2005). Tento jev je označován jako tzv. *zero-curtain* efekt (French, 2007), který představuje přechodnou teplotní zónu pohybující se nejčastěji v rozmezí teplot od -2°C až do 0 °C.

Materiál a struktury tvořící tříděné i netříděné strukturní půdy byly a jsou morfometricky opakovaně popisovány a laboratorně analyzovány. Zrnitostní složení bylo provedeno standardním postupem na laserovém granulometru SYMPATEC.

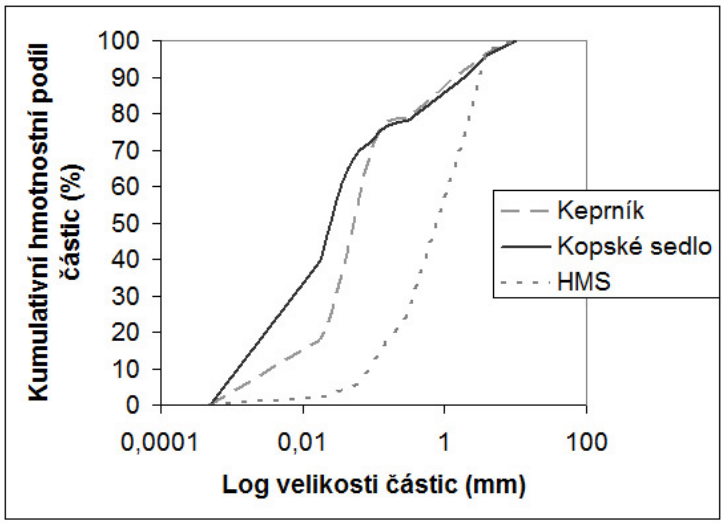
Výsledky jsou srovnávány s klasickými kryozeměmi typických tundrových oblastí a nebo alpinských pásem velehor.

6.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky dokazují, že znaky studovaných českých i slovenských strukturních půd i jejich teplotní režimy můžeme srovnat s *Cryosoly* a *Gelisoly* v pojetí WRB (2006) a USDA (1999) a že tyto půdy u nás nesplňují pouze podmínku existence permafrostu.

Procesy třídění, mrazového vzdouvání, kryoexpulze (obr. 1) u thufurů jsou podmíněny mrazovou susceptibilitou (obr. 2). Pouze s dostatečným zastoupením jemných frakcí v půdní jemnozemi jsou tyto procesy výrazně vyvinuty. Následující graf ukazuje příklad vyhodnocení mrazové susceptibility pro některé naše lokality a ukazuje se, že některé typy strukturních půd v tomto směru splňují podmínky pro uplatnění procesů mrazového třídění a mrazového vzdouvání. Jinými slovy, že překračují hranici mrazové sukceptibility (sensu Ballantyne, 1996).

Obr. 1 Kryoexpulzní boule na thufuru na Keprníku



Obr. 2 Zrnitostní křivka těles thufurů A_h horizontu na Keprníku (Hrubý Jeseník) a na Kopském sedle (Belianske Tatry), pozn.: HMS - hranice mrazové susceptibility (*sensu* Ballantyne, 1996)

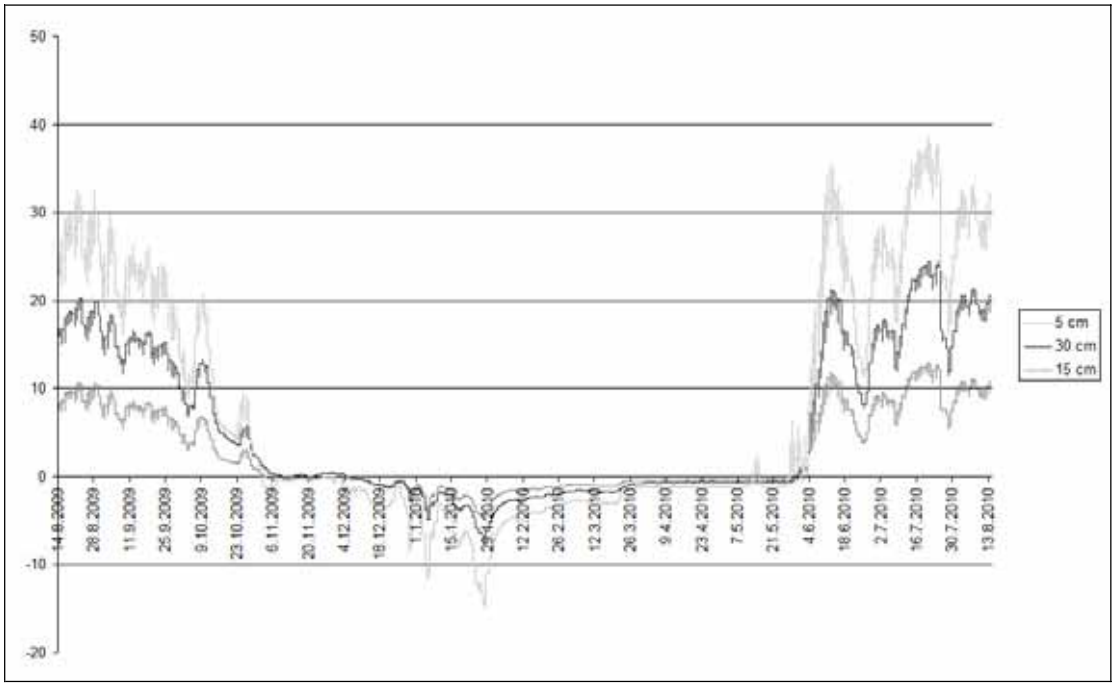
Průměrné roční teploty se v sezóně 2009/2010 ve vybraných typech strukturních půd pohybují v rozmezí +2,3 až 6,8°C (tab. 2). Diagnostickou hodnotou teplot pro posouzení mrazového režimu je počet regelačních cyklů, to znamená přechodů bodem mrazu, kdy dochází k objemovým změnám vody. Ty jsou závislé na klimatu území, ale neméně důležitými je např. délka sněhové pokrývky a vegetační kryt. Z grafu (obr. 3) je patrné, že největší počet regelačních cyklů (tj. střídavé změny skupenství vody) se odehrává při nástupu zimy a jara, přičemž za hlavní regelační sezónu lze považovat jarní část. Z kontinuálních měření vyplývá, že největší počet přechodů přes 0°C nastává v hloubce 5 cm pod povrchem. Naopak střední části thufurů (hloubka 15 cm) mají nejméně přechodů přes 0°C. Obecně lze říci, že počet přechodů přes 0°C rovněž závisí na velikosti (objemu) daného thufuru, kdy se uplatňuje efekt odlišné tepelné setrvačnosti vzhledem k danému objemu.

Tab. 2 Průměrné roční teploty ve vybraných strukturních půdách v sezóně 2009/2010. Pozn.: v tříděném kruhu v Modrém sedle se výsledky vztahují k sezóně 2008/2009

Lokalita-typ strukturních půd	Teplota (°C) v hloubce 5 cm	Teplota (°C) v hloubce 15 cm	Teplota (°C) v hloubce 30 cm
Kopské sedlo - půdní kopeček	2,31	2,49	2,63
Keprník - půdní kopeček	6,54	6,75	6,84
Modré sedlo - tříděný kruh	4,35	4,18	-
Hincovo pleso - tříděný kruh	2,85	2,82	2,79

Tab. 3 Počet přechodů přes 0°C v thufurech na Keprníku a na Kopském sedle v regelačních sezónách 2007/2008 a 2008/2009, resp. 2009/2010.

Datalogger	Rok	Hloubka (cm)	Počet přechodů přes 0°C
Kopské sedlo	2008/2009	5	17
		15	3
		30	12
Kopské sedlo	2007/2008	15	5
		30	20
Keprník	2009/2010	5	23
		15	3
		30	7
Keprník	2007/2008	15	4
		30	13



Obr. 3 Průběh teplot v thufuru v Kopském sedle v regelační sezóně 2009/2010

Jako důkaz recentní aktivity (Křížek, 2007; Treml, Křížek, Engel, 2010) některých strukturních půd můžeme uvést:

1) existenci kryogenních struktur v profilech půdních kopečků (províření půdních horizontů – kryoturbace, obr. 4, 5);
2) kryoexpulzní struktury (obr. 1) nepokryté vegetací s následným porůstáním vegetací se sukcesí od lišejníků a mechů k travám;
3) tvorbu a přetrvávání segregačního ledu až do poloviny června;
4) existenci regelačních cyklů v aktivních strukturních půdách;
5) mrazové vzdouvání a vymrzání úlomků a mrazové třídění, které se projevuje tvorbou miniaturních tříděných kruhů.

Obr. 4 Schématický řez půdním kopečkem (thufurem) na Keprníku, s kryoturbací provířenými půdními horizonty

Obr. 5 Profil netříděnými pruhy na Bílé louce v Krkonoších s kryoturbací neporušeným půdním profilem kryického podzolu, což ukazuje na "neaktivitu tohoto typu strukturních půd v této lokalitě

6.4 ZÁVĚR

O kryozemích v rámci Vysokých Sudet a Vysokých Tater může hovořit jen na velmi omezených areálech půdních kopečků a tříděných kruhů, které jsou vázány na lokality s extrémními mikroklimatickými podmínkami a specifickým hydrickým režimem. Ostatní neaktivní strukturní půdy, které u nás nalézáme nad horní hranicí lesa lze považovat za reliktní formy, které vznikly během posledního chladného výkyvu v pleistocénu (Křížek, 2007). V klasifikačním systému půd je vhodné v případě těchto reliktních půd používat označení subtypů, což ovšem vyžaduje rozšířit aktuální klasifikační systém o gelický subtyp k půdním typům litozemím, rankerům, kambizemím, kryptopodzolům a podzolům.

Marginalitu našich kryozemí dokládá jejich odhadovaná rozloha, která se pohybuje pouze v jednotkách km^2. Většinou se jedná o půdy lesní a nebo v kategorii ostatní. Světové rozšíření je popisováno rozdílně podle jednotlivých klasifikačních škol. Podle různých autorů i klasifikací (např. French, 2007; IUSS Working group WRB, 2006; USDA, 1999) se jedná o plochu kontinentů mezi 9 % až 15 % povrchu nepokrytého ledovci či sněhem. Pohled na geografické rozšíření také napovídá, že není striktně požadována korelace s existencí spojitého permafrostu, např. třetí zemí podle rozlohy kryosolů (za Ruskem a Kanadou) je Čína, kde jsou cryosoly soustředěny do vysokých hor, především na Tibetskou plošinu, s nespojitým permafrostem. Naše výzkumy v peruánské části vysokých And (Janský a kol., 2011) také potvrzují, že neexistující permafrost ve výškách nad 5000 m neznamená absenci výrazně vyvinutých tříděných a netříděných mrazových půd.

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu GAAV KJB 301110804 a výzkumného záměru MŠM 0021620831.

Literatura

ANDRUSOV D. 1954. Polygonálne pôdy na dne tatranských plies. *Geologický zborník*, roč. 6: 184-192.

BALLANTYNE C.K. 1996. Formation of miniature sorted patterns by shallow grand freezing: a field experiment. *Permafrost and Periglacial Processes,* vol. 7, 409-424.

FRENCH H.M. 2007. Periglacial environment, Wiley & Sons, Chichester, 458 s.

JAHN A. 1958. Mikrorelief peryglacjalny Tatr i Babiej Góry. *Biuletyn Peryglacjalny.* tom 6: 57-80.
GRAB S.W. 2005. Earth hummocks (thufur): new insights to their thermal characteristics and development in eastern Lesotho, southern Africa. *Earth Surface Processes and Landform*s, vol. 30, no. 5, 541-555.
INRA 1995. *Référentiel pédologique.* INRA, Paris.
IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Report* No. 103. FAO, Rome, 136 pp.
JANSKÝ B. *et al.* 2011. The Amazon River headstream area in Cordillera Chila, Peru: hydrografical, hydrological and glaciological conditions. *Hydrological Science Journal,* 56 (1), 1-14, Tailor § Francis, IAHS Press.
KLIMASZEWSKI M. 1988. *Rzeżba Tatr Polskich.* Wrocław: PWN, 668 p.
KŘÍŽEK M. 2007. Periglacial landforms above alpine timberline in the High Sudetes. *Geomorphological Variations*, P3K, Praha, 313-337.
KŘÍŽEK M., TREML V., ENGEL Z. 2005. Periglaciální tvary Hrubého Jeseníku z hlediska jejich aktivity *In: Campanula – Sborník referátů z konference k 35. výročí CHKO Jeseníky*, Správa CHKO Jeseník, 9-15.
KŘÍŽEK M., TREML V., ENGEL Z. 2007. Litologická predispozice, morfologie a rozmístění strukturních půd alpinského bezlesí Vysokých Sudet, *Geografie – Sborník České geografické společnosti* 112, 4, 373-387.
KOCIÁNOVÁ M., ŠTURSOVÁ H., VÁŇA J., JANKOVSKÁ V. 2005. Kryogenní kopečky – pounus – ve Skandinávii a v Krkonoších, *Opera Corcontica* 42, 31-55.
KOLEKTIV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pod Slovenska*, *bazálna referenčná taxonómia*, VÚPOP, Bratislava, 76s.
KUNSKÝ J., ZÁRUBA Q. 1950. Periglaciální strukturní půdy v Krkonoších. *Sborník ČSSZ* 65, 1/2, s. 10-14.
LUKNIŠ M. 1973. *Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia*. Bratislava, Vyd. SAV, 375 p.
NĚMEČEK J. *et al.* 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd ČR*. Academia, Praha.
SEKYRA J. 1950. Thufury a girlandové půdy v Belanských Tatrách. *Sborník ČSZ.* roč. 55: 214-219.
SEKYRA J. 1954. K otázce recentnosti strukturních půd. *Věstník ÚÚG*. roč. 29, č. 1: 21-32.
SEKYRA J. 1960. *Působení mrazu na půdu - Kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČSR*, Nakladatelství ČSAV, Praha, 195 s.
TRACZYK A. 1995. Morfologia peryglacjalna Sniezki a Czarnego grzbietu w Karkonoszach, *Czasopismo Geograficzne* 66, 2, 157-173.
TREML V., ENGEL Z., KŘÍŽEK M. 2003. Periglaciální tvary v alpinském bezlesí Vysokých *Sudet, Geografie – Sborník české geografické společnosti* 108, 4, 304-305.
TREML V., KŘÍŽEK M., ENGEL Z. 2005. Strukturní půdy Vysokých Sudet – rozšíření, aktivita, I*n: Geomorfologický sborník* 4, Pedf JČU a Česká asociace geomorfologů, České Budějovice, 149-153.
TREML, V., KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. 2010. Formation of earth hummocks at Mt. Keprník (the Hrubý Jeseník Mts.) – evidences and hypothese, In: Křížek M., Nyplová P., Vočadlová K., Borská J. (eds): *Geomorfologický sborník 9*, Přf UK, 1. vydání, Praha, s. 92-93.
USDA 1999. *Soil Taxonomy*. Government Printing Office, Washington
VAN VLIET LANOE B. 1998. Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy. *Catena* 34, 157-183.
WASHBURN A.L. 1979. *Geocryology*, Edward Arnold, London, 406 s.

7. TERRAE CALCIS A RUBIFIKÁCIA, ICH VZÁJOMNÝ VZŤAH, PALEOKLIMATICKÁ INTERPRETÁCIA A VZŤAH K RECENTNÝM PÔDAM JUHOSLOVENSKÉHO KRASU

7 Terrae calcis and rubification, mutual interrelation, paleoclimatic interpretation and relation to nowadays soils of Slovak Karst

Ján Čurlík*

ABSTRAKT
V predloženom príspevku sa uvádza prehľad názorov na vznik pôd terrae calcis (terra rossa a terra fusca) všeobecne a osobitne v oblasti Juhoslovenského krasu, kde majú tieto pôdy plošne najväčšie zastúpenie na Slovensku. Terrae calcis (terra rossa a terra fusca) sa väčšinou považujú za paleopôdy a ich tvorba sa spája s podmienkami subtropického zvetrávania karbonátových hornín. Iné názory popierajú paleoklimatický vplyv pri ich tvorbe (detritická teória) a terra calcis považujú za recentné či reliktné pôdy, paleopôdy, polygenetické pôdy a pedosedimentárne komplexy. Rubifikácia, ako čiastkový pôdotvorný proces pri tvorbe terrae calcis a iných rubifkovaných pôd istým spôsobom potvrdzuje vplyv paleoklimatických faktorov. Počas vzniku, ale aj epigeneticky, terrae calcis podľahli rôznym premenám, ktoré sú podmienené dynamikou krasového reliéfu (redepozícia, premiešavanie a prekrytie) a následnými pedogenetickými procesmi (pedoturbácia, rekarbonatizácia, oglejenie, illimerizácia). Hlboké akumulácie materiálu terrae rossae v podobe pedosedimentárnych komplexov sa nachádzajú v krasových depresiách, v podsvahových delúviách a prolúviách na úpätí planín. V ílovej frakcii typických terrae rossae prevláda kaolinit s prímesou illitu. Zo sprievodných seskvioxidov sa nachádza hematit, goetit a gibsit. Terra fuscy sa vyznačujú vyšším obsahom goetitu na úkor hematitu. Argilické horizonty terrae rossae sa vyznačujú výraznou rubifikáciou a argiluviáciou s multigeneračnými vzormi nakopenia základnej ílovitej hmoty. V zmiešaných materiáloch môže mať väčšie zastúpenie illity, smektity, chlority a zmiešané štruktúry. Z neílových prímesí je prítomný goetit, hematit, kalcit, dolomit a kremeň. Pod mikroskopom možno pozorovať fenomény transportu (koluviácie) v podobe pedoreliktov orientovanej základnej hmoty, detritické prímesí a rôzne fenomény recentnej pedogenézy. Vzhľadom na allochtónny pôvod a reliktnú povahu materiálu terrae rossae, vznikajú problémy s ich začlenením do systému recentných pôd.
Kľúčové slová: terrae calcis (terra rossa, terra fusca), rubifikácia, ferritizácia, Juhoslovenský kras, problémy veku, genézy a klasifikácie

ABSTRACT
In this contribution a review of opinions on terrae calcis (terra rossa and terra fusca) origin in generally and in the Slovak Karst area specifically is give, where these soils have largest areal extension in Slovakia. Terrae calcis are generally interpreted as paleosols and their formation is connecting with subtropical weathering conditions of carbonatic rocks. Other theories deny paleoclimatic role in their formation (detrital theory) and consider terrae calcis as recent or relict soils, paleosols, polygenetic soils or pedo-sedimentary complexes. Rubification as component part of soil forming subprocess of terrae calcis and other red soils formation confirm in way paleoclimatic influence. During formation of terrae rossae and epigenetically, underwent these soil to different changes caused by karst relief dynamics (redeposition, mixing, covering), and by subsequent pedogenesis (pedoturbation, recarbonatisation, pseudogleyisation, clay illuviation). Thick accumulation of terrae rossae material in the form of pedo-sedimentary complexes are located in karst depressions, at the foots of karst slopes (colluviated). In the clay fraction of typical terra rossa kaolinite with the admixture of illite is present. From associated sesquioxides hematite, goethite and gibbsit were detected. Terra fusca is characterised by higher content of goethite and no hematite. In the mixed (colluviated) material higher proportion of illites, smectites, admixture of chlorites and mixed-layer structure was detected. As non clay fraction variable content of calcite, dolomite, quartz, with admixtures of hematite and goethite were detected. Argillic horizons of terrae rossae are distinguished by strong

* doc. RNDr. Ján Čurlík, DrSc., Katedra geochémie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského , Mlynská dolina, 845 42 Bratislava, SR, e-mail: curlik@fns.uniba.sk

rubification, compound clay coatings with multi-generation accumulation pattern of clay. Under polarizing microscope transporting phenomena (colluviation) are observed in the form of pedorelicts with oriented groundmass, detrital fragments and other features of nowadays pedogeneis. Regarding allochtonous origin and relict nature of terra rossae material difficulties arose out of their placing into soil system of present day soils.
Key words: terrae calcis (terra rossa, terra fusca), rubification, ferritization, age, origin and classification problems, Slovak Karst

7.1 ÚVOD

Genéza, vek a najmä klimatické podmienky tvorby terrae calcis sú stále predmetom nespočetných a často kontroverzných úvah u nás aj vo svete (Bronger *et al.* 1983, 1997; Boulaine, 1966; Durn, 2003; Skowronek,1978; Yaalon, 1997). Tieto pôdy sa vyskytujú v krasových oblastiach v celej mediteránnej oblasti z európskej aj africkej strany, v juhovýchodnej Ázii a v južnej Austrálii, v karibskej oblasti a v iných častiach sveta (Merin, Banerjee, 2008).

Terrae calcis sú nápadné červenou až červenohnedou farbou, s vysokým podielom ílu, ktoré ako diskontinuitná vrstva prekrývajú vápence a dolomity. Mnohými autormi sú považované za silne zvetrané pôdy krasových oblastí, ktoré sa tvorili v podmienkach subtropickej až tropickej klímy. Iní autori popierajú vplyv klímy a považujú ich za reziduálne zvyšky po zvetraní vápencov. V súčasnosti prevládajú na ich genézu dve skupiny názorov a to reziduálny a detritický pôvod. Bronger & Sedov (2002) považujú niektoré terrae calcis z Maroka za vetusoly – čiže staré pôdy, ktorých vývoj prebieha nepretržite do súčasnosti v rovnakých klimatických podmienkach. Recentný vznik terrae rossae vo vhodných klimatických podmienkach (Libanon) uvádzajú Verheye a Stoops (1973).

Aj na Slovensku sú terrae calcis predmetom dlhodobého štúdia. O ich detritickom pôvode sa vyslovili Andrusov a kol. už v r.1958. Avšak na základe štúdia ťažkých minerálov ich považovali za staré zvetraniny vulkanických a magmatických hornín uchránené pred eróziou zachytením v krasových depresiách. Podobný názor zastavali Borza a Martiny (1964). Popisom týchto pôd, ich mikromorfologickým výskumom a stratigrafickým postavením sa zaoberala najmä Smolíková (Smolíková, 1963; Smolíková, Ložek, 1962; Bronger, Smolíková, 1981). Podrobným mineralogickým štúdiom a genézou terrae calcis zo Slovenska sa zaoberal Bronger s kolektívom autorov (Bronger *et al.,*1983; Bronger *et al.* 1984). Poslední autori vyslovili úvahy o tom, že viaceré terrae calcis (terra rossy a terra fuscy) na Slovensku majú zdedené ílové minerály (kaolinit a gibsit) vrátane hematitu a ich vznik treba spájať s detritickým pôvodom materiálu. Usudzujú, že terra rossy sú litomorfné pôdy a do ich štúdia musia byť zahrnuté aj podložné materské horniny, teda vápence a dolomity, ktoré obsahujú nerozpustné zvyšky z predchádzajúceho vývojového cyklu.

Priamo v oblasti Juhoslovenského krasu sa problematikou genézy terrae calcis, mikromorfologickým a mineralogickým štúdiom zaoberali tiež viacerí autori (Čurlík, Linkeš, 1973; Čurlík, 1975, 2010; Šály *et al.* 1981; Košťálik, 1974, 2000), geografickými aspektmi rozšírenia týchto pôd tiež Linkeš,1984; Kobza, Linkeš (1990), Kobza (1992), Žigová (2000) a v širšom kontexte analýzou georeliéfu a pôdneho krytu tiež Nováková (2008).

Problémy sú aj s klasifikačným postavením týchto pôd. V niektorých národných klasifikáciách sa termín „terra rossa“ zachováva pre „červené mediteránne pôdy“ na vápencoch (chorvátska, talianska, izraelská škola). Tiež sa toto označenie zachováva pre subtriedu „modálnych fersialitických červených pôd“, ak sú situované na vápencoch (Duchaufour, 1982).

V americkej Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) sú terra rossy klasifikované ako Alfisoly (*Haploxeralfs, Rhodoxeralfs*), Ultisoly a Inceptisoly (*Xerochrepts*). Vo FAO systéme (1988) sú označované ako Chromic Luvisols, čiže sú zaradené do skupiny luvisolov, zatiaľ čo v niektorých európskych klasifikáciách patria do spoločnej skupiny s kambizemiami. Podobne aj v chorvátskej klasifikácii sú zaradené do kambizemí (Škorič, 1986).

Vzhľadom na výraznú dynamiku reliéfu Juhoslovenského krasu, väčšina terrae calcis sú reliktné a allochtónne, tvoria substráty recentných pôd a podliehajú rôznym epigenetickým zmenám (illimerizácia, rekarbonatizácia, oglejenie). Iba zriedkavo sa nachádzajú „autochtónne“ zvyšky, najmä na hlboko zvetraných dolomitoch (Kečovo). V súvislosti s tým vznikajú problémy s ich klasifikačným zatriedením na vyššej taxonomickej úrovni. Pretože pri ich tvorbe sa uplatnili procesy rubifikácie, je potrebné ich vyčleniť aspoň na úrovni osobitných foriem.

Cieľom tohto príspevku je zhrnúť relevantné poznatky o genéze a veku, o podmienkach vzniku a premenách týchto pôd na základe uvedených literárnych poznatkov ako aj autorových úvah založených na mnohoročných terénnych, mineralogických a mikromorfologických výskumoch terrae calcis a rubifikovaných pôd Slovenska, s ktorými geneticky súvisia.

7.2 MATERIÁL A METÓDY

Terrae calcis a rubifikované pôdy boli študované terénnymi, mikromorfologickými, geochemickými, a mineralogickými technikami. Terénny výskum spojený s popisom pôd prebiehal na Silickej planine (Ardovo, Kečovo, Silická Brezová, Gombasek, Domica), na Plešiveckej planine (Kunová Teplica, Soroška, Hrhov, Moldava n/B.) a na Koniarskej planine (Gemerská Hôrka, Pašková, Skalisté Pole, Jelšavská Teplica). Z uvedených pôdnych profilov boli odoberané pôdne vzorky na analýzy základných chemických charakteristík pôd (pH, CEC, obsah karbonátov, zrnitosť, Fe_t, Fe_d) na mineralogický rozbor a neporušené pôdne vzorky na mikromorfologické štúdium. Mineralogický rozbor bol robený röntgen- difraktometricky, s využitím rôznych testov (solv. etylénglykolonm, sýtenie, žíhanie).

Pri porovnávacích štúdiách boli využité vlastné poznatky zo štúdia terrae calcis a rubifikovaných pôd v iných regiónoch Slovenska, ako aj výsledky iných autorov študujúcich terrae calcis (Bronger *et al*., 1983, Bronger *et al*., 1984; Činčura, 1973; Šály a kol., 1981; Košťálik, 2000) a na základe kvartérno-geologických výskumov Slovenska (Košťálik, 1974; Pristaš, 1981; Vaškovská, 1983; a i.).

7.3 STRUČNÝ NÁČRT TEÓRII VZNIKU TERRAE CALCIS

Doteraz bolo vyslovených niekoľko názorov o vzniku terrae calcis, z ktorých najväčšie rozšírenie zaznamenali reziduálne a detritické teórie.

Reziduálne teórie sa dajú rozdeliť na tri skupiny. Jedná bola vyslovená už v prvej polovici 20. storočia (de Lapparent, 1930, In: Merino, Banerjee, 2008, neskôr Kubiëna,1953; Bronger a Bruhn-Lobin, 1997) a zakladá sa na tom, že terra rossa vznikla po rozpustení vápencov transformáciou nerozpustných zvyškov. Podľa nej terra rossy („vápencové rothlehmy“) sú interpretované ako produkty intenzívneho subtropického až tropického zvetrávania. Najmä tvorba hematitu, ktorý je výsledkom intenzívnej rubifikácie, sa považuje za produkt horúcej klímy so striedaním suchých a vlhkých období (Schwertmann, 1993). Pozitívny aspekt tejto teórie spočíva vo vyslovení genetickej spätosti terrae calcis s karbonátovými litofáciami a s tvorbou krasových fenoménov. Druhým pozitívnym aspektom je dôraz na samotný vplyv zvetrávania (rozpúšťania) a premeny nerozpustných zvyškov vápencov. Vápence nemusia mať v nerozpustných zvyškoch kaolinit, ale najčastejšie asociáciu illit-chlorit. Bez intenzívneho zvetrávania sa neuvoľnia ani nerozpustné zvyšky karbonátov, ani sa nevytvorí kaolinit.

Najviac kritiky tejto teórie sa vznieslo na to, že obsah nerozpustných zvyškov po vápencoch je malý a aby sme získali niekoľko metrov zvetraniny, na to by sa muselo rozpustiť niekoľko desiatok až stoviek metrov vápencov v nadloží. Táto podmienka je nadsadená. Produkty zvetrávania na karbonátových horninách nemožno totiž zrovnávať s inými elúviami „in situ“. Vápence a dolomity sa rozpúšťajú, pričom zvetrané produkty sú neustále premiestňované do nových a nových depresii. Okrem iluvácie koloidov, dochádza k deluviácii (koluviácii) materiálu, ktorá môže viesť k tomu, že aj jeden milimeter zvetraniny z plochy niekoľkých km^2 sa nakopí do desiatok centimetrov v najhlbších krasových formách. Teda neplatí model, že z objemu vápenca „x“ vznikne objem zvetraniny „y“. Zvetrávanie prebieha totiž v otvorenom systéme, do ktorého, resp. z ktorého môžu byť prinášané (odnášané) rôzne allochtónne komponenty. Popri čistých vápencoch sa v krasových oblastiach tiež vyskytujú polohy slienitých vápencov, slieňov, ílovitých bridlíc, zlepencov a iných vložiek, ktoré môžu poskytnúť dostatok nerozpustného podielu, aby sa doplnil deficit hmoty zvetranín. Ak vezmeme do úvahy uvedené argumenty, tak elúvium *sensu stricto* na týchto horninách ani nenájdeme.

Niektorí iní autori vyslovili názor, že terra rossy zdedili nerozpustný podiel už z predtým existujúcich červených zvetranín a pôd vo vápencoch bez toho, aby tento prešiel novým cyklom zvetrávania. K týmto poznatkom sa dospelo na základe porovnania chemického a minerálneho zloženia terra rossy a nerozpustného podielu vápencov. Z toho sa potom odvíjali aj úvahy o tom, že rubifikácia nie je odrazom paleoklimatických podmienok (Bronger, Smolíková, 1981; Bronger *et al*. 1983; Šály a kol., 1981).Táto predstava je slabá v tom, že nevysvetľuje ako sa uvoľňujú tieto zvyšky

z vápencov, čo je v skutočnosti možné opäť len zvetrávaním. Vzhľadom na koluviálny charakter materiálu nie je ani celkom možné porovnávať chemické zloženie podložných vápencov s nadložným materiálom terrae calcis.

Detritické teórie sa zakladajú na úvahách, že terra rossa je akumuláciou detritických zložiek v krasových depresiách ako sú eolický prach (saharský prach) (Ćirić, Aleksandrović, 1959; Durn, 2003, Yaalon, 1997), vulkanický popol, aluviálne sedimenty (Olson *et al*., 1980), ktoré epigeneticky podľahli zvetrávaniu. Iná z týchto teórii, ktorá bola vyslovená našimi autormi, Andrusovom a kol. (1958), Borzom a Martinym (1963), ktorí na základe štúdia minerálneho zloženia tvrdili, že terra rossy sú vôbec cudzorodým rubifikovaným detritom (pôvodom z vulkanických hornín), uchráneným pred eróziou v krasových depresiách. Tieto prípady sa síce môžu vyskytovať, ale tieto teórie nemôžu vysvetliť celosvetový fenomén spätosti terrae calcis s karbonátovými litofáciami.

Terra rossa predstavuje červený ílovitý až prachovito-ílovitý materiál, ktorý pokrýva karbonátové horniny ako diskontinuitná vrstva rôznej mocnosti (od cm do niekoľkých metrov). Ako iluviovaná zložka sa nachádza aj v puklinách a v dislokáciách vápencov a dolomitov mnoho desiatok metrov pod povrchom. Ako pedo-sedimentárne komplexy sa terra rossy nachádzajú na dnách krasových dolín, v deluviálnych polohách, v podsvahových depresiách krasových planín ako aj na pokryvoch kvartérnych terás. V typickom (modálnom) vývoji prejavujú silnú rubifikáciu, ílovitú textúru (nad 80 % ílu) s výraznou prevahou kaolinitu, s obohatením o Fe, Al, prípadne iných kovových prvkov. Argilické horizonty týchto pôd sa vyznačujú výraznou rubifikáciou a argiluviáciou s multi-generačnými vzormi nakopenia základnej ílovitej hmoty. Zmiešaný a redeponovaný materiál obsahuje červené pedorelikty a znaky transportu (koluviácie). Sekundárne formy železa sú zastúpené hematitom, ktorý prevláda nad goetitom.

Vzhľadom k rozporným názorom o vzniku terrae calcis Kubiëna (1953) sa zmienil o tzv. terra rossách autochtónnych a allochtónnych. Bronger a Sedov (2002) uvádzajú autochtonné terra rossy z marockej Messety, ktoré vznikli zvetrávaním vápencov. Moresi a Mongelli (1988) na základe porovnania chemických analýz nerozpustných zvyškov po vápencoch a terra rossy sa tiež vyslovili o možnom autochtónnom pôvode terra rossy z vápencov. Verheye, Stoops (1973) uvádzajú možnosť recentnej tvorby terra rossy v klimatických podmienkach Libanonu. V určitom priblížení za „autochtónne“ môžeme považovať iluviované terra rossy do piesčito zvetraných dolomitov, do puklín a vrstevných plôch vápencov. Za také považujeme terra rossa v Kečove, v Malých Kršteňanoch a Chalmovej (Strážovské vrchy), ktoré boli iluviované do piesčito zvetraných dolomitov. Dá sa totiž uvažovať o tom, že hlboko zvetraný dolomitový piesok a iluviovaná terra rossa sú syngenetické. S podobnými prípadmi sa dá uvažovať aj na slieňoch. Avšak aj v takých prípadoch ide o časovo obmedzený proces, ktorý nezaručuje dlhodobú stabilitu materiálu najmä pred eróziou či koluviáciou.

(1) (2)

Obr. 1 Koluviovaná terra rossa na vápencoch, Silická Brezová (Silická planina)
Obr. 2 Terra fusca na vápencoch, Soroška (Plešivecká planina)

Terrae calcis sa obvykle klasicky členia na dva pôdne typy: terra rossa *(Rhosdoxeralfs)* a terra fusca *(Petrocalcic Palexeralf)*. Terra rossa je málo humózna červená pôda, ktorá sa považuje za ekvivalent rothlehmu na elúviách nekarbonátových hornín (obr. 1). Jej tvorba je spätá s intenzívnou rubifikáciou, pri ktorej vzniká kaolinit a hematit na úkor goetitu. Syngenetický vznik ílových minerálov a hematitu je nesporný.

Terra fusca je hnedá, červenohnedá až žltohnedá pôda a pokladá sa za ekvivalent braunlehmu (Kubiena,1953). Terra fusca je obvykle viac humózna a takmer nikde sa nenachádza akumulovaná ako pôdny sediment (obr. 2). Obsahuje viac goetitu a málo, alebo vôbec neobsahuje hematit. V spodných horizontoch a v krasových priehlbinách prechádza niekedy do červených farieb. To nasvedčuje tomu, že terra fusca je skôr naložená (epigenetická) pôda a tvorila sa na pedimentoch terra rossy potom, keď sa tento dostal do vlhších podmienok. Možno pochybovať o súčasnej tvorbe terra rossy a terra fuscy. V tomto smere však podrobnejšie výskumy chýbajú.

7.4 RUBIFIKÁCIA A TERRAE CALCIS

Termíny rubifikácia a rubefikácia sa používajú ako synonymá. Vzhľadom k tomu, že prioritne bol použitý Kubiënom (1953,1970) a aj v súčasnosti sa oveľa častejšie používa pojem „rubifikácia“ (Bronger *et al.*,1983, Ben-Dorm *et al.*, 2006) budeme ho používať aj v tejto práci. Je to čiastkový pedogenetický proces, pri ktorom železo uvoľnené z primárnych horninotvorných minerálov vytvára sekundárne oxidy železa. K tomu dochádza v podmienkach teplej (mediteránnej) klímy počas suchých letných období, ktoré napomáhajú rekryštalizácii železa a silikáty zvetrávajú počas vlhkých zimných období spolu s dekarbonatizáciou (Yaalon, 1997). O paleoklimatickej predispozícii rubifikácie sa nevedú veľmi rozporné diskusie. V závislosti od striedania teplôt a zrážok vznikajú rôzne sekundárne minerály (Millot, 1970; Boero, Schwertmann, 1989; Yaalon, 1997). Goetit (a-FeOOH) vzniká pri menej intenzívnom zvetrávaní Fe^{2+} alebo Fe^{3+}. Rubifikácia a sprievodná tvorba hematitu, ktorá dáva terra rossam jasno červené sfarbenie, je podporovaná xerickým teplotným režimom pôdnej klímy (Durn, 2003). V subtropických podmienkach, kde sa striedajú suché obdobia (v lete) s vlhkými obdobiami (zimy), dochádza k dekarbonatizácii, k rozkladu organických látok, k uvoľneniu a migrácii železa vo vlhkom období, k jeho rekryštalizácii a fixácii na iluviované ílovité zložky v suchom období (Schwertman, Lentze, 1966; Schwertman,1993). Ireverzibilne dehydratované oxidy Fe sa kumulujú ako jemné kryštality spolu s iluviovaným ílom.

Rubifikované pôdy sú veľmi rôznorodé. U nás sú známe z neogénu, ale aj z kvartéru (pleistocén). Boli opísané zo sprašových sérii Podunajskej nížiny, na terasách riek, na elúviách andezitov, bazaltov (Cerovej vrchoviny) a na zvetraninách kryštalinika (Košťálik, 1974; Vaškovská,1983; ai.). Napr. na sprašiach Nitrianskej pahorkatiny (Milanovce – Komjatice) je ich vznik evidentne spätý s odvápnením spraše miestami do hĺbky 1-1,5 m s redepozíciou vápnika, ktorý reprecipitoval v podložných sprašiach, kde vytvára noduly (cicváry), žilky, povlaky a rizokonkrécie. V iluviálnych B-horizontoch pozorujeme výraznú translokáciu ílu. Tvorba týchto paleopôd sa spája s émskym interglaciálom (Vaškovská, 1983). Červené (rubifikované) íly a paleopôdy z konca miocénu a najstaršieho pleistocénu boli popísané v Maďarsku aj na Slovensku (Pécsi, 1986; Kovács, 2003; Pristaš, 1981; a i.).

Zvyšky rubifikovaných paleopôd nachádzame všade tam, kde boli prekryté rýchlou anorganickou sedimentáciou, bez vyššieho podielu redukujúcich organických látok. Chýbajú tam, kde boli pôdy odstránené buď eróziou, alebo podľahli degradácii. Pri nepodstatných zmenách klímy mohli odolávať rubifikácii aj tie substráty, ktoré poskytujú veľa ílovitých substancii, čo možno dokumentovať v súčasnosti v niektorých mediteránnych oblastiach. Ako reliktné sa rubifikované pôdy vyskytujú práve len na vápencoch. To súvisí s alkalickým prostredím vápencov, ktoré brzdí redukciu a mobilizáciu železa.

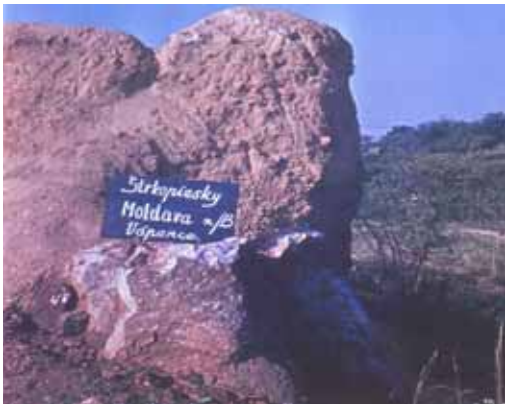
Stupeň rubifikácie, „sčervenania“ pôd a s ňou spojený výskyt ílovej frakcie závisí od doby trvania procesov, od ich intenzity v dobe tvorby paleopôdy, prípadne iných pôdnych faktorov, ako sú typy ílových minerálov a formy železa (Fedoroff, 1997). Na odlíšenie jednotlivých stupňov rubifikácie nie sú vypracované podrobnejšie kritéria. Sú známe rubifikované kambizeme, hnedozeme, luvizeme až rothlemy. O paleoklimatickej predispozícii ich vzniku neboli vyslovené väčšie pochybnosti. Čo však považujeme za dôležité je fakt, že rubifikácia (aj tá intenzívna) nemusí prebiehať, ako sa predpokladalo, za celé dlhé geologické obdobia a na jej uplatnenie netreba veľké klimatické rozdiely. Napríklad émsky interglaciál trval len od 125 do 75 tis. rokov, pritom rubifikované pôdy z tohto obdobia nachádzame v celej Podunajskej nížine. Silne rubifikované pôdy (charakteru rothlehmov) v podloží bazaltových prúdov v Cerovej vrchovine, ktorých vek bol určený na 1,4 mil. rokov uvádza Pristaš (1981). Fosílne pôdy mladšieho pleistocénu, ktoré boli popísané v oblasti Podunajskej nížiny Vaškovskou (1983) ako hnedozeme a intenzívne zvetrané (rubifikované) hnedozeme sa vyvíjali ešte kratšie (podobne ako iné pôdy stovky až niekoľko tisíc rokov). Tieto pôdy sa používajú ako korelačné

horizonty pre členenie kvartéru (Vaškovská, 1983; Smolíková, 1963). Pre ich vznik sa udávajú klimatické podmienky podobné súčasným mediteránnym. Bez zachádzania do podrobnosti možno dedukovať, že klimatické vplyvy, ktoré pôsobili na rubifikáciu pôd na spraši a na elúviách pevných hornín pôsobili aj na rubifikáciu zmiešaných materiálov na vápencoch a dolomitoch. Napokon rubifikované pôdy vyvinuté na kvartérnych travertínoch označujú viacerí autori ako „terra rossy" (Košťálik, 1974; Bronger *et al*. 1983; Smolíková, 1963). Nie je preto vylúčené, že reliktné terrae calcis na vápencoch a dolomitoch sú polycyklické.

7.5 PROBLÉMY VEKU A KLASIFIKÁCIE TERRAE CALCIS

Z geomorfologických štúdii o vývoji Juhoslovenského krasu vieme, že neogénne more z tejto oblasti ustúpilo koncom egeru. Najstaršie povrchové útvary na planinách Koniar a Plešivecká sú strednomiocénne. Sú považované za zvyšky tropického krasu. Ich izolované vyvýšeniny sa vytvorili v panóne. Po panóne nastal významný zdvih územia s najväčšou amplitúdou zdvihu (viac ako 500 m) v oblasti Plešiveckej planiny. Vtedy sa vytvorili aj hlboké doliny medzi plošinami. Krasovatenie a zvetrávanie pokračovalo aj počas vrchného pliocénu až do kvartéru (Mello a kol., 1997). Subtropická klíma v miocéne bola na území Slovenska dokázaná početnými paleontologickými nálezmi tropickej flóry a fauny (napr. Vass, Elečko, 1992). Napokon aj hlinité štrky, íly a piesčité íly poltárskej formácie (pont), ktoré sú chemicky zrelé a majú kaolinický charakter, sú už redeponované neogénne zvetraniny z podhoria Slovenského Rudohoria.

Pri terénnom štúdiu terrae calcis v oblasti Juhoslovenského krasu sme zistili, že terra rossy na vápencoch JZ od Jelšavy sú prekryté štrkmi poltárskej formácie a v okolí Moldavy štrkmi košickej formácie (obr. 3). Tieto formácie sú považované za pontské.



Obr. 3 Terra rossa na skrasovatenom vápenci prekrytá štrkmi košickej formácie (pont) pri Moldave n/B. (Košická kotlina)

Z týchto zistení vyplýva, že terra rossy v oblasti Juhoslovenského krasu evidentne vznikali pod vplyvom subtropickej klímy, ktorá tu prevládala na celom území. Rubifikované pôdy na zvetraninách bazaltov podrečanskej formácie (vek 1,2 mil. rokov) obsahovali už zle vykryštalizovaný kaolinit *(fire clay),* čo by poukazovalo na doznievanie procesov kaolinického zvetrávania v staršom pleistocéne (Čurlík, Medveď, 1983). Všetky ďalšie úvahy o tom, že rubifikované pôdy a terra rossy môžu byť aj staršieho veku (Košťálik, 2000) nemožno vylúčiť, ale treba vychádzať z geologických údajov, podľa ktorých bolo toto územie predtým zakryté. S miocénnym obdobím, kedy prebiehalo najintenzívnejšie zvetrávanie, sa spája aj denudácia jurských členov silicika (Mello a kol., 1997).

Z prác Brongera a Smolíkovej (1981), Brongera *et al,* (1984) a niektorých iných autorov vieme, že na pleistocénnych travertínoch (Dreveník, Levice) boli popísané terra rossy a terra fuscy. Pretože v pleistocéne sa vytvárali rubifikované pôdy aj na sprašových komplexoch, nemožno vylúčiť tvorbu rubifikovaných pôd aj na travertínoch a polycyklickú rubifikáciu pôd na vápencoch. Avšak udalosti späté s interglaciálmi pleistocénu netrvali dostatočne dlho na to, aby došlo k významnému rozpusteniu travertínov a k uvoľneniu ílu, aby sme mohli hovoriť o reziduálnych terra rossach (fuscach). Bronger *et al*. (1984) uvádzajú, že v týchto pôdach na travertínoch nebolo zistené zvetrávanie minerálov a samotné pôdy sú v zmysle reziduálnej teórie litomorfné. Vznikajú teda oprávnené otázky: Sú

rubifikované pôdy na travertínoch terra rossy? Ak sú, potom aké sú kritéria ich vyčlenenia? A podobne... Rubifikácia pôd počas pleistocénu, ktorá sa odráža v prítomnosti rubifikovaných fosílnych pôd v nížinách a v kotlinách južného Slovenska mohla vplývať aj na pedogenetické zmeny reliktných terrae rossae. O tom nám chýbajú podrobnejšie údaje.

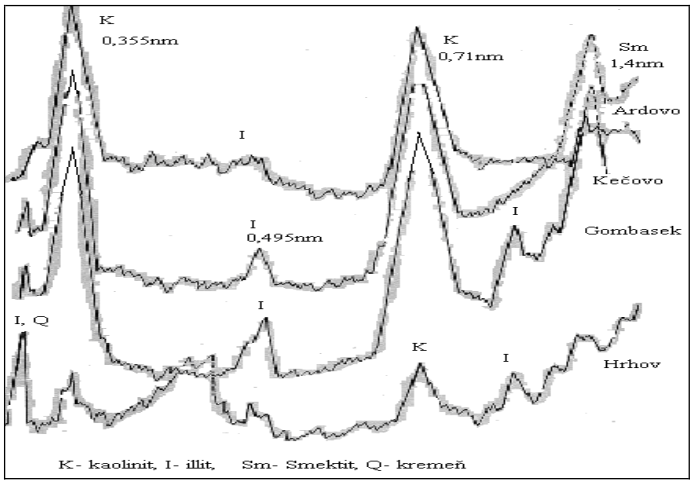
Materiál terrae calcis vďaka dynamike reliéfu Juhoslovenského krasu bol premiestňovaný na povrchu planín syngeneticky už v miocéne a epigeneticky po zdvihu územia v panóne a prakticky počas celého kvartéru. O koluviácii materiálu svedčia mnohé mikromorfologické pozorovania. (obr. 13, 14, 15). Vence würmských delúvií z materiálov terra rossy lemujú úpätia všetkých krasových planín, sú nimi pokryté niektoré terasy a dokonca aj holocénne nivy riek. Materiály terrae calcis sa mohli (a môžu) zmiešavať s aluviálnymi, eolickými aj proluviálnymi sedimentmi. Súčasná stratigrafická pozícia terrae calcis, vnímaná len cez farebnosť materiálu, nič nehovorí o ich genéze, veku ani o podmienkach vzniku. Je logické, že ak v pleistocéne vznikali klimaticky podmienené rubifikované pôdy, mohli vznikať aj na karbonátových horninách.

Všetky naložené procesy komplikujú pohľad na tvorbu terrae calcis a môžu byť príčinou neustálych polemík o ich pôvode. V tejto súvislosti terra rossy v Juhoslovenskom krase môžu byť paleopôdy, pedosedimentárne komplexy, alebo pôdne sedimenty. Tvoria buď fosílne pôdne horizonty, alebo pôdotvorné substráty recentných pôd a podliehajú recentnej pedogenéze.

7.6 MINERÁLNE ZLOŽENIE TERRAE CALCIS

Mineralogickým štúdiom terrae calcis na Slovensku a tiež v oblasti Juhoslovenského krasu sa venovalo viac autorov. Štúdiu ílovej frakcie terrae calcis a sekundárnych Fe oxidov z rôznych oblasti Slovenska sa zaoberali Čurlík a Linkeš (1973), Čurlík (1975, 2010), Činčura a Puškelová, (2008), Bronger *et al.* (1983, 1984), Šály a Ciesarik (1981) a Košťálik (2000). Výsledky sú rôznorodé. V terra rossach obyčajne prevláda kaolinit, ale dosť často sú prítomné vyššie obsahy illitu, smektitov, zo sprievodných minerálov hematit, goetit, gibsit a kremeň. V terra fuscach obvykle chýba hematit, ale je prítomný goetit (Bronger, *et al.* 1983, 1984).

Typické terra rossy v Juhoslovenskom krase s vysokým obsahom ílu, majú prevahu kaolinitu spolu s určitým podielom illitu, hematitu a goetitu. Také je zloženie autochtónnej terra rossy v Kečove (Obr. 4). Redeponované materiály na planine (Ardovo) alebo deluviálne würmské sedimenty (Gombasek a Hrhov) obsahujú vysoký podiel smektitov, illit, niekde aj chlorit, kremeň, živce a niekedy aj karbonáty (kalcit, dolomit) detritickej aj autigénnej povahy.



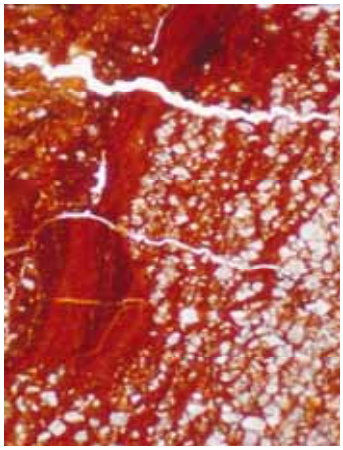
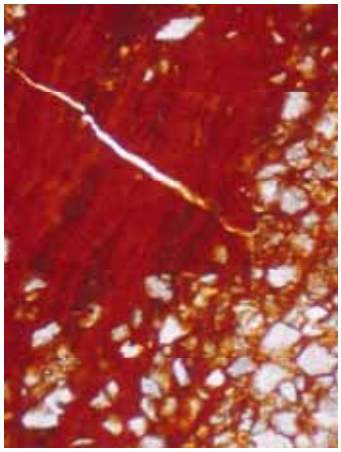
Obr. 4 Rtg-difraktogramy ílovej fakcie vybratých terrae calcis z Juhoslovenského krasu (Kečovo – autochtónna terra rossa; Ardovo – hnedozem rubifikovaná; Gombasek – kambizem luvizemná, rubifikovaná a Hrhov – rendzina rubifikovaná rekalcifikovaná)

Z výsledkov vyplýva, že typické terra rossy obsahujú najmä kaolinit spolu s hematitom, ktoré prevažujú nad goetitom. Tieto pôdy vznikali v podmienkach veľmi intenzívneho zvetrávania (a rubifikácie). Terra fuscy obsahujú menší podiel kaolinitu a prevažne len goetit. Aj to je dôvod prečo považujeme terrae fuscy skôr za epigenetické pôdy, ktorých prekurzorom boli terra rossy. Ostatné

rubifikované pôdy na karbonátových horninách považujeme za redeponované deriváty, alebo rubifikované pôdy kvartéru.

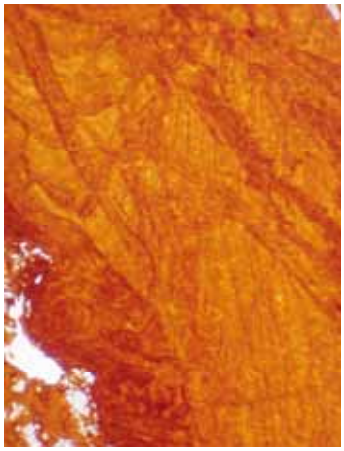
7.7 MIKROMORFOLOGICKÉ POZOROVANIA A EPIGENETICKÉ ZMENY TERRAE CALCIS

Mikromorfologické štúdium týchto pôd umožňuje hlbší pohľad do histórie vývoja terrae calcis. Terra rossa sa tvorí ako výsledok dekalcifikácie, rubifikácie a monosialitizácie. Typické autigénne horizonty terra rossy sa vyznačujú silnou rubifikáciou, silnou iluviáciou (a koluviáciou) materiálu, s multigeneračným nakopením železito-ílovitej základnej hmoty, často s premiestnením do puklín zvetraných hornín (obr. 4 - 5).To spôsobuje rovnomerné červené sfarbenie v celom profile pôd.

(5)  (6) 

Obr. 5 - 6 Mikromorfologické pozorovania poukazujú na vysoký stupeň mobility železitej základnej hmoty, ktorá vytvára argilany penetrujúce do piesčito zvetranej polohy dolomitu; C horizont „autochtónnej“ terra rossy Kečovo (priečne pukliny vysýchania, // nikoly)

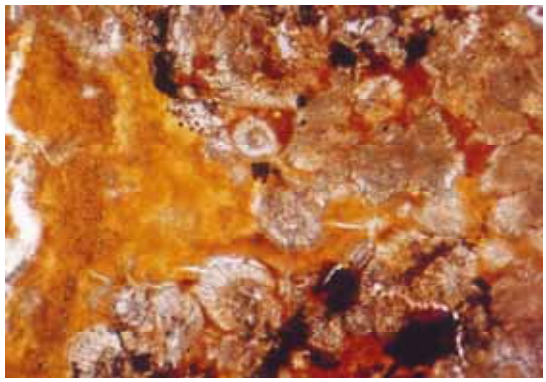
Profily typických terrae rossae majú mikroskopické znaky vysokého stupňa mobility indikovanej tvorbou multigeneračných argilanov v celej matrix, tak ako je to prezentované na obr. 7 a 8. Pretože pôdy terra rossa boli vystavené rôznym fluktuačným zmenám, mohli podľahnúť rôznym syngenetickým a epigenetickým zmenám. Redeponované a koluviované terrae calcis vo vysušných podmienkach často podľahli rekarbonatizácii, v depresných polohách pseudooglejeniu (až oglejeniu) a illimerizácii.

(7) (8) 

Obr. 7 - 8 Multigeneračné akumulačné vzory nakopenia základnej železito-ílovitej hmoty, ktoré poukazujú na postupnú redepozíciu dispergovanej koloidnej hmoty; B horizont terra rossy Kečovo (// nikoly)

7.7.1 Rekarbonatizácia

Materiály terra rossy boli a sú vďaka dynamike krasového reliéfu premiestňované v rámci planín aj mimo nich do podsvahových depresii. Miešajú sa s detritom karbonátových hornín. Na druhej strane vody, ktoré stekajú po svahoch planín sú obohatené Ca a z nich sa môže opäť vylučovať sekundárny kalcit. Vznikajú tak červené (rubifikované) rendziny ako je to vidieť na obr. 9. Zatiaľ čo tvorba terrae calcis je späta s dekalcifikáciou, v zmenených podmienkach sú tieto premeny opačné. Prejavuje sa to nielen zachovaním karbonátového detritu, ale aj tvorbou sekundárnych kalcitov (obr. 10).

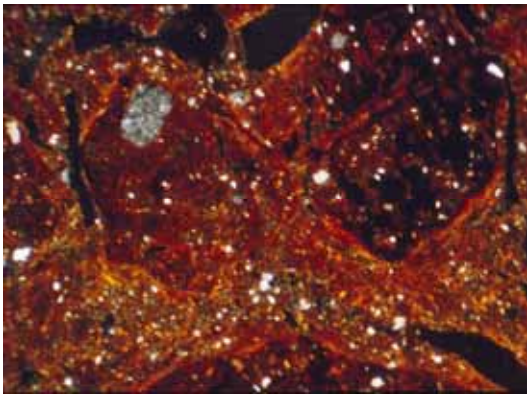
(9) (10) 

Obr. 9 Rubifikovaná rendzina na redeponovaných materiáloch terrae rossae (Hrhov)
Obr. 10 Sekundárne vejárovité formy karbonátov (*crystic fabric*) v rubifikovanej rendzine

Samotná redepozícia materiálov terrae calcis v závislosti od podmienok, veku a mocnosti akumulácie poskytuje špecifický pôdotvorný substrát pre tvorbu recentných pôd. Najčastejšie sú to hnedozeme, hnedozeme luvizemné, hnedozeme pseudoglejové, pseudogleje luvizemné. Hnedozeme sú situované na dne krasových dolín, na podsvahových delúviách v podnoží planín sú prítomné pseudogleje.

7.7.2 Pseudooglejenie

Premiestňovanie materiálov terrae calcis do depresných polôh v podsvahových pozíciách je sprevádzané často prejavmi pseudooglejenia (obr.11 a 12) a pokiaľ tento transport prechádza až do alúvií aj do glejovatenia, s následnou redukciou železa. Napríklad v glejových pôdach v okolí Hrhovského rybníka je možné vidieť pod mikroskopom len ojedinelé červeno sfarbené pedorelikty v matrix, ktorý makroskopicky už prejavoval znaky typických glejov s akumuláciou hydromorfného humusu a so sivým redukčným horizontom

(11) (12) 

Obr. 11 Detailnejší záber na časť B horizontu pseudogleja luvizemného s typickou „mramorizáciou“ v Kunovej Teplici
Obr. 12 Prejavy separácie základnej železito-ílovitej hmoty, jej vosepickej a masepickej mikroskladby v B horizonte hnedozeme pseudoglejovej na redeponovanej terra rosse Moldava n. Bodvou

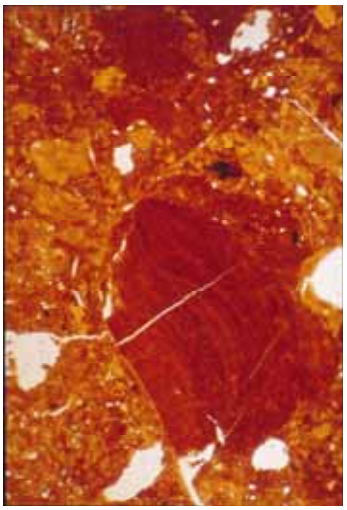
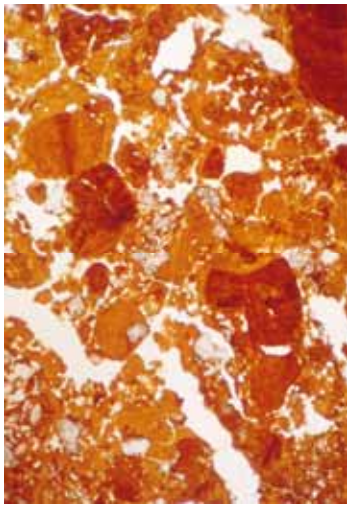
7.7.3 Illimerizácia

Prejavy separácie a orientácie železito-ílovitej hmoty, tvorba ílovitých výplní a povlakov (kutanov iluviácie) sú častými doménami v pseudoglejoch a v hnedozemiach luvizemných na redeponovaných materiáloch terrae calcis (obr. 13).

Obr. 13 Výrazná separácia železito-ílovitej základnej hmoty vo výplní medziagregátových pórov v pseudogleji luvizemnom

7.7.4 Koluviácia materiálov terrae calcis

Pri mikromorfologickom pozorovaní možno často rozlíšiť znaky redepozície materiálu na základe pedo- a litoreliktov, najmä ak tento materiál bol splachovaný vo forme suspenzie .

(14)  (15)  (16)

Obr. 14 Koluviálna terra rossa s evidentnými pedoreliktmi orientovaného ílu
Obr. 15 – 16 Charakteristické znaky redeponovanej terra rossy v podobe suspenzií so závalkami orientovaného ílu

Jednotlivé zmeny sa časovo a priestorovo nakladali. Preto terrae calcis majú polygenetický (a polycyklický) charakter. Erózno-denudačné procesy indukované klimaticky a podporené tektonicky v Juhoslovenskom krase aj odlesnením, sú príčinou nerovnomernej distribúcie niekedy aj mocných akumulácií deluviálnych (koluviálnych) terrae rossae (pedo-sedimentárne komplexy, pedimenty). To komplikuje celú diskusiu o ich genéze najmä ak sa nachádzajú v allochtónnych pozíciách. Tvoria väčšinou pôdotvorné substráty recentným pôdam, alebo sú prekryté diskontinuitným krytom rendzín. Preto vzniká problém ich klasifikácie v rámci recentných pôd na vyššej taxonomickej úrovní. Navrhujeme, aby ich osobitosť bola vyjadrená v klasifikácii aspoň na úrovní foriem.

7.8 ZÁVERY

Terrae calcis v oblasti Juhoslovenského krasu sú na podklade sedimentologických štúdii paleopôdy, ktoré vznikali najmä v miocéne v subtropickej klíme. Tieto podmienky teda bezpochyby

vplývali na ich tvorbu a premenu. Vzhľadom na dynamiku krasového reliéfu sa terrae calcis (terra rossa a terra fusca) zriedkavo vyskytujú ako autochtónne. Väčšinou sú prítomné ako pedo-sedimentárne komplexy (pedimenty) v krasových zníženinách na planinách, alebo v deluviálnych a proluviálnych pozíciách v predpolí planín. Za „autochtónne“ považujeme len veľmi lokálne výskyty (zvyšky) terra rossy na hlboko piesčito zvetraných dolomitoch (Kečovo).

Mineralogické štúdium potvrdilo, že typické terra rossy obsahujú prevažne kaolinit, hematit a goetit, s prímesou illitu. Terra fuscy majú na úkor hematitu vyšší obsah geoetitu. Zmiešané materiály (pedimenty) môžu obsahovať v ílovej frakcii zmes ílových minerálov (kaolinit, illit, smektit, chlorit), prímes kremeňa, sľúd a karbonátov, podľa toho, aké prímesi obsahujú. Napriek tomu, že mohli po redepozícii podľahnúť pedogenéze, rovnako sa mohli, v závislosti od podmienok, aj zachovať niektoré druhy detritických ílov.

Terra rossy (rothlehmy na vápencoch) sú výsledkom intenzívnej rubifikácie. Rubifikácia je čiastkový pôdotvorný proces, ktorý sa uplatňuje na najrozličnejších substrátoch. Uplatňoval sa počas neogénu (miocén), ale aj počas teplých období pleistocénu, napr. červené paleopôdy Brunhes-Matuyama (780-760 tis. r.), émsky interglaciál (125 do 75 tis. r.) a iné. Kvartérne rubifikované paleopôdy, označované ako terrae calcis (terra rossy a terra fuscy) sú opísané na travertínoch (Dreveník, Levice). Z toho sa dá usudzovať, že novým cyklom rubifikácie mohli podľahnúť aj reliktné terrae calcis na vápencoch. Mnohé sú preto polycyklické pôdy. Pritom je zrejme, že na intenzívne zmeny postačovali oveľa kratšie obdobia interglaciálov v trvaní len niekoľko tisíc rokov, podobne ako pri vývoji iných recentných pôd. To samozrejme komplikuje poznanie zákonitosti tvorby terrae calcis a vyvoláva polemiku, ktorá sa často vedie len z úzkych profesionálnych pozícii.

Terra fuscy na vápencoch považujeme za naložené pôdy, ktoré vznikli na redeponovaných materiáloch terrae rossae, do ktorých prechádzajú na styku s podložnými karbonátmi, ako aj znaky koluviácie materiálu pod mikroskopom. Ich farba je odrazom vyšších obsahov humusu.

Materiály terrae calcis, ktoré sa nachádzajú na povrchu a ktoré niektorí označujú ako „reliktné pôdy“ sú recentnými pôdotvornými procesmi natoľko pozmenené, že ich treba klasifikovať ako recentné pôdy. Rubifikácia je v tomto prípade reliktný fenomén a mal by sa v klasifikácii objaviť aspoň na úrovní variety.

Medzi najčastejšie epigenetické zmeny, ktorými sú materiály terrae calcis postihnuté, patrí rekarbonatizácia, illimerizácia, oglejenie, glejovatenie. Ich pôvodná mikroskladba, ako vyplýva z mikromorfologického štúdia, sa mení. Z toho pramení aj ich rôznorodé klasifikačné zatriedenie, ktoré ich raz radí do skupiny kambizemí („hnedé ozemnenie“), luvizemí, pseudoglejov luvizemných, ba až do rotlehmov („*lehm gefüge*“) na vápencoch.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore projektov APVV-0231-07 a VEGA 1/0238/08.

Literatúra

ANDRUSOV D., BORZA, K., MARTINY E., POSPÍŠIL P. 1958. O pôvode a veku terra rossy južného a stredného Slovenska, *Geologický zborník SAV* 15:1, 9-26.

BEN-DOR E., LEVIN N., SINGER A., KARNIELI A., BRAUN O., KIDRON G.J. 2006. Quantitative mapping of the soil rubification process on sand dunes using an airborne hyperspectral sensor, *Geoderma,* Vol. 131, 1-21.

BORZA K., MARTINY E. 1964. Kôry zvetrávania, bauxity a terra rossa v Západných Karpatoch, *Geologický zborník SAV* 9:1.

BOULAINE J. 1966. Sur les Facteurs Climatiques de la Genèse des Sols Rouges. *In: Sociedad Espanola de Ciencia del Suelo, Transactions of the Conference on Mediterranean Soils.* Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid, 281-284.

BRONGER A., SMOLÍKOVÁ L. 1981. Herkunft der Terrae Calcis in der Slowakei, *Vestnik Ustr. Ust. Geolog.*, 56, 145-156.

BRONGER A., ENSLING J., GÜTLICH P., SPIERING H. 1983. Rubification of terrae rossae in Slovakia: a Mösbauer effect study, *Clays Clay Miner.,* 31, 269-276.

BRONGER A. ENSLING J. KALK E. 1984. Mineralverwitterung, Tonmineralbildung und Rubefizierung in Terrae calcis der Slowakei. Ein Beitrag zum paläoklimatologischen Aussagewert von Kalkstein-Rotlehmen in Mitteleuropa. *Catena* 11 (1984), 115-132.

BRONGER A., SEDOV S.N. 1997. Origin and redistribution of pedogenic clay in Terrae rossae from Quaternary Calcarenites in Coastal Morocco. *In: Shoba, S., Gerasimova M., Miedema, R. (eds). Soil Micromorphology: Studies on Soil Diversity, Diagnostics, Dynamics,* Moscow, Wageningen (1997), 59-66.

BRONGER A., SEDOV S.N. 2002. Vetusols and paleosols: Natural versus man induced environmental change in the Atlantic coastal region of Morocco. *In: XVII World Congress of Soil Science Bangkok*.1-2 www.ldd.go.th (WCSSS).

BRONGER A., BRUHN-LOBIN N. 1997. Paleopedology of Terrae rossae-Rhodoxeralfs from Quaternary calcarenites in NW Morocco. *Catena,* Volume 28, Issues 3-4, 279-295.

ĆIRIĆ M., ALEKSANDROVIĆ D. 1959. A view on the genesis of terra rossa, *Zbornik radova Poljoprivrednog fakulteta*, 7, 1-12, Beograd.

ČINČURA J. 1973. Weathering crusts on the carbonate rocks of the Western Carpathians and their relation to climate and relief. *Slovenský kras*, 11: 223-229.

ČURLÍK J., SKALSKÝ R., FULAJTÁR E. (jr.), KOREŇ J. 2010. *Exkurzný sprievodca 2. konferencie SPS a ČPS Nové trendy v diagnostike, klasifikácii a mapovaní pôd*. Rožňava, 29.9.-1.10.2010, VÚPOP Bratislava.

ČURLÍK J., LINKEŠ V. 1973. Red paleosols of the Slovak karst (Terrae calcis) *Excursion guidebook. 3rd Czechoslovak Soil Science Conference at Nitra,* Dom techniky Košice, 132s.

ČURLÍK J. 1975. Pedograficko-mineralogická a mikromorfologická charakteristika pôd Slovenska. Kandidátska dizertačná práca. *Manuscript.* PRIFUK Bratislava, 225p.

DUCHAUFOUR P. 1982. *Pedology: Pedogenesis and Classification Terra Rossa in the Mediterranean Region: Parent Materials, Composition and Origin*. Allen and Unwin, London, 448 p.

DURN, G. 2003. Terra Rossa in the Mediterranean Region: Parent Materials, Composition and Origin. *Geologia Croatica* 56/1 83-100.

FAO 1988. FAO/UNESCO Soil Map of the World, Revised legend with Corrections. World Resources Report 60, FAO, Rome.

FEDOROFF N. 1997. Clay illuviation in Red Mediterranean Soils*, Catena*, 26, 171-189.

KOBZA J. 1992. Poznámky ku charakteristike rubefikovaných, textúrne diferencovaných pôd v oblasti Slovenského krasu a priľahlej časti Košickej kotliny. *Vedecké Práce VÚPÚ*, 17, Bratislava, p.93-98.

KOBZA J., LINKEŠ V. 1990. Pôdy Silickej planiny z hľadiska využívania a ochrany krajiny. *Slovenský kras*, XXVII, p.103-115

KOŠŤÁLIK J. 1974. Fosílne pôdy a spraše Nitrianskej pahorkatiny. *Náuka o Zemi, VIII, Pedologica*, 9, Veda SAV Bratislava, 143s.

KOŠŤÁLIK J. 2000. Príspevok k štúdiu pôd „Terra rossa" na lokalitách Kečovo a Soroška v Slovenskom krase. In: Lacika, J. (ed): *Zborník referátov z I. konferencie Asociácie slovenských geografov SAV*. ASG pri SAV Bratislava.

KOVÁCS J. 2003. Terrestrial red clays in the Carpathian Basin: a paleoenvironmental approach. *Geomorphol. Slovaca* 3, 86.89 (2003).

KUBIËNA W.L. 1953. *The Soils of Europe,* Thomas Murby and Co., London, 317 p.

KUBIENA W.L. 1970. *Micromorphological features of soil geography*. New Brunswick, Rutger University Press, 254s.

LINKEŠ V. 1984. Reliktné fenomény v pôdnom pokryve Slovenska a príspevok k ich interpretácii. *Geogafický. časopis*, vol. 36, No.2, 163-178.

MAUSBACH M.J. 1980. The terra rossa limestone contact phenomena in Karst. – Southern Indiana, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 1075-1079.

MORESI M., MONGELLI G. 1988. The relation ship between terra rossa and the carbonate free residue of the underlzying limestones and dolostones in Apulia, Italy. *Clay minerals,* 23, 439-446.

MELLO J. a kol. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1:50 000. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.

MERINO E., BANERJEE A. 2008. Terra rossa genesis, implikation for karst, and eolian dust: A geodynamic thread. *Jour. of Geology*, 2008, V.116, 62-75.

NOVÁKOVÁ M. 2008. Analýza georeliéfu, litosféry a pedosféry v kontexte tvorby modelu priestorovej štruktúry fyzickogeografickej krajiny. *Pedo-Disertations*. VÚPOP Bratislava, 106s.

OLSO C.G., RUHE R.V., MAUSBACH M.J. 1980. The terra rossa limestone contact phenomena in Karst.– Southern Indiana, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 1075-1079.

PÉCSI M. 1986. The Neogene red clays of the Carpathian Basin," Studies Geogr. Hungary 19, 46-60.

PRISTAŠ J. 1981. Kvartér Ipeľskej kotliny a priľahlej časti Krupinskej planiny. Kandidát. Dizer. Práca, Manuskript, GÚDŠ Bratislava.

SCHWERTMAN U., LENTZE W. 1966. Bodenfarbe und Eisenoxidform. Zeitschrift für Pflanz. und Bodenkunde, 115: 209-214.

SCHWERTMAN U. 1993. Relation between iron oxides, soil colour, and soil formation. *Soil Sci.Soc. of America,* Special publication, 31: 51-69.

SKOWRONEK A. 1978. Untersuchungen zur Terra rossa in E- und S- Spanien – ein regional pedologischer Vergleich. *Würzburger Geographische Arbeiten,* 47 (1978), pp. 1-272.

ŠKORIČ A. 1986. *Dvoslojni profili tla na području terra rosse u Istrii*. Special publication of Agricultural scientific meeting, Fakultet poljoprivrdnich znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 172p.

SMOLÍKOVÁ L. LOŽEK V. 1962. Zur Altersfrage der mitteleuropaischen Terrae calcis. Eiszeitalter und Gegenwart 13: 157-177.

SMOLÍKOVÁ L. 1963. Stratigaphische Bedeutung der Terrae calcic, Boden. *Sbor. Geol. Věd. Ř.A*, 1: 101-126.

SOIL SURVEY STAFF 1975. Soil taxonomy: A Basic system of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Dept. Of Agric. Handbook, 436, U.S. Govt. Print. Off., Washington, DC., 754 pp.

ŠÁLY R., MIHÁLIK A., CIESARIK M. 1981. Mineralogicheskij sostav sredne- i južnoevropejskikh "terrae calcis". In: Konta, J. (ed.). *Eighth Conference on Clay Mineralogy and Petrology in Teplice*, 1979, pp. 201-205. Geologica, Univerzita Karlova, Praha.

VASS D., ELEČKO M. 1992. Vysvetlivky ku geologickej mape Lučenskej kotliny a Cerovej vrchoviny. 1:500 000. GÚDŠ, Bratislava.

VAŠKOVSKÁ E. 1983. Stratigrafia a typológia fosílnych pôd mladého pleistocénu v sprašových pokryvoch na Podunajskej nížine. *Geologické práce GÚDŠ,* Bratislava, Správy 82, 23-66.

VERHEYE W., STOOPS G. 1973. Micromorphological evidences for the identification of an argillic horizon in terra rossa. *Proceedings of the Fourth International Working Meeting on Soil Micromorphology*, 817-831.

YALLON D.H. 1997. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena,* 28, 157-169.

YALLON D.H., GANOR E. 1973. The influence of dust soils during the Quaternary. *Soil Science J.,* 116, 223-251.

ŽIGOVÁ A. 2000. Role of the climatic factor in soil formation at Boubová (Bohemian karst, Czech Republic). *Geolines* 11, 96-98.

8. PROBLEMATIKA PŘEVODU JEDNOTEK NÁRODNÍ PŮDNÍ KLASIFIKACE DO SYSTÉMU WORLD REFERENCE BASE 2006

8 Problems of soil unit's conversion of the national soil classification to the World Reference Base 2006

Tereza Zádorová, Jaroslava Janků, Josef Kozák, Jan Němeček, Vít Penížek*

ABSTRAKT
Použití starších údajů v mezinárodních projektech pro mapování půd znamená požadavek na harmonizaci půdních dat. Přesná korelace mezi národními a mezinárodními půdními jednotkami je důležitým předpokladem pro globální mapování půd a získávání harmonizovaných údajů půdy využitelných v environmentálních aplikacích Korelace půdních jednotek byla uskutečněna na různých úrovních taxonomie Českého národního klasifikačního systému půd s *World Reference Base* (WRB 2006). V korelaci se porovnala účinnost sémantického a kvantitativního přístupu. Množina 523 půdních profilů náhodně vybraných Komplexního mapování zemědělských půd v Československu byl korelována s WRB s využitím dostupných analytických a morfologických půdních dat. Studie ukázala nutnost analytického přístupu a využití kvantitativních údajů. Všeobecně porovnatelnost obou systémů půd na vyšší úrovni taxonomie lze považovat za vysokou (93 %), zatímco specifické půdní jednotky prokázaly při přesnosti korelace značnou variabilitu. Konverze některých půdních jednotek, např. rankrů, černic, černozemí nebo pelozemí vyžaduje analytické a morfologické údaje odpovídajících profilů. Nižší porovnatelnost je způsobena různými faktory. Nejdůležitější jsou různé koncepce půdních jednotek a různé nastavení limitů diagnostických půdních vlastností. Některé jednotky jako gleje, fluvizemě nebo hnědozemě mohou být korelovány s vysokou pravděpodobnostní přesnosti. Vysoká nekompatibilita byl prokázána na nižší úrovni taxonomie. Korelace nižších taxonomických jednotek by měly být předmětem analytické zpracování.
Klíčová slova: půdní systém, půdní jednotka, půdní taxon, konverze, půdní mapa

ABSTRACT
Use of the legacy data in the international soil mapping projects entails the demand for the soil data harmonization. Accurate correlation between national and international soil classification units is an important prerequisite in global soil mapping and acquisition of harmonized soil data usable in environmental applications. Correlation of soil units at different taxonomy levels was proceeded to relate Czech national soil classification system with World Reference Base (WRB 2006) and compare the effectiveness of semantic and quantitative approach in the correlation. Set of 523 soil profiles randomly selected from the General survey of agricultural soils in Czechoslovakia was converted to WRB using available analytical and morphological soil data. The study showed necessity of analytical approach and quantitative data use. General level of comparability at higher taxonomy level can be considered as high (93 %), while particular soil units showed significant variability of the correlation accuracy. Conversion of some soil units, e.g. Leptosols, Cernice, Cernozem or Pelozem requires analytical and morphological data of corresponding profiles. Lower comparability is caused by various factors. Different concept of the soil unit and different setting of the limits of the diagnostic soil properties are the most important. Some units such as Glejs, Fluvizems or Hnědozems can be correlated with high probability of accurate assignment. High incompatibility was shown at lower taxonomy level. Correlation of lower taxonomy units should be subject to analytical processing.
Key words: soil system, soil unit, soil taxon conversion, soil map

8.1 ÚVOD

Půdní klasifikace je základním předpokladem výzkumu a zpracování půdních dat a slouží především jako organizační rámec pro popis půdních vlastností (Smith, 1963; Isbell, 1996; Droogers a

* Mgr. Tereza Zádorová, PhD., Ing. Jaroslava Janků, CSc., prof. Ing. Josef Kozák, DrSc., prof. RNDr. Jan Němeček, DrSc., Ing. Vít Penížek, PhD., Katedra pedologie a ochrany půd, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha 6, ČR, e-mail: zadorova@af.czu.cz

Bouma, 1997; Shi *et al*., 2006; Simas *et al*., 2008). Je rovněž zásadním prostředníkem sdělování výzkumných výsledků z oblasti půdního výzkumu, a to na úrovni národní i mezinárodní pedologie.

První verze *World Reference Base* (FAO, ISRIC, ISSS 1998) byla představena na 16. Světovém pedologickém kongresu v roce 1998 jako standard pro korelaci půdní klasifikace a prostředek mezinárodní komunikace výzkumných výsledků. Po osmi letech byla uvedena aktuální verze WRB 2006 (s dalšími úpravami v roce 2007). Nová verze WRB (IUSS Working group WRB, 2006) spolu s americkou *Soil Taxonomy* (USDA-NRCS, 1999) je celosvětově užívaný systém pro prezentaci výsledků půdního průzkumu, a to zejména na mezinárodní úrovni. Část států přejímá WRB i pro půdní klasifikaci na národní úrovni, naopak v řadě zemí je používána národní klasifikace s různým stupněm korelovatelnosti s WRB, většinou jsou v těchto zemích vyvíjeny snahy o korelaci národních klasifikací s klasifikacemi mezinárodními (Kleber *et al*., 2004; Barreta-Bassols *et al*., 2006; Reintam a Köster, 2006; Simas *et al*., 2008; Dazzi *et al*., 2009).

Problematika převodu půdních taxonů z národních taxonomických a klasifikačních systémů do systémů mezinárodních, tedy *World Reference Base* a *Soil Taxonomy,* je v dnešní době mimořádně aktuální zejména v souvislosti s řešením mezinárodních projektů na poli digitálního mapování půd či vytváření mezinárodních půdních databází (e-SOTER, GlobalSoilMap). Zcela specifickým problémem je vytváření půdních map příhraničních oblastí, kdy jsou půdní polygony harmonizovány do mezinárodní klasifikace převodem z klasifikací národních. Při převodu z národních klasifikací do klasifikací mezinárodních se často setkáváme s různými problémy při zařazování a korelaci určitých jednotek, a to jak vyšších, tak nižších taxonomických úrovní. Často je nutno vzhledem k nedostatku analytických dat přikročit k automatickému odvození jednotky mezinárodní klasifikace pouze na základě názvu taxonu v národní klasifikaci bez ohledu na diagnostické charakteristiky daného půdního profilu. Tento přístup je sice možný při mapování v malých měřítkách, při detailnějším přístupu má však za následek značné nepřesnosti. Jako příklad může posloužit půdní typ Rendzina, kterou je možné na základě analytických dat korelovat ve WRB s *Rendzic Leptosol*, *Cambisol* či *Regosol (Calcaric)*, hluboké rendziny dokonce s *Rendzic Phaeozems* (Reintam a Koster 2006). Bližší znalost půd konkrétního regionu, zejména jejich specifických znaků, pak může být významným vodítkem při korelaci jednotlivých skupin půd.

Možnost a úspěšnost korelace půdních typů dvou různých klasifikačních systémů závisí zejména na limitech půdních vlastností nutných pro zařazení půdního profilu do dané půdní klasifikační jednotky. Ty se u jednotlivých referenčních jednotek mohou i signifikantně lišit. Dnešní mezinárodní klasifikace prošly dlouhým přerodem od systematik založených na klasifikaci na základě půdních vlastností k přístupu genetickému a poté opět k principu preference analytických znaků (Bockheim a Gennadiyev, 2000). Korelace mezi systémy proto naráží na řadu problémů souvisejících zejména s většinou přesnými limity půdních vlastností a morfologických znaků vymezujících jednotlivé půdní jednotky. Převoditelnost určité jednotky tedy závisí na míře podobnosti (shody) limitů jejího určení v jednotlivých klasifikacích a značně se mezi jednotlivými třídami liší (Shi *et al*. 2010).

Další skutečností je odlišný způsob získávání informací o půdních charakteristikách, zejména použití různých laboratorních metod při určování půdních vlastností. Tento fakt může být zásadní při převodu starších dat (například sond Komplexního průzkumu půd).

Klasifikace půd v České republice je v současné době reprezentována Taxonomickým klasifikačním systémem půd ČR (TKSP) (Němeček a kol. 2001). Taxonomie navazuje na dřívější systémy, zejména Morfogenetický klasifikační systém půd (Hraško *et al.* 1991) či klasifikační systém lesních půd (Vokoun a Macků, 1993); dále čerpá ze slovenských prací (Kolektiv, 2000). Systém byl navržen tak, aby bylo možno korelovat vyšší taxonomické jednotky s mezinárodními systematickými jednotkami. Proto bylo opuštěn princip preference morfologických půdních znaků před analytickými, charakteristický pro MKSP. Dále byl uplatněn princip hodnocení vyšších taxonomických jednotek podle diagnostických horizontů a znaků až od hloubky 0,25 m (snížení vlivu různého využití půd).

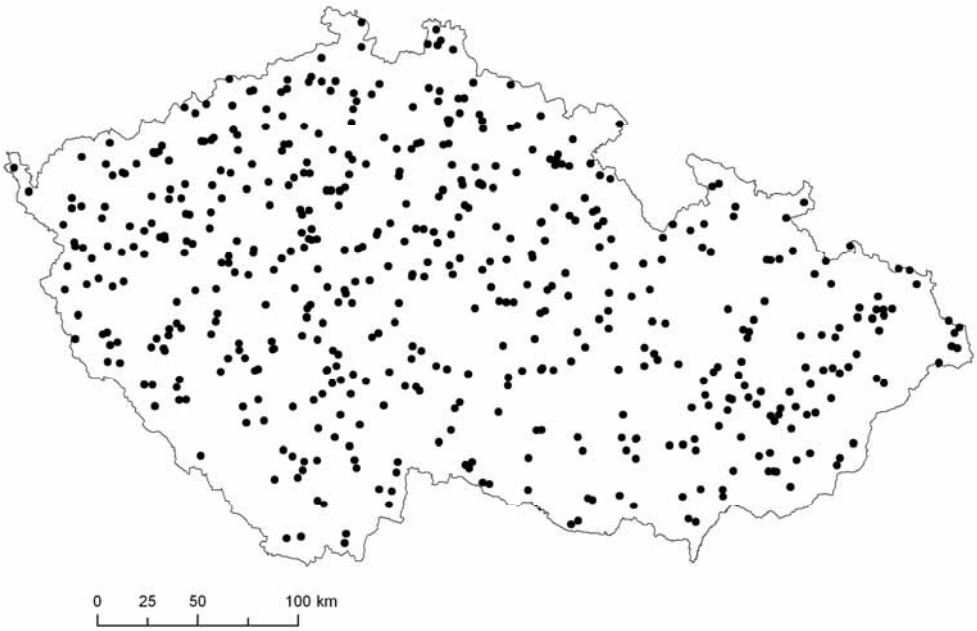
Cílem příspěvku je pomocí zpracování souboru profilů poukázat na problematičnost převodu klasifikací a nezbytnost využití analytických dat pro správnou korelaci.

8.2 MATERIÁL A METODY

Vzorek 523 náhodně vybraných půdních profilů z databáze půdních sond Katedry pedologie a ochrany půd ČZU byl převeden do WRB 2006 (2007) na základě dostupných půdních dat (obr. 1).

Počet jednotlivých taxonomických jednotek byl vybrán proporčně vzhledem k jejich prostorovému zastoupení na území ČR. Pro převod jednotlivých profilů byly využity morfologické znaky i analytická data: stratigrafie profilu, mocnost horizontů, barva půdy, zrnitost, obsah humusu, půdní reakce a sorpční vlastnosti.

V rámci souboru byla u všech profilů provedena korelace s WRB na základě dostupných morfologických znaků a analytických vlastností. V každé jednotce byla poté sledována úroveň korelovatelnosti s analogickou jednotkou ve WRB. Tato úroveň znamená relativní počet sond, které po převodu spadají do určité třídy ve WRB. Pokud se hodnoty pohybují mezi 80-100 %, tedy toto procento sond bylo převedeno do stejné jednotky v rámci WRB, můžeme hovořit o vysoké korelovatelnosti jednotky. U hodnot 50-80 % se jedná o střední, pod 50 % již o nízkou korelovatelnosti jednotky (Shi *et al.* 2010). V potaz byla brána jednak vyšší taxonomická úroveň: tedy půdní typy v TKSP, resp. *Reference Soil Groups* (RSG) ve WRB, srovnána byla i úspěšnost zařazení na úrovni subtypu, resp. *qualifiers*. Na nižší úrovni byly akcentovány zejména převody texturních subtypů a sybtypů zohledňujících trofismus půd.



Obr. 1 Lokalizace vybraných profilů na území České republiky

8.3 VÝSLEDKY

Výsledky korelovatelnosti jednotlivých taxonomických jednotek ukázaly nutnost převodu jednotek s použitím analytických dat nejen na úrovni nižších taxonů, tedy půdních subtypů, ale i na úrovni půdních typů, kde se rovněž projevil nejednotný klasifikační přístup národního a mezinárodního systému.

8.3.1 Převod na úrovní Půdní typ – *Reference soil group*

Na úrovni půdních typů byl z celkového počtu 523 převod do analogické půdní jednotky úspěšný ve 485 případech, tedy z 93 %. Celková úroveň korelovatelnosti půdních jednotek mezi oběma systémy je tedy vysoká. V rámci jednotlivých půdních typů se ovšem úspěšnost převodu výrazně liší (tab. 1).

V případě nevyvinutých půd, tedy Leptosolů, narážíme při klasifikaci na rozdílné limity u skeletovitosti, resp. obsahu jemnozemě. V TKSP je u rankerů limit skeletovitosti stanoven na více než 50 %, u rendzin a pararendzin není hranice obsahu skeletu uvedena. K zařazení do RSG *Leptosols* je třeba, aby byl celkový obsah jemnozemě do hloubky 0,75 m méně než 20 %, tzn. skeletovitost do této hloubky minimálně 80 %. Tento obsah v české klasifikaci splňují v podstatě pouze rankery suťové. Z této výrazné neshody plyne i nižší úspěšnost převodu do RSG *Leptosols*, celkově u těchto tří

půdních typů pouze 50 %. Půdy nesplňující podmínku skeletovitosti jsou řazeny do RSG *Cambisols (Skeletic)* se skeletovitostí minimálně 40 % do hloubky 100 cm.

Regozemě modální byly zařazeny v 75 % do RSG *Regosols*. Speciálním případem jsou potom regozemě arenické, které byly z 50 % klasifikovány jako *Arenosols*. Důvodem nepříliš vysoké míry korelovatelnosti je nastavení limitů obsahu písku v jednotlivých třídách. U Arenosolů je nutný obsah písku ve třídě *Sand* či *Loamy Sand* a zároveň maximálně 15 cm zeminy jiného zrnitostního složení. Proto je pouze část regozemí arenických možné zařadit do Arenosolů, zbývajících 50 % bylo klasifikováno jako *Regosol (Arenic)*.

Přesnost klasifikace černozemí na typové úrovni byla 92 %. Převoditelnost černozemí do RSG *Chernozems* je tedy možno hodnotit jako vysokou. Případy odlišné klasifikace (8 %) se vztahovaly na černozemě, u nichž kalcický horizont začínal níže 50 cm pod spodním okrajem černického (*Mollic*) horizontu. V tomto případě byly řazeny do skupiny *Phaeozems*.

U černic narážíme na některé sporné otázky v jejich zařazení. Obecně jsou řazeny do skupiny *Phaeozems*, ovšem vzhledem k tomu, že řada černic vzniká na karbonátovém substrátu, není toto zařazení vždy důvodné. Řazení černic ke *Gleyic Phaeozems* bylo možné pouze v 56 %. Ostatní černice je vzhledem k přítomnosti kalcického horizontu či sekundárních karbonátů nutno řadit ke *Gleyic Chernozems.*

Šedozemě byly ve 100 % klasifikovány jako *Luvic Phaeozems*. V minulosti byly řazeny k tzv. *Greyzems* (FAO/UNESCO, 1988), tato kategorie ovšem ve WRB 2006 není uváděna. Často se o šedozemích hovoří jako o *Greyic Phaeozems*. Podmínka pro klasifikaci jako G*reyic*, tedy prachová a písková zrna bez jílových povlaků do 5 cm od povrchu půdy, je ovšem poněkud sporná, protože pro zemědělské půdy, jimiž šedozemě téměř výhradně jsou, nemůže být vzhledem k existenci ornice brána v potaz.

Hnědozemě jsou v půdních mapách převáděny do skupiny *Haplic Luvisol*. Klasifikace dle analytických znaků ukázalo 100 % příslušnost hnědozemí do RSG *Luvisols*, pouze 52 % profilů bylo klasifikováno jako *Haplic Luvisols*. V ostatních případech bylo nutno vzhledem k existenci plavohnědého Ev horizontu klasifikovat profil jako *Albic Luvisol*. V TKSP i ve WRB jsou pro diagnostiku luvického, resp. *argického* horizontu, používány hodnoty texturní diferenciace resp. rozdílu obsahu jílu mezi Bt a výše ležícím horizontem. V TKSP by měla diferenciace dosahovat více než 1,3 u středních zemin, u lehčích zemin potom 3 %. Ve WRB je nastaven stejný limit pro lehké půdy, ovšem u středních zrnitostí je hodnota texturní diferenciace pouze 1,2, u těžkých půd potom 8 %. Obecně jsou tedy limity pro tento horizont ve WRB nižší než v české klasifikaci.

U luvizemí bylo 100 % sond klasifikováno jako *Albeluvisol*. U převodu luvizemí je zásadní přítomnost jazykovitých záteků El horizontu v Btd horizontu, která je jednou z podmínek pro diagnostiku ve WRB. U našich luvizemí se tento jev často nevyskytuje, tyto je třeba řadit k *Albic Luvisols*. V daném souboru dat nebyly informace o tomto morfologickém znaku dostupné u všech sond, proto může být hodnota korelovatelnosti ve skutečnosti nižší.

V případě kambizemí byla úspěšnost převodu do třídy *Cambisols* 96 %, což je vzhledem k jejich široké škále limitů vlastností pochopitelné. Výjimku tvoří pouze profily diagnostikované jako kambizem luvická, které byly ve všech případech řazeny do RSG *Luvisols*, protože texturní diferenciace horizontů vždy splnila limity pro klasifikaci *argického* horizontu.

Pelozemě dosahovaly limitů pro zařazení do třídy *Cambisol (Clayic)* v 75 % případů. Nižší hodnota vychází z odlišných limitů pro zařazení profilů do daných jednotek. Pelický horizont u pelozemí v TKSP musí obsahovat min. 35 % frakce pod 0,001 mm (po převodu cca min. 42,6 % frakce pod 0,002 mm) alespoň v části horizontu. Pro zařazení do kategorie *Clayic* musí profil ve vrstvě min. 30 cm obsahovat zeminu zrnitostního složení *jíl*. Limity pro zařazení do kategorie *Clayic* jsou tedy obecně ostřejší než limity pro pelický horizont. Proto je část pelozemí řazena ke *Cambisols (Siltic)*.

V případě půdních typu kryptopodzol a podzol je překážkou k jejich správné klasifikaci nedostatek požadovaných analýz (týká se podílu různých forem železa a hliníku), a to zejména u profilů staršího data. Dalšími diagnostickými vlastnostmi a znaky jsou v TKSP barva, nasycenost sorpčního komplexu a obsah humusu v Bs, ve WRB se jedná o barvu, aktivní pH a rovněž obsah humusu v Bs. Zatímco obsah humusu v Bhs je v TKSP uváděn nad 5 %, u WRB je limit pouze 0,86 % humusu v Bs, hodnoty jsou tedy diametrálně odlišné. Důvodem této neshody může být fakt, že zatímco ve WRB je spodický horizont chápán jako konsolidovaný horizont s jednotnými

diagnostickými limity, v TKSP je dělen podle dalších specifických vlastností na Bhs, Bs, Bvs, Bsd. U barvy lze říci, že limity WRB jsou poněkud volnější.

U kryptopodzolu je míra korelovatelnosti s jednotkou *Entic Podzol* 78 %. Převody k jiným jednotkách se týkaly nedodržení limitu aktivního pH ve spodickém horizontu (pod 5,9), půdy byly klasifikovány jako *Cambisol (Dystric)*. U podzolů byla míra převoditelnosti 100 %.

U většiny hydromorfních půd je situace s převodem poněkud jednodušší, protože jsou diagnostikovány dle převážně morfologických znaků – tedy podle výskytu mramorovaného či glejového horizontu, resp. *stagnic* a *gleyic colour pattern*, nikoliv podle konkrétních analytických limitů. U pseudogleje byl převod na *Stagnosol* potvrzen z 98 %. Spornou otázkou u převodu pseudoglejů luvických je jejich možné zařazení ke *Stagnic Albeluvisols*. Pokud ovšem neexistuje dostatek analytických dat, které by jednoznačně potvrzovaly diagnostiku *Albeluvisolu*, je třeba zachovat preferenční pozici Stagnosolů v klasifikačním schématu WRB.

U stagnoglejů je situace obtížnější. Pokud je horizont Gro mocnější než 25 cm a vyskytuje se v rámci horních 50 cm půdního profilu, je nutno stagnogleje řadit ke *Gleysols* (preference před Stagnosoly), ačkoliv genezí přísluší ke Stagnosolům. Míra korelace stagnoglejů a *Gleysols* byla v tomto případě pouze 75 %, ve zbytku případů byly stagnogleje řazeny ke *Stagnosols*. V případě glejů byla úspěšnost zařazení ke *Gleysols* 100 %.

Tab. 1 Míra korelovatelnosti jednotlivých půdních typů TKSP a *Reference soils groups* ve WRB 2006

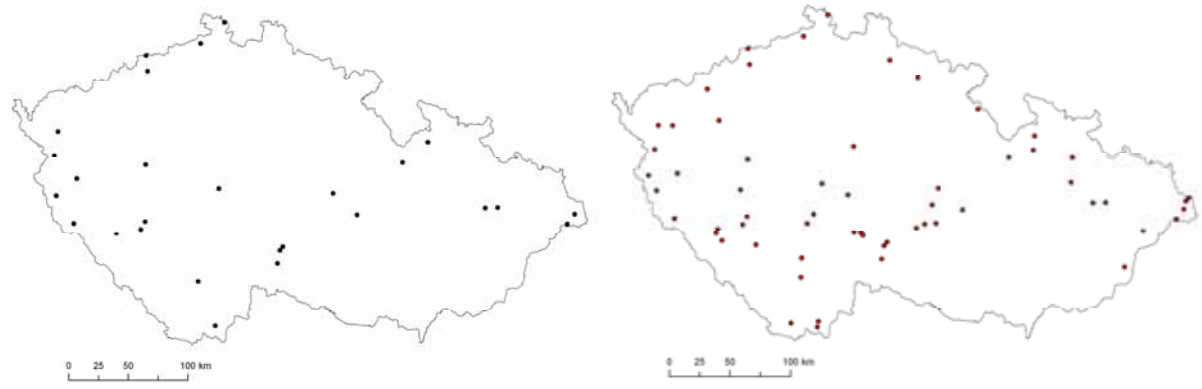
TKSP	**WRB 2006**	**Míra korelovatelnosti (%)**	**Dále spadá do:**
RANKER	Haplic Leptosol	50	Leptic Cambisol
RENDZINA	Rendzic Leptosol	33	Leptic Cambisol
PARARENDZINA	Haplic Leptosol	60	Leptic Cambisol
REGOZEM	Regosol	75	Albeluvisol
REGOZEM ARENICKÁ	Arenosol	50	Regosol
FLUVIZEM	Fluvisol	100	-
SMONICE	Vertisol	100	-
ČERNOZEM	Chernozem	92	Phaeozem
ČERNICE	Phaeozem	56	Chernozem
ŠEDOZEM	Luvic Phaeozem	100	-
HNĚDOZEM	Luvisol	100	-
LUVIZEM	Albeluvisol	100	-
KAMBIZEM	Cambisol	96	Luvisol
PELOZEM	Cambisol Clayic	75	Cambisol Siltic
KRYPTOPODZOL	Entic Podzol	78	Cambisol (Dystric)
PODZOL	Haplic/Albic Podzol	100	-
PSEUDOGLEJ	Stagnosol	98	Planosol
STAGNOGLEJ	Gleysol	75	Stagnosol
GLEJ	Gleysol	100	-
Celkem		**93**	

8.3.2 Převod na úrovní půdní subtyp – *WRB Qualifiers*

Nižší taxonomické jednoty, tedy půdní subtypy v TKSP či *qualifiers* ve WRB představují modifikace půdního typu. Analýza vybraného vzorku sond se v našem případě zaměřila na možnost korelace čtyř jednotek:

- Subtyp dystrický……. *Dystric* q.
- Subtyp pelický …….. *Clayic* q.
- Subtyp arenický ……. *Arenic* q.
- Subtyp luvický ……. *Luvic* q.

V případě *Dystric qualifier* bylo takto diagnostikováno 97 profilů ze souboru. Půdnímu subtypu dystrický ovšem odpovídá pouze 32 vzorků (obr. 2). Tento významný rozdíl je způsoben odlišnými limity vlastností diagnostikujících sorpční nenasycenost. Zatímco v TKSP je půdní subtyp dystrický nasycen u půd zemědělských z 30 %, u půd lesních z 20 %, ve WRB jsou za dystrické považovány půdy se sorpčním komplexem nasyceným z méně než 50 % ve větší části profilu (v TKSP odpovídá spíše varietě mesobazické). Z nastavení obou limitů je zřejmé, že jednotky subtypu dystrického je možné převádět s vysokou úspěšností do WRB, naopak je však korelovatelnost nízká.

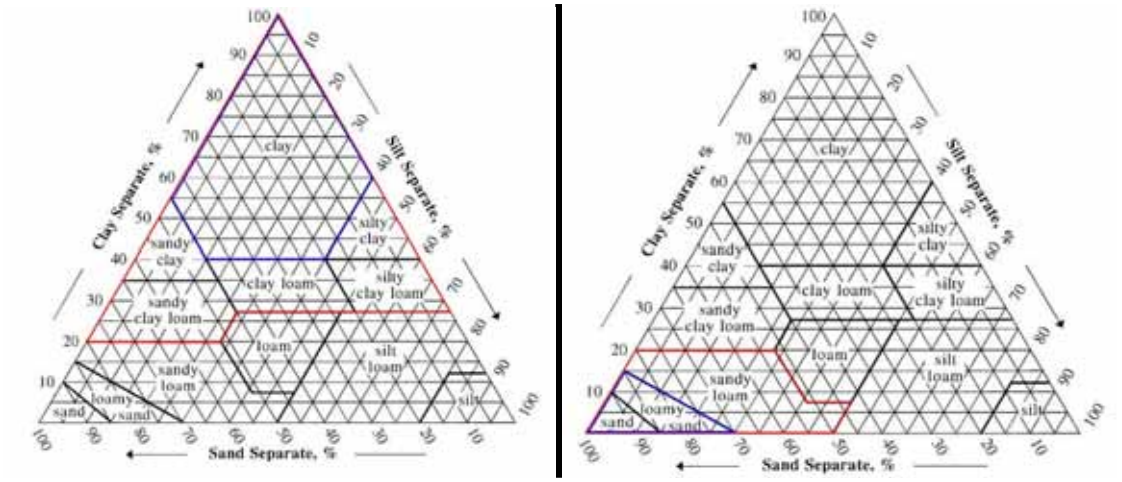


(a) (b)

Obr. 2 Profily s klasifikací kambizem dystrická (a) a *Cambisol Dystric* (b) na území ČR

Podobných výsledků bylo dosaženo v případě texturních subtypů. Důvodem je opět odlišné nastavení limitů pro obsah zrnitostních frakcí (obr. 3). Subtyp pelický byl diagnostikován u 106 sond v souboru, ovšem analogický *qualifier Clayic* pouze u 45 sond, míra korelovatelnosti je tedy pouze 42 %. Arenický subtyp byl klasifikován v 85 případech, *qualifier Arenic* pouze u 6 sond.

Pelický subtyp je v TKSP diagnostikován, pokud má zemina ve větší části profilu zrnitost třídy 4 a 5, to znamená zemina těžká a velmi těžká. Pro *qualifier Clayic* je nutná zrnitost třídy *jíl (Clay*) v minimálně 30 cm profilu v hloubce do 100 cm. Podobně jsou nastaveny limity arenických jednotek. V TKSP je pro subtyp arenický nutná přítomnost zeminy v třídě 1, u některých půdních typů 2 (černozem, černice), u některých není třída definována. Ve WRB 2006 je opět nutná vrstva zeminy mocná 30 cm se zrnitostí *písek* (*Sand)* nebo *hlinitý písek (Loamy sand)*. Rozdíl v klasifikaci je dále dán faktem, že *qualifier Arenic* není nastaven pro RSG *Cambisols* (lehčí zrnitost je typická pro *Haplic Cambisol*). Přesto i pokud eliminujeme ze souboru Kambisoly, je poměr stále výrazný, a to 25 profilů v TKSP resp. 6 ve WRB, úspěšnost korelace je tedy 24 %.



Obr. 3 Limity pro zařazení profilu do jednotky pelický – *clayic* (a) a arenický – *arenic* (b)
Limity TKSP jsou znázorněny červeně, limity WRB modře

U hodnocení subtypu luvický – *luvic*, je nutno rozdělit výsledky i dle půdních typů. U luvických černozemí byla shoda pouze v 28 %, zatímco v luvických pseudoglejů 85 %. Tento nepoměr lze snad vysvětlit tvrzením, že v TKSP se u černozemí luvických klade hlavní důraz na jeji odvápnění, naproti tomu ve WRB musí skutečně obsahovat *argic horizon*. Proto byla řada černozemí luvických korelována s *Haplic Phaeozem*. Formování pseudoglejů luvických z luvizemí již předem podmiňuje výskyt luvického/*agrického* horizontu, proto je zde shoda výrazná.

Celkově je tedy možné konstatovat, že obecná míra převoditelnosti jednotek založená na převodu názvu TKSP do jednotek WRB je vysoká (93 %), u jednotlivých půdních typů ovšem značně kolísá. Nejvyšší hodnoty korelace vykazují ty jednotky, u nichž je diagnostika dána především morfologickými znaky, tedy fluvizemě, smonice a hydromorfní půdy. Vysokých hodnot je dosaženo rovněž u Luvisolů. Tento výsledek je dán obdobnými limity půdních vlastností pro diagnostiku luvického, resp. *argického* horizontu. Stejný výsledek byl zaznamenám u podzolů. Vysoké hodnoty byly zaznamenány u kambizemí a černozemí. Nižší hodnoty korelace u černic, leptosolů či pelozemí jsou dány odlišným nastavením limitů půdních vlastností pro jednotlivé půdní typy.

V obdobném výzkumu korelovatelnosti čínské národní půdní klasifikace a WRB byly vysoké hodnoty korelace zaznamenány u podzolů, fluvizemí a arenosolů, naopak černozemě dosahovaly pouze 61 % a gleje 48 % (Shi *et al*., 2010).

Korelovatelnost vybraných půdních subtypů je naopak velmi slabá, platí to zejména u subtypů zohledňujících texturní modifikace.

8.4 ZÁVĚR

Na příkladu zpracování souboru profilů z celého území České republiky ukázala studie nutnost analytického přístupu s použitím kvantitativních dat při vzájemné korelaci půdních jednotek mezi dvěma klasifikačními systémy, TKSP a WRB. Přes celkovou vysokou míru korelovatelnosti (93 %) vykazovaly jednotlivé půdní typy vysokou variabilitu této hodnoty. Zejména u některých jednotek, například leptosolů, regozemí, černic či pelozemí, je skutečně správný převod možný až po zjištění analytických vlastností jednotlivých profilů. Naopak některé jednotky, např. kambizemě, fluvizemě či pseudogleje jsou korelovatelné s poměrně vysokou pravděpodobností správného přiřazení. Na úrovni půdních subtypů výzkum ukázal vysoký stupeň nekompatibility analogických jednotek v obou klasifikacích. Určování půdního subtypu, resp. *qualifieru*, by tedy mělo podléhat výhradně analytickému zpracování.

Přístup analytického rozboru jednotlivých profilů je žádoucí a možný při vytváření map velkých měřítek. Při zpracování dat středních a menších měřítek by byl tento přístup náročný; je tedy vhodné spojit základní korelaci klasifikačních jednotek se znalostí analytických dat pro jednotlivé půdní taxony, která jsou statisticky zpracovaná ze souboru profilů pro menší regionální jednotky. Tak lze uspokojivě vyřešit rozpor mezi vysokou náročností na datové podklady a správností mezisystémové korelace a současně naplnit dnes velmi aktuální požadavek na využití kvantitativního formátu dat.

Poděkování

Publikováno v rámci projektu EU FP7-ENV-2007-1 (eSOTER: Regional pilot platform as EU contribution to a Global Soil Observing System) a výzkumného záměru MSM 6046070901.

Literatura

BARRETA-BASSOLS N., ZINCK J.A., RANST E.V. 2006. Local soil classification and comparison of indigenous and technical soil maps in a Mesoamerican community using spatial analysis. *Geoderma* 135, 140-162.

BOCKHEIM J.G., GENNADIYEV A.N. 2000. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma* 95, 53-72.

DAZZI C., PAPA G.L., PALERMO V. 2009. Proposal for a new diagnostic horizon for WRB Anthrosols. *Geoderma* 151, 16-21.

DROOGERS P., BOUMA J. 1997. Soil survey input in exploratory modeling of sustainable soil management practices. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1704-1710.

FAO/UNESCO 1988. Soil Map of the World, Revised Legend, with Corrections. FAO, Rome. Technical Paper 20. *Reprint of World Soil Resources Report* 60.

FAO/ISRIC/ISSS 1998. World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports* 84, 1-87.

HRAŠKO J., LINKEŠ V., NĚMEČEK J., NOVÁK P., ŠÁLY R., ŠURINA B. 1991. *Morfogenetický klasifikačný system pôd ČSFR*. VÚPÚ Bratislava, 106 s. ISBN 80-85361-05-1

ISBELL R.F. 1996. *The Australian Soil Classification.* CSIRO Publishing, Collingwood.

IUSS Working Group WRB 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. FAO, Rome. *World Soil Resources* Reports No. 103.

KLEBER M., MIKUTTA C., JAHN R. 2004. Andosols in Germany - pedogenesis and properties. *Catena* 56, 67-83.

KOLEKTIV, 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia.* VÚPOP Bratislava, 76 s., ISBN 80-85361-70-1.

NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU, Praha, 79 s.

REINTAM E., KÖSTER T. 2006. The role of chemical indicators to correlate some Estonian soils with WRB and soil taxonomy criteria. *Geoderma* 136, 199-209.

SHI X.Z., YU D.S., WARNER E.D., SUN W.X., PETERSEN G.W., GONG Z.T. 2006. Gross-reference system for translating between genetic soil classification of China and soil taxonomy. *Soil Science Society of America Journal* 70 (1), 78-83.

SHI X.Z., YU D.S., XU S.X., WARNER E.D., WANG H.J., SUN W.X., ZHAO Y.C., GONG Z.T. 2010. Cross-reference for relating Genetic Soil Classification of China with WRB at different scales. *Geoderma* 155, 344-350.

SIMAS F.N.B., SCHAEFER C.E.G.R., FILHO M.R.A., FRANCELINO M.R., FILHO E.I.F., DA COSTA, L.M. 2008. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma* 144, 116-122.

SMITH G.D. 1963. Objectives and basic assumptions of the new classification system. *Soil Science* 96, 6-16.

USDA-NRCS 1999. *Soil Taxonomy.* Agricultural Handbook No. 436, Second Edition. USDA, 869 s.

VOKOUN J., MACKŮ J. 1993. *Klasifikační systém lesních půd*. ÚHÚL Brandýs nad Labem, 54 s.

9. PRÍSPEVOK KU KLASIFIKÁCII ANTROPOGÉNNYCH PÔD

9 A contribution to the classification of anthropogenic soils

Zuzana Tatarková, Zoltán Bedrna*

ABSTRAKT
Výskum sa orientoval na problematiku a fenomén antropogénnych pôd s dôrazom na recentné, pokryté, pochované pôdy, „nepôdu“, substrát a zeminu. Rozlíšenie pokrytej a pochovanej pôdy spočíva najmä v hrúbke technogénneho materiálu na povrchu pôdy a intenzite zásahu do pôdy. Pod pojmom „nepôda“ rozumieme prírodný útvar, ktorý nemá vlastnosti a charakter pôdy. Termíny substrát a zemina predstavujú prírodné alebo umelé útvary umožňujúce rast rastlín.
Kľúčové slová: recentná pôda, pokrytá pôda, pochovaná pôda, nepôda, substrát, zemina

ABSTRACT
The research was oriented to the problems of anthropogenic soil with emphasis on recent soil, sealed soil, buried soil, “non-soil”, substrate and earth. The difference between overlapped soil and buried soil is in the thickness of technogenic material on the land surface and intensity of human impacts into the soil. The term “non-soil” represents natural body which doesn’t have characteristics and properties of soil. The terms substrate and earth are natural or man-made formations which do enable growing of plants.
Key words: recent soil, sealed soil, buried soil, „non-soil“, substrate, earth

9.1 ÚVOD

Výskum antropogénnych pôd je pomerne zložitý, pretože správne opísať a určiť antropogénne pôdy je veľmi náročné. Nie je to len v dôsledku ich veľkej heterogenity, ale aj nevyhnutnej analytickej charakteristiky ako dôkazu antropického vplyvu človeka na pôdu. Mnoho pôdoznalcov (Bedrna, 1995; Lehmann, Stahr, 2007; Rossiter, 2007; Sobocká, 2003, 2007, 2008; Stroganova, Prokofieva, 2001) sa rozchádza v názoroch ako klasifikovať antropogénne pôdy a ako pristupovať k pôdam pokrytým a pochovaným. Avšak v prípade pokrytých a pochovaných pôd ich identifikácia nespočíva na analýze ich fyzikálnych a chemických vlastností, ale na opise morfologických znakov. Tieto znaky musia mať trvalejší charakter. Polemika sa týka aj nového pojmu v pedológii „nepôda“.

9.1.1 Definície klasifikačných pojmov antropogénnych pôd

Zjednodušene sa pôda kedysi chápala ako prírodný útvar, ktorý bol v dôsledku procesov pedogenézy usporiadaný do pôdnych horizontov. Aktuálny Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska (Kolektív, 2000) pôdu definuje ako najvrchnejšiu časť zemskej kôry, ktorá vzniká na styku a za pôsobenia biosféry, atmosféry, litosféry a hydrosféry a s ktorými má sústavnú látkovú a energetickú výmenu, umožňuje rast rastlín a rozklad ich produktov, má teda produkčnú a iné funkcie. Ďalej zdôrazňuje, že ostané časti zemského povrchu pôdou v tomto ponímaní nie sú.

Antrozeme sú pôdy s antrozemným Ad-horizontom vzniknutým z premiestnených antropogénnych materiálov rôzneho pôvodu v hrúbke > 35cm (Kolektív, 2000). Pôdne subtypy antrozemí sú nasledovné: modálna, iniciálna, rekultivačná, prekryvná.

WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) definuje objekt klasifikácie ako „akýkoľvek materiál do 2 m od zemského povrchu, ktorý je v kontakte s atmosférou s vylúčením vyšších živých organizmov, území so súvislým ľadom a vodných plôch“. Definícia takto zahrňuje súvislé horniny a materiály, dláždené a asfaltové urbánne pôdy, pôdy priemyselných území, jaskynné pôdy a subakválne pôdy do 2 m.

WRB k antropogénnym pôdam zaraďuje dve referenčné pôdne skupiny – Antrosoly a Technosoly. Referenčná skupina Technosoly zahŕňa pôdy, ktorých vlastnosti a pedogenéza sú dané ich technickým

* Mgr. Zuzana Tatarková, doc. Ing. Zoltán Bedrna, DrSc., Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, SR, e-mail: tatarkova@fns.uniba.sk, bedrna@fns.uniba.sk

pôvodom a ktoré sa vyvíjajú na stavebnom, domovom odpade, na ruinách, pôdy pod čerpacími stanicami pohonných hmôt, pôdy v environmentálne zaťažených oblastiach. Sú to pôdy s netypickými vlastnosťami a môžu byť vekom veľmi mladé. U niektorých z nich je veľmi ťažko určiť hranicu medzi pôdou a „nepôdou“.

Diagnostika Technosolov (IUSS Working Group, 2006):

- ✓ obsahujú > 20 % (objemových) artefaktov vo vrchných 100 cm od pôdneho povrchu alebo súvislú technickú horninu, cementovanú alebo stvrdnutú vrstvu, ktorá je plytšie,
- ✓ súvislú, veľmi slabo priepustnú až nepriepustnú stavebnú geomembránu začínajúcou do 100 cm od pôdneho povrchu,
- ✓ technickú horninu začínajúcu 5 cm od pôdneho povrchu a pokrývajúcu > 95 % horizontálnej plochy pôdy.

Vybrané prefixy Technosolov:

- ekranický (ek) – majúci technickú horninu do 5 cm od povrchu pôdy a pokrýva > 95 % horizontálnej rozlohy pedonu,
- linický (lc) – majúci súvislú, veľmi slabo priepustnú až nepriepustnú stavebnú geomembránu určitej hrúbky do 100 cm od povrchu.

Pod technickou horninou chápeme konsolidovaný materiál vytvorený priemyselnými procesmi (človekom) s vlastnosťami, ktoré sú podstatne odlišné od prírodných materiálov a hornín.

WRB nerieši definíciu a charakteristiku diagnostických horizontov pre Technosoly. V prípade Technosolov nie je definovaný ani jeden horizont, čo znamená, že neexistujú pevné hranice pre určenie týchto pôd. Pri identifikácii pôdnych typov, s výnimkou Technosolov, sa opierame práve o rozpoznanie a následnosti pôdnych horizontov. Ich identifikácia sa opiera len o pár pevne stanovených diagnostických znakov (iniciálny pôdotvorný proces, obsah artefaktov >20%) a prebieha teda predovšetkým na základe opisu určitých morfologických znakov a skúseností pôdoznalcov. Príkladom môže byť *Garbic Technosol*, teda pôda vyvinutá na komunálnej skládke a z odpadu. V prípade spomenutých pôd dochádza postupom času k ďalšiemu vývoju a na povrchu sa formuje iniciálny horizont. Vo WRB sa uvádza, že Technosoly nemajú vo všeobecnosti žiadny vývoj pôdneho profilu, hoci na starých smetiskách môže byť pozorovaná evidentne prírodná pedogenéza, ako translokácia ílu. Špecifický vývoj profilu sa môže prejaviť tiež v kontaminovaných prírodných pôdach.

Cieľom príspevku je definovať a charakterizovať pojmy: pokrytá pôda, prekrytá pôda, pochovaná pôda, „nepôda“, substrát a zemina.

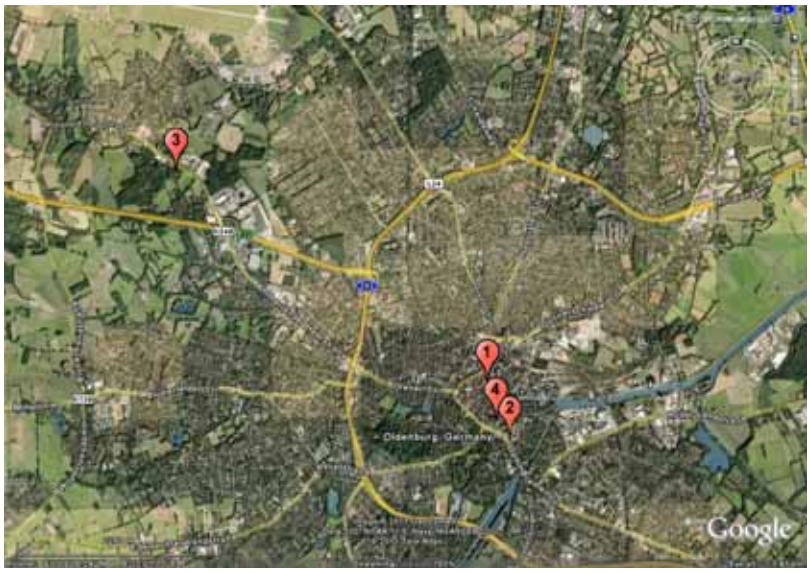
9.2 MATERIÁL A METÓDY

Terénny prieskum bol uskutočnený v historickej a okrajovej časti mesta Oldenburg v Nemecku, Spolková krajina Dolné Sasko, počas augusta 2010. Práca zahŕňala rekognoskáciu územia, na ktorú nadväzoval výber vhodných modelových lokalít v rámci pedourbánneho komplexu (Sobocká, 2007) tak, aby boli reprezentované plochy pokryté, zastavané. Nasledoval opis a charakteristika vybraných plôch a fotodokumentácia.

Vybrané boli nasledovné územia: (viď obr. 1):

- pôdy v rôznom rozsahu pokrytia: (1) Achternstrasse, (2) Schlossplatz, (3) Ammerländer Heerstrasse,
- stavba demonštrujúca zastavanie územia: (4) Markplatz.

Pri opise a klasifikácii skúmaných pôd resp. plôch sme vychádzali z platných definícií pôdy a antropogénnych pôd uvedených v MKSP Slovenska (Kolektív, 2000) a WRB (IUSS Working Group WRB, 2006).



Obr. 1 Umiestenie modelových lokalít (zdroj: Google Earth)

9.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Recentná pôda vzniká prírodne alebo činnosťou človeka v holocénne, t.j. je mladšia ako 5 000 rokov (Bedrna, Košťálik, 1999). Nachádza sa vo väčšine prípadov priamo na povrchu zeme. Cieľom súčasných pôdnych klasifikácií je klasifikovať práve recentné pôdy a reliktné pôdy na povrchu terénu. Pôdy staršie ako 5 000 rokov sú holocénne pôdy v Strednej Európe, vytvorené v teplejších a suchších alebo vlhších podmienkach, ktoré podmienili vznik černozemí, luvizemí a podzolov na miestach, kde súčasné klimatické podmienky pôdotvorby sú odlišné. Na povrchu terénu sú aj reliktné pôdy vytvorené v starších geologických dobách. Tieto ale v súlade s koncepciou pamäte pôdy (Targuljan, Gorjačkin, 2008) dedia znaky predchádzajúcich pôdotvorných procesov (rubifikácie, ilimerizácie, brunifikácie).

9.3.1 Pôdy pokryté

Pod pokrytou pôdou (*soil sealing*) rozumieme pokrytie pôdy iným ako humóznym materiálom, ktorý má trvalejší charakter, avšak je možné pôdu znova odkryť a využívať za iným účelom. Technogénny materiál na povrchu pôdy dosahuje maximálnu hrúbku 50 cm. Za pokrytú pôdu považujeme chodníky, detské pieskoviská, tenisové kurty s antukou na povrchu, parkoviská, cestné komunikácie s výnimkou diaľnic.

Burghardt *et al.* (2004) chápe pokrytie pôdy ako oddelenie (izoláciu) pôdy od atmosféry a nadzemnej biosféry nepriepustnými vrstvami. Tento fenomén má silný dopad na samotné pôdy a ich vlastnosti. Stupeň pokrytia (izolácie) pôdy sa vzťahuje k určitému typu využívania krajiny a hustoty obyvateľstva.

Obr. 2 Dlažobná kocka (výška 10 cm) kladená na technogénny materiál (hrúbka cca 30 cm), Achternstasse, Oldenburg (*foto: Z. Tatarková*)

Podľa definície EEA (http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe) pokrytie pôdy sa týka zmeny podstaty pôdy tým spôsobom, že sa správa ako nepriepustné médium (napr. aj kompakcia poľnohospodárskymi mechanizmami). Tento termín sa používa pre pokrytie povrchu pôdy nepriepustnými materiálmi ako je betón, kovy, sklo, makadam alebo plast.

Uvádzame niekoľko príkladov pokrytia pôdy. Pri tvorbe chodníkov na Achternstrasse v historickom centre mesta Oldenburg (obr. 2) sa aplikuje na pôdu vrstva technogénneho materiálu v hrúbke cca 30 cm, na ktorú sa kladú dlažobné kocky vysoké 10 cm. To znamená, že pôda je pokrytá vrstvou minimálne 40 cm. Technogénny materiál tvorí rôznorodá hrubozrnná zmes, ktorá obsahuje $CaCO_3$, alebo je bez jeho obsahu.

Tesne uložená dlažba neumožňuje v medzipriestoroch dostatočnú akumuláciu prachu (obr. 3), preto v takomto prípade nie je umožnený rast vegetácie, na rozdiel od dlažby, ktorá je uložená voľne. V škárach sa hromadí prach, ktorý umožňuje uchytenie a rast vegetácie. Pôdy s dlažbou na povrchu sú vo WRB pomenované ako ekranické Technosoly.

Obr. 3 Dlažba v tesnom uložení neumožňuje rast vegetácie na rozdiel od voľne uloženej dlažby, Achternstrasse (A), Schloßplatz (B), Oldenburg (*foto: Z. Tatarková*)

V prípade pokrytia pôd len dlažobnými kockami s vynechaním technogénneho podkladového materiálu, pôdy nie sú natoľko izolované, sú čiastočne v kontakte s atmosférou a preto u nich do určitej miery stále prebieha iniciálna pedogenéza (obr. 4). Vegetácia rastie na pôvodnej pôde, ktorá bola čiastočne prekrytá (vo WRB ekranické Technosoly).

Obr. 4 Prekrytie pôdy len dlažobnými kockami, využitie plochy – parkovisko, Ammerländer Heerstrasse, Oldenburg (*foto: Z. Tatarková*)

K pokrytým pôdam môžeme zaradiť aj pôdnu referenčnú skupinu WRB Technosoly s prefixami *Ekranic* a *Linic*, teda pôdy pokryté technickou horninou alebo s výskytom technickej horniny v profile do 100 cm. Tu je dôležité upozorniť na fakt, že ekranické formy Technosolov nie je vhodné mapovať ako pôdu. Nie je prípustné zdôvodňovať túto skutočnosť tým, že ak by na danej ploche nebol chodník, cesta, budova a pod. bola by tam pôda. Pri mapovaní sa zobrazuje aktuálny stav krajiny. Ak je na určitej ploche cesta, chodník, mapuje sa objekt ako pokryté, resp. ako zastavané územie, nie ako pôda, ktorá sa nachádza pod daným objektom. Výrazne heterogénne územia, kde sa na relatívne malom priestore husto striedajú pôdy s plochami zastavanými, mapujeme podľa Sobockej (2007) ako pedo-urbánny komplex.

9.3.2 Pôdy prekryté

Krátkodobé prekryvy pôdy, napr. prekrytie pôdy nástielkou, fóliou pri pestovaní zeleniny alebo tenšou vrstvou štrku alebo piesku, nemôžeme považovať za diagnostický znak vyššie spomenutých pôd. Preto ich nazývame ako pôdy prekryté.

9.3.3 Pôdy pochované

Za pochovanú pôdu považujeme zastavanie pôdy budovami a diaľnicami. Zo zákona vykonávanou skrývkou humusu sa z povrchu pôdy odstráni jej najúrodnejšia časť. Výstavbou pivníc alebo podzemných garáží sa hlboko a výrazne zasahuje do telesa pôdy, to znamená, že pri výstavbe, ktorá siaha až po pôdotvorný substrát, dochádza k odstráneniu pôdy (obr. 5, 6). Na pochovanej pôde sa nachádza antropogénna technogénna vrstva hrubá viac ako 50 cm. V prípade pochovaných pôd je veľmi významné časové hľadisko. Budovy a diaľnice majú trvalý charakter (v prípade historických budov aj niekoľko storočí).

Z dôvodu vyššie uvedených skutočností pochovanú pôdu definujeme ako pôdu, z povrchu ktorej bol odstránený humusový horizont a na ktorej bola umiestená stavba, ktorej žiadna časť nedosahuje pôdotvorný substrát.

Podklad budov a komunikácií nazval Kolény (1994) ako Technosol urbický a komunikačný. Pôdy bez vegetácie pod stavbami, ulicami a pod. pomenoval Hraško (2008) ako Urbisoly. Tieto riešenia nepovažujeme za najšťastnejšie, pretože v prípade zastavaného územia už nemôžeme uvažovať o pôde. Vychádzajúc z predpokladu, že termín „sol“ je odvodený od termínu „pôda = solum“ vrchná časť pedonu zahrňujúca všetky horizonty, na vzniku ktorých sa podieľajú pedogenetické procesy až po pôdotvorný substrát (Kolektív, 2000), je nutné tieto útvary pomenovať inak s vynechaním tohto termínu.

Obr. 5 Pri výstavbe budovy sa aplikujú materiály, ktoré izolujú budovu od podložia, Marktplatz, Oldenburg (*foto: Z. Tatarková*)

Obr. 6 Pri výstavbe diaľnic dochádza k výraznému zásahu do pôdy a odstráneniu jej povrchovej časti; diaľnice majú dlhotrvajúci charakter (www.dialnicapb.blogspot.com)

Hraško (2008) otázku „V akom stupni a v akom chápaní môžeme plochy pôd, ktoré sú toho času pod rôznymi druhmi výstavby považovať za súčasť pôdneho krytu Zeme?“ zodpovedal nasledovne: „Je dôležité postaviť si kriteriálny limit - budeme považovať za pôdu len tú povrchovú časť zemskej kôry, ktorá súčasne plní všetky funkcie, ktoré môže pôda plniť, alebo môže niektorá funkcia pôdy

dočasne absentovať. Rozhodujúce pritom je, či po odstránení takejto prekážky bude povrchová vrstva zemskej kôry schopná dočasne absentujúcu funkciu plniť. Týka sa to najmä opätovnej schopnosti povrchovej vrstvy zemskej kôry byť stanovišťom vegetácie."

S problematikou pokrytých a pochovaných pôd úzko súvisí fenomén *soil sealing*, ktorý je považovaný za jeden z prejavov antropizácie pôd. *Soil sealing* znamená izoláciu pôdy od ostatných komponentov ekosystému (biosféra, atmosféra, hydrosféra, antroposféra) zapríčinenú z čiastočne alebo úplne nepriepustných materiálov, čím dochádza k strate pôdnych funkcií. Prebiehajúce pôdne procesy sú pri pokrytých pôdach prudko narušené, obmedzené a potlačené. Pôdy pod nepriepustnými povrchmi vykazujú porušenie štruktúry (vysoká zhutnenosť a znížená pórovitosť), prerušený kolobeh uhlíka (C), dusíka (N_2), kyslíka (O_2), ako aj ostatných prvkov (Juráni, Krížová, 2008).

Otázkou zostáva ako klasifikovať plochy zelene na strechách budov, ktoré sú vytvorené za účelom náhrady absentujúcej vegetácie v mestách, tzv. *green roofs*. Keďže v tomto prípade bola zemina človekom na strechy budov umelo navezená a po uplynutí určitého času v nej dochádza k iniciálnym pedogenetickým procesom, je možné ju považovať za antrozemný horizont Ad a následne tento objekt klasifikovať ako antrozem iniciálna (ANä). Ako klasifikovať substrát tejto pôdy je problematické. Krytina strechy je jednoznačne technogénny materiál, avšak v MKSP (2000) nie je k nemu uvedený žiadny vhodný ekvivalent.

Blume a Giani (2005) dokonca navrhujú strechy budov klasifikovať ako *Protic Syrosem* ako výsledok zvetrávania a pôdneho formovania na horných mm skál pôsobením lišajníkov a mikroorganizmov ako je to v prípade *Lithic Leptosol* (WRB, 2006). *Protic Syrosem* je pôda s nízkou akumuláciou organických látok v poróznych horninách (AG Boden, 2005).

9.3.4 Pojmy pôda a „nepôda"

Definovaním pojmu „nepôda" (litogénny prírodný útvar, ktorý nemá vlastnosti a charakter pôdy) sa docieli presné vymedzenie pôdnych a nepôdnych útvarov, čo bude mať veľký význam aj pri mapovaní krajiny. V prípade odlíšenia „nepôdy" od pôdy treba rešpektovať stálosť určitého identifikačného znaku a jeho význam pre zmenu pôdnych vlastností. Vyčleniť a klasifikovať „nepôdu" by umožňoval genetický prístup klasifikácie pôd.

Hranica medzi pôdou a „nepôdou" spočíva v uplatnení definície pôdy, kedy technogénne materiály, zemina, hornina, budovy, voda a ľad nemajú humus, vrstvy a horizonty, vlastnosti a funkcie prírodného útvaru. Za pôdu nemôžeme považovať nielen technogénne substráty, ale aj urbanizované plochy prekryté budovami, cestami a chodníkmi, ako aj výstupy pevných hornín pokryté len machom, riasami a lišajníkmi (Bedrna, 2008).

Pojem „nepôda" použil už v roku 1994 Račko pri vysvetľovaní vplyvu človeka na pôdy. Za „nepôdu" považuje úplne zničenú pôdu nevratnou deštrukciou. Hraško (2008) na otázku „Je možné vyrobiť pôdu?" odpovedá pozitívne s odôvodnením, že „ak za pôdu považujeme fluvizeme, ktoré boli pôvodne súčasťou iných pôd a materiál týchto pôvodných pôd bol premiestený po predchádzajúcom premiešaní pri transporte riečnymi tokmi a resedimentovaný na novom mieste, môžeme podobnú paralelu aplikovať aj na tie substráty a pôdy, ktorých transportným prostriedkom nebol vodný tok, ale automobily alebo materiálové prepravníky".

Význam termínu pôda a „nepôda" pre mapovanie a zostavovanie pôdnych máp vyplýva aj z pôdnej mapy Európy (Jones, Montanarella, Jones *et al*., 2005), kde v legende pri skupinách pôd podľa WRB sú aj: skaly, zastavané plochy, človekom devastované plochy, vodné plochy a ľad.

9.3.5 Pojmy substrát a zemina

Prirodzené substráty predstavujú v prírode sa vyskytujúce a prírodnými procesmi formované útvary, ktoré umožňujú zakoreňovanie a rast rastlín. Príkladom môže byť materiál (piesok, prach), ktorý sa akumuluje v puklinách chodníkov, ciest, budov alebo v trhlinách skál, a ktorý umožňuje rast vegetácie. Keďže rastliny majú vysokú schopnosť vytvoriť si vhodné podmienky pre svoj rast a vývoj, často rastú aj v takto nepriaznivých podmienkach.

Antropogénne substráty vytvoril, prispôsobil alebo špeciálne upravil človek. Antropogénny substrát je teda človekom umele vytvorené prostredie z prírodných alebo technogénnych materiálov na zakoreňovanie rastlín, ako napr. piliny, plasty. Taktiež obyčajným navrstvením prírodného alebo technogénneho materiálu sa vytvárajú iba antropogénne substráty a to vzhľadom na to, že dané útvary nemajú pôdne horizonty a iné vlastnosti typické pre pôdu.

K antropogénnym substrátom zaraďujeme aj zeminu, ktorú človek vytvoril za účelom pestovania rastlín. Je vytvorená zmiešaním rôznych prírodných materiálov (ako rašelina, piesok a pod.) a slúži ako médium využívané najmä v záhradníctve a kvetinárstve pre rast fluóry. Preto má zvýšený obsah makroživín, mikroživín, organických látok a mnohokrát je úrodnejšia ako pôda. Nemá však horizonty, nie je v kontakte s litosférou, často nespĺňa niektoré ekologické a environmentálne funkcie. Rekultivačná zemina, ktorá sa aplikuje na poľnohospodárske pôdy, sa vplyvom agrotechnických zásahov do pôdy, ako orba, premiešava s pôdnym horizontom a postupom času sa stáva súčasťou pôdneho horizontu a teda súčasťou pôdy.

Jednou z najdôležitejších funkcií pôdy je jej produkčná funkcia. Pôda má však mnoho iných vlastností a znakov, ktoré ju robia pôdou a preto rast rastlín nemôže byť jediné kritérium na definíciu pôdy.

9.4 ZÁVER

Problematika pôdy a „nepôdy“, ich definícia je téma široká a komplikovaná. Mnoho pôdoznalcov sa v názoroch rozlišuje a preto treba stanoviť jasné pravidlá, kritériá a diagnostické znaky, pomocou ktorých sa dá jednoznačne pôda klasifikovať a vyčleniť útvary, ktoré pôdou nie sú. A to najmä v spojitosti so zastavaným resp. pokrytým územím. Pomenovanie chodníkov ako Technosol je neprípustné, ako aj nazývať podklady budov a komunikácií ako Technosol urbický, komunikačný, prípadne ako Urbisol. V prípade pokrytých a zastavaných pôd je veľmi dôležité časové hľadisko, t.j. dĺžka trvania pokrytia pôdy. Taktiež je nutné dopracovať kritériá, ktoré vytvoria presnú hranicu medzi pokrytou a zastavanou pôdou.

Hoci substrát a zemina sú pojmy, ktoré je možné si ľahko zameniť, najmä v spojení s ich použitím v záhradníctve a kvetinárstve, substrát je pojem oveľa širší a zahŕňa jednak prírodné ako aj človekom vytvorené útvary. Akumulovaný prírodný materiál, ktorý umožňuje rast rastlín, je nutné nazývať substrát a nie pôda. Zemina je materiál, ktorý bol vytvorený zmiešaním rôznych prírodných materiálov a bol špeciálne upravený na podporu rastu rastlín. Spadá pod antropogénne substráty, pretože je výsledkom ľudských aktivít.

Literatúra

AG BODEN 2005. *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Aufl., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Niedersächsischess Landesamt für Bodenforschung, Hannover, 438 s.

BEDRNA, Z. 1995. Príspevok ku klasifikácii a mapovaniu pôd pozmenených antropogénnou činnosťou. *Geografický časopis* 47, č. 2, 119-129.

BEDRNA Z. 2008. Problémy antropizácie pôd. In: Sobocká, J., Kulhavý, J. (eds): *Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov*, VÚPOP, Bratislava, 263-269.

BEDRNA Z., KOŠŤÁLIK J. 1999. Klasifikácia fosílnych pôd a pôdnych sedimentov Slovenska. VÚPOP Bratislava, 40 s.

BLUME H.-P., GIANI L. 2005. Classification of Soils in Urban/Industrial Agglomerations in Germany and recommendations for WRB, *Eurasian Soil Science,* Vol. 38, Suppl. 1, 72-74.

BURGHARDT, W., W., BANKO, G., HOEKE, S., HURSTHOUSE, A., DE L'ESCAILLE, T., LEDIN, S., MARSAN, F. A., SAUER, D. AND STAHR, K., 2004. TG 5 – Soil sealing, soils in urban areas, land use and land use planning. In: Van-Camp *et al.* (eds): *Repots of the Technical Working Groups, Volume – V, Monitoring*. EUR 21319 EN/5, 82 p.

HRAŠKO J. 2008. Antropizácia pedosféry a jej typologické a klasifikačné dôsledky, In: Sobocká, J. (ed.): *Antropizácia pôd IX. Zborník príspevkov*, VÚPOP Bratislava, 5-11.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006, *World resources reports*, No. 03, FAO, Rome.

JURÁNI B., KRÍŽOVÁ L. 2008. Antropizačný fenomén „soil sealing“ v podmienkach Slovenska, In: Sobocká, J. (ed.): *Antropizácia pôd IX. Zborník príspevkov*, VÚPOP Bratislava, 39-45.

JONES A., MONTANARELLA L., JONES R. *et al*. 2005. *Soil Atlas of Europe*. European Communities, Italy, 128 pp.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*, VÚPOP Bratislava, 76s.

KOLÉNY M. 1994. Príklady mapovania silne devastovaných pôd v priestore Bystrička a Martin. In: Bedrna, Z. (ed.): *Antropizácia pôd I.* PriF UK Bratislava, 24-25.

LEHMANN A., STAHR K. 2007. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J Soil Sediments* 7(2), 247-260.

RAČKO J. 1994. Príspevok k antropizácii pôd na príklade Dolnomoravskej nivy. In: Bedrna, Z. (ed.): *Antropizácia pôd I.* PriF UK Bratislava, 12-14.

ROSSITER D.G. 2007. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. *J Soil Sediments* 7 (2), 96-100.

SOBOCKÁ J. 2003. Urban Soils vs. Anthropogenic soils, their charakteristics and functions. *Phytopedon (Bratislava*), Vol. 2., 2003/2, 76-80.

SOBOCKÁ J. a kol. 2007. *Urbánne pôdy Bratislavy.* VÚPOP Bratislava, 155s.

SOBOCKÁ J. 2008. Pôda v urbanizovanej krajine, fenomén "soil sealing". In: *Zborník abstraktov „Antropogenní zatížení půd*". 12. pedologické dny, Kostelec nad Černými lesy, 16.-17.9.2008, s. 27, ISBN 978-80-213-1814-4.

STOGANOVA M., PROKOFIEVA T. 2001. Urban soils classification for Russian cities of the taiga zone. In: E. Micheli, F. O. Nachtergaele, R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds). *Soil Classification 2001*. European Soil Bureau Research Report No.7, EUR 20398 EN, (2002), 248pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

TARGULJAN V. O., GORJAČKIN S.V. *et al.* 2008. *Pamjať počv*. RAN Institut geografii Moskva, 692 s.

www. http://dialnicapb.blogspot.com/2009_09_01_archive.html

http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe

10. KĽÚČ NA URČOVANIE VYŠŠÍCH SYNTAXÓNOV PÔD

10 Key to the soil determination on a higher-level taxons

Ján Kukla, Margita Kuklová*

ABSTRAKT
V pôdoznalectve sa v poslednom období nahromadilo mnoho nových poznatkov, v dôsledku čoho sa táto vedná disciplína stáva stále komplikovanejšou. Snaha o zjednotenie rôznych názorov viedla k vypracovaniu mnohých klasifikačných systémov pôd, ktoré sú spravidla založené na predstave o diagnostických horizontoch. Tie sú definované pomocou súboru hraničných diagnostických znakov a rôznych (často protirečivých) diagnostických kritérií, ktorých počet sa neustále zvyšuje. V dôsledku toho sa zvyšuje aj riziko chybnej determinácie pôdnych predstaviteľov. Chýba hierarchické usporiadanie diagnostických kritérií, ktoré by zjednodušilo determináciu syntaxónov pôd združených na jednotlivých taxonomických úrovniach. V tejto práci je vypracovaný stručný kľúč umožňujúci jednoznačnú determináciu vybraných syntaxónov pôd, tak ako je tomu v biologických vedných disciplínach.
Kľúčové slová: pôda, klasifikácia, kľúč na určovanie pô

ABSTRACT
In last period the great deal of new knowledge has been accumulated in soil science, owing to this science discipline is more and more complicated. The effort to unify the different approaches necessitated to elaboration of a number of soil classification systems based as a rule on the concept of diagnostic horizons. These horizons are defined with a set of limiting diagnostic traits and various (often contradictory) diagnostic criteria, the number of which is progressively increasing – together with the risk of error in determination of soil representatives. The absent is hierarchical arrangement of diagnostic criteria, so there is no tool facilitating determination of soil syntaxa associated at the individual taxonomical levels. In this paper is elaborated simple key which enable distinct determination of selected soil syntaxa similar to the case of biological scientific disciplines.
Key words: soil, classification, key to soil determination

10.1 ÚVOD

Pôda je vrchná časť zemskej kôry pozostávajúca z charakteristicky usporiadaných nespevnených sedimentov. Tieto sa v dôsledku pôsobenia vnútorných a vonkajších geologických síl a živých organizmov tvoria z hornín a z odumretých látok, presúvajú v priestore a transformujú v čase. Pôda v závislosti od jej mechanického a chemického zloženia, miesta výskytu, alebo charakteru klímy môže, ale nemusí umožňovať rast rastlín (napr. pôda silne znečistená toxickými látkami, fosílna, uložená pod budovami, nachádzajúca sa v púšťach, na dne morí a oceánov, atď.).

Vyššie uvedená charakteristika nie je v súlade s tradičnou predstavou človeka – poľnohospodára, podľa ktorej je pôda prírodným útvarom vznikajúcim až v dôsledku životnej činnosti organizmov. Púštne zvetraliny, ktoré nie sú ovplyvnené (resp. nie sú v konvenčne stanovenej miere ovplyvnené) životnou činnosťou organizmov sa. za pôdu nepovažujú, hoci je známe, že pri dostatočnom prísune vody možno na nich úspešne pestovať poľnohospodárske plodiny. Pretože rastliny nemôžu rásť bez vody a vzduchu, často sa tiež považujú za súčasť pôdy. V skutočnosti sú to ale médiá, ktoré sú súčasťou hydrosféry a atmosféry a sprostredkovávajú kolobeh látok v prírode. S ich pôsobením je bezprostredne spojený aj vznik a vývoj pôd.

Účinkom čiastkových pôdotvorných procesov získavajú pôdy charakteristické morfologické znaky poukazujúce na ich genézu, ktoré možno využiť tak pri klasifikácii, ako aj determinácii pôd. V praxi sa najviac využíva „Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska“ (Kolektív, 2000), v ktorom boli predstavy o genéze pôd pri nižších pôdnych jednotkách nahradené koncepciu diagnostických horizontov. Taxonómia na úrovni diagnostických pôdnych horizontov definovaných súborom

* Ing. Ján Kukla, CSc., Ing. Margita Kuklová, CSc., Ústav ekológie lesa, Ľ. Štúra 2, 960 53 Zvolen, SR, e-mail: kukla@savzv.sk, kuklova@savzv.sk

hraničných diagnostických znakov sa po každej aproximácii klasifikačného systému pôd rozširuje o ďalšie znaky, čo zákonite vedie k situácii, že občas je možnosť správnej determinácie pôdnej jednotky v teréne pre kontroverznosť zvolených diferenciačných kritérií vágna. Determinácia pôd sa tak čoraz viac stáva výsadou malého počtu špecialistov riešiacich vzniknuté problémy ad hoc. Z uvedeného je zrejmé, že ak majú byť poznatky o pôdach sprístupnené čo možno najširšiemu okruhu záujemcov, je potrebné ich hierarchicky usporiadať, najlepšie vo forme kľúča, ktorý by umožňoval jednoduchú determináciu pôdnych jednotiek, a to na akejkoľvek taxonomickej úrovni.

10.2 MATERIÁL A METÓDY

Kľúč na určovanie pôd vychádza z koncepcie dichotomického klasifikačného systému pôd, ktorý bol prezentovaný na 1. konferencii českej a slovenskej pedologickej spoločnosti v Rožnove pod Radhoštěm (tab. 1). V kľúči (podobne ako aj v klasifikačnom systéme pôd) je rešpektovaný:

- princíp dichotómie (taxón umiestnený na vyššej taxonomickej úrovni združuje dva taxóny umiestnené na bezprostredne nižšej taxonomickej úrovni)
- princíp hierarchie (názvy vyšších taxónov sú obsahovo širšie ako názvy nižších taxónov)
- princíp neopakovateľnosti (v kľúči sa názov taxónu vyskytuje len raz)
- princíp dominancie pôdneho znaku (názov prechodných taxonomických jednotiek sa tvorí z názvu dominantného taxónu – znaky ktorého sa vyskytujú vo viac ako 50 % pôdneho telesa, po ktorom nasleduje názov menej výrazného recesívneho taxónu)
- princíp minimálneho počtu determinačných znakov
- princíp determinovateľnosti pôdnych jednotiek v teréne (okulárne, príp. pomocou jednoduchých terénnych testov)
- princíp otvorenosti klasifikačného systému (počet taxonomických úrovní nie je a priori daný)

Vzhľadom k tomu, že v ponímaní genézy niektorých pôd existujú medzi pôdoznalcami diametrálne rozdiely, v ďalšom texte prezentujeme ich vývojové vzťahy tak, ako sú bežne interpretované v oblasti lesníckych vied.

1. Horizontálne a vertikálne komplexy pôd vytvorené z pevných vápencov, dolomitov a sprašových hlín (fuskozem = terra fusca; horizonzy: d – dekarbonatizovaný, c – karbonátový, vr – rubifikovaný; Bt v zátvorke = iniciálne štádium ilimerizácie v tenkej vrstve sprašovej hliny):
   Rendzina modálna: Amc – Cc
   Rendzina kambizemná: Amd – Amc– Bvrc – Cc
   Fuskozem rendzinová: <u>Aod – Bvrd > Bvrc</u> – Cc (v profile dominujú znaky fuskozeme)
   Fuskozem modálna: Aod – Bvrd – Cc
   Fuskozem luvizemná: <u>Aoq + (Bt) < Bvrd</u> – Cc (v profile dominujú znaky fuskozeme)
   Luvizem fuskozemná: <u>Aoq + El + Bt > Bvrd</u> – Cc (v profile dominujú znaky luvizeme)
2. Klimaticky podmienený vývojový rad pôd vytvorených zo spraše (Bt v zátvorke = iniciálne štádium ilimerizácie brzdené prítomnosťou karbonátov):
   Černozem modálna: Amc – Cc
   Černozem hnedozemná: <u>Amd > (Bt)c</u> – Cc (v profile dominujú znaky černozeme)
   Hnedozem modálna: <u>Amd < (Bt)c</u> – Cc (v profile dominujú znaky hnedozeme)
   Luvizem hnedozemná: <u>Aod – El – Btd</u> – Cc (v profile dominujú znaky luvizeme)
   Luvizem modálna: Aoq – El – Bt – Cq
   Luvizem pseudoglejová: <u>Aoq + El +Bt >Btg</u> –Cg (v profile dominujú znaky luvizeme)
3. Komplexy kambizemí a pestro sfarbených (červených, fialových) pôd vytvorených z vulkanoklastických hornín, pestrých bridlíc, príp. iných silikátových hornín (návrh riešenia):
   Rubizem modálna: Aoq – Bvr – Cvrq
   Rubizem kambizemná: <u>Aoq +Bv <Bvr</u> –B/C–Cq (v profile dominujú znaky rubizeme)
   Kambizem rubizemná: <u>Aoq+Bv>Bvr</u>–B/C–Cq (v profile dominujú znaky kambizeme)
4. Vývojový rad podzolov a cheluvizemí (návrh riešenia):
   Cheluvizem modálna (= podzol kambizemný): Aup – Bsh – Bsv – Cq
   Podzol cheluvizemný (= podzol humusovo-železitý): Aop – Ep – Bsh – Bsv – Cq
   Podzol modálny: Aop – Ep – Bsv – Cq

Tab. 1 Klasifikačný systém pôd (Kukla, Kuklová, 2008, prepracovaný)

Taxon. kateg.	Oddelenie	Trieda	Séria	Rad	Rod	Druh	Typ
Taxón	automorfozeme	entizeme	klastozeme (regozeme)	fraktozeme	psefozeme	litozeme	petrozeme + saxozeme
						skirrozeme	glareozeme + lapillozeme
					psamozeme	arenozeme	ergozeme + leptoergozeme
						sabulozeme	lepto + chondrosabulozeme
				lutozeme	aleurozeme	pulvozeme	lepto + chondropulvozeme
						skonozeme	lepto + chondroskonozeme
					pelozeme	laspozeme	lepto + chondrolaspozeme
						argillozeme	lepto + chondroargillozeme
			inceptizeme	kryozeme	gelizeme	pergelizeme	permafrostozeme + tjälezeme
						regelizeme	polygonozeme +pavimentozeme
					glacizeme	rheozeme	sulkozeme + girlandozeme
						frigizeme	kalvozeme + tufurozeme
				plastozeme	vertizeme	slitozeme	?
						tirsizeme	smonice + grumusozeme
					bolusozeme	kaolizeme	kandizeme + ?
						bentonizeme	?
		ultizeme	sializeme	bisializeme	rendzizeme	rendziny	orto + pararendziny
						fuskozeme	orto + parafuskozeme
					molizeme	brunizeme	orto + parabrunizeme
						černozeme	orto + paračernozeme
				monosializeme	kambizeme	umbrizeme	rankre + andozeme
						braunizeme	orto + parabraunizeme
					luvizeme	lessivozeme	illimizeme + sivozeme
						spodozeme	podzoly + cheluvizeme
			fersializeme	ferbisializeme	chromizeme	giallozeme	(orto + para) ?
						rossozeme	(orto + para) ?
					ferrizeme	rubizeme	orto + pararubizeme
						rubrozeme	ferretto + ?
				fermonosializeme (ferralsols, oxisols)	ferrazeme	latozeme	plintozeme + ?
						rhodozeme	krasnozeme + nitozeme
					alizeme	bauxizeme	lixizeme + acrizeme
						xanthizeme	želtozeme + ?
	alomorfozeme	metamorfozeme	organozeme	kaustizeme	thanatozeme	nekrozeme	ptomozeme + förnozeme (litter)
						fermentozeme	zymozeme+detritozeme (drvina)
					karbonizeme	humozeme	fomozeme + melinozeme
						ulmizeme	histozeme + turfozeme
				exkrétozeme	exkrementozeme	fekalozeme	merdozeme + koprozeme
						lipasmozeme	fimozeme + stercozeme
					exudátozeme	putrozeme	kariozeme + saprozeme
						rancidozeme	foetidozeme + bromozeme
			evapozeme	aridizeme	durizeme	currassozeme	ferrikretezeme + silkretezeme
						cementozeme	kalkretezeme + gypkretezeme
					xerozeme	kalcizeme	škoricozeme + kastanozeme
						gypsizeme	burozeme + serozeme
				halozeme	natrizeme	krustozeme	takýr + sor
						desalizem	soloď + ?
					salsodizeme	sodizeme	solonec + ?
						salizeme	solončak + ?
		hydromorfozeme	akvazeme	pluvizeme	deluvizeme	koluvizeme	?
						proluvizeme	?
					diluvizeme	fluvizeme	rambla + paternia
						aluvizeme	vega + čiernica
				planozeme	epigleje	oxigleje	noduloglej + pseudoglej
						redoxigleje	amfiglej + stagnoglej
					hypogleje	reduktigleje	luviglej + glej
						anoxigleje	anmoorglej + thioglej
			subakvazeme	limnizeme	lakustrizeme	limozeme	protopedon (<1 % org. l.) + ?
						telmozeme	dy (1-30 %) + ?
					paludizeme	balthozeme	gytja (30-50 %) + ?
						helozeme	alm + fen (>50 %) + ?
				marizeme	asulfidizeme	halmyrozeme ?	červená + žltá pôda
							zelená + biela (svetlosivá) pôda
					sulfidizeme	bituminozeme vattozeme	tmavosivá + čierna pôda
							marš + thiomarš (sulfátozem)

Obr. 1. Fimozem – terra incognita? Ptomozem zymozem?) Pararubizem Rendzina rossoz.?

V novšej pôdoznaleckej literatúre (Kolektív, 2000, IUSS Working Group WRB, 2007, Soil Survey Staff, 2010) sú kľúče na určovanie pôd založené na ľubovoľne podrobnej charakterizácii pôdnych jednotiek určitej taxonomickej úrovne. Ich hlavným nedostatkom je, že taxóny pôd nie sú integrované do hierarchicky usporiadaného celku. Z uvedených dôvodov sme kľúč na určovanie pôd konštruovali podľa metódy, ktorú v kľúči na určovanie rastlinných čeľadí, rodov a druhov aplikoval Dostál (1989). Pojmy, skratky pôd a signatúra pôdnych horizontov uvádzame v zmysle Kolektívu (2000).

10.3 VÝSLEDKY

Koncepcia nižšie prezentovaného kľúča na určovanie pôd je založená na dichotomickom členení podstatných morfologických znakov pôd, prostredníctvom ktorého možno taxóny pôd najjednoduchším spôsobom diferencovať.

1a minerálne a organominerálne pôdy s výskytom anhydromorfných znakov v celom profile, alebo minimálne vo vrchnej polovici solumu: **automorfozeme** (*Gr. autos* – sám, vlastný)

2a pôdy nachádzajúce sa v iniciálnom štádiu vývoja, v ktorých dominujú fyzikálne znaky (zrnitosť a/alebo znaky disturbačných procesov): **entizeme** (*Ens* – bez významu, myslí sa recentný)

3a pôdy bez humusového horizontu A (horizonty C_1, C_2... Cn, v prípade subtypov aj Cg a G): **klastozeme** (*Gr. klasma* – zlomenina, lom), resp. **regozeme** (*Gr. regos* – pokrývka)

4a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie >0,063 mm: **fraktozeme** (*L. fractus* – zlomený)

5a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie >2 mm**: psefozeme** (*Gr. psefos* – obliak, štrk)

6a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie >50 mm: **litozeme** (*Gr. lithos* – kameň)

7a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie >250 mm: **petrozeme** (*L. petra* – skala, balvan)

7b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 50-250 mm: **saxozeme** *(L. saxum* – skala, balvan)

6b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 2-50 mm: **skirrozeme** (*Gr. skirron* – štrk)

8a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 30-50 mm**: glareozeme**

8b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 2-30 mm: **lapillozeme** (*L. lapillus* – kamienok)

5b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie <2 mm: **psamozeme** (*Gr. psamos* – piesok)

9a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,2-2 mm: **arenozeme** (*L. arena* – piesok)

10a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 1-2 mm: **ergozeme** (erg – piesočnatá púšť)

10b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,2-1 mm: **leptoergozeme**

9b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,063-0,2 mm: **sabulozeme** (*L. sabulum* – hrubý piesok)

11a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,100-0,200 mm: **leptosabulozeme** (*Gr. leptos* – jemný)

11b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,063-0,100 mm: **chondrosabulozeme** (*Gr. chondros* – hrubý)

4b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie <0,063 mm (horizonty ako v iných pôdach, okrem A horizontu): **lutozeme** (*L. lutum* – blato, hlina)

12a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,004-0,063 mm: **aleurozeme** (*Gr. aleuron* – múka)

13a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,01-0,063 mm: **pulvozeme** (*L. pulvis* – prach)

14a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,050 - 0,063 mm: **siltozeme**

14b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,010 - 0,050 mm: **leptosiltozeme**

13b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,004-0,01 mm: **skonzeme** (*Gr. skone* – prach)

15a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,005-0,010 mm: **chondroskonozeme**

15b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,004-0,005 mm: **leptoskonozeme**

12b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie <0,004 mm **pelozeme** (*Gr. pelos* – íl)

16a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,002-0,004 mm: **laspozeme** (*Gr. laspe* – bahno, blato, kal)

17a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,003-0,004 mm: **chondrolaspozeme**

17b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,002-0,003 mm: **leptolaspozeme**

16b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie <0,002 mm: **argillozeme** (*L. argilla* – íl, hlina)

18a pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie 0,001-0,002 mm: **chondroargilozeme**

18b pôdy obsahujúce viac ako 50 % častíc frakcie <0,001 mm: **leptoargilozeme**

3b pôdy s humusovým horizontom: **inceptizeme** (*L. incepto* – začať, začínať)

19a pôdy, v ktorých dominujú znaky kryoturbačných procesov: **kryozeme** (Gr. *kryos* – mráz)

20a pôdy v ktorých sa trvalo alebo dlhodobo (viac ako 5 mesiacov) vyskytuje voda vo forme ľadu: **gelizeme** (*L. gelu* – mráz)

21a pôdy, v ktorých dominuje permafrost: **pergelizeme**

22a pôdy nerozmŕzajú: **permafrostozeme**

22b pôdy v lete rozmŕzajú do hĺbky ≤50 cm: **tjälezeme** (*Švéd. tjäle* – mráz **)**

21b pôdy, v ktorých dominujú znaky regelačných procesov (rozmŕzajú do väčšej hĺbky ako 50 cm): **regelizeme** (*L, gelo, gelare* – zmraziť)

23a pôdy, na povrchu ktorých je skelet usporiadaný vo forme kamenných kruhov alebo mnohouholníkov: **polygonozeme**

23b pôdy, na povrchu ktorých sa nachádzajú ľadom vytlačené ploché kamene a balvany: **pavímenstozeme (***L. pavimentum* – dlažba)

20b pôdy v ktorých sa krátkodobo (do 5 mesiacov) vyskytuje voda vo forme ľadu (kryogénne fenomény sa vyskytujú na viac ako 50 % povrchu: **glacizeme**

24a pôdy posúvajúce sa po svahu nadol v dôsledku soliflukcie: **rheozeme** (*Gr. rheos* – tok, tiecť)

25a pôdy, na povrchu ktorých je skelet usporiadaný vo forme brázd orientovaných v smere spádnice: **sulkozeme** (*L. sulcus* – brázda)

25b pôdy na povrchu ktorých sú stupňovite usporiadané jemnozrnné alebo skeletnaté pásy lemované mačinovou vegetáciou: **girlandozeme**

24b pôdy v ktorých sa vyskytujú znaky poukazujúce na pôsobenie kryštálov ihlicového ľadu (pipkrake): **frigizeme** (*L. frigus* – chladný)

26a pôdy na povrchu ktorých sú terasovite usporiadané jemnozrnné plôšky bez vegetácie: **kalvozeme** (*L. calvitium* – lysina)

26b pôdy na povrchu ktorých sa nachádzajú ľadom vytlačené kopčeky (tufury): **tufurozeme**

19b pôdy s vysokým obsahom ílovej frakcie (>30 %), textúrne slabo diferencované (bez tvorby argillanov), ktoré možno miernym tlakom tvárniť: **plastozeme**:

27a pôdy s molickým Am horizontom vytvorené zo silne napučiavajúcich smektitických ílov, v ktorých dominujú vertické znaky (miešanie materiálu vrchných vrstiev, sklzné plochy, klinové pedy): **vertizeme** (*L. verto* – obracať)

28a pôdy s menej výraznými znakmi tirzifikácie, prehumóznené do hĺbky ≤50 cm (Am – Cc): **slitozeme**

28b pôdy s výraznými znakmi tirzifikácie, prehumóznené do hĺbky ≥50 cm (Amn – Cc): **tirzizeme**

30a pôdy s normálne vyvinutým mikroreliéfom: **smonice**

30b pôdy s kopčekovitým mikroreliéfom (kopčeky a gilgaiové priehlbiny sa vyskytujú na viac ako 50 % povrchu): **grumusozeme** (*L. grumus* – kopček)

27b pôdy s ochrickým Ao horizontom a slabo vyvinutou alebo zliatou štruktúrou (bez pedov, vertických znakov a karbonátov): **bolusozeme** (*Tal.. bolo* – hlinka)

31a pôdy s obsahom bentonitových ílov >50: **bentonizeme**

31b pôdy s obsahom kaolininitových ílov >50 %: **kaolizeme (kandizeme)**

2b pôdy nachádzajúce sa v záverečnom štádiu vývoja (v dynamickej rovnováhe s pôsobením bioklimatických činiteľov), v ktorých dominujú znaky chemického zvetrávania: **ultizeme** (*L. ultimus* – posledný)

32a pôdy v ktorých dominujú znaky sialitického chemického zvetrávania (SiO_2 /R_2O_3 = 3-4; SiO_2 /Al_2O_3 >2; < 4 % voľných oxidov Fe): **sializeme**

33a pôdy tvorené silikátovým aj karbonátovým minerálmi: **bisializeme**

34a pôdy vytvorené z hornín obsahujúcich karbonáty, s výnimkou spraší a im podobných sprašovitých zemín: **rendzizeme**

35a pôdy s melanickým dekarbonatizovaným Ald alebo karbonátovým Alc horizontom (Alc – Cc RA a PR modálna), v prípade subtypov aj s hnedým (braunizemným) karbonátovým Bvc horizontom (Ald – Bvc – Cc RA kambizemná vytvorená z dolomitu a PR kambizemná), alebo s Bvrc horizontom (Ald – Bvrc – Cc RA fuskozemná, alebo rossozemná, napr. v PR Ćačínska cerina): **rendziny**

36a pôdy vytvorené z pevných karbonátových hornín (najmä vápencov a dolomitov): **ortorendziny**

36b pôdy vytvorené z pevných silikátovo-karbonátových hornín, alebo z pevných či spevnených karbonátovo-silikátových hornín (najmä slienitých vápencov, slieňov, vápnitých bridlíc, vápnitých pieskov a pieskovcov, travertínov): **pararendziny**

35b pôdy s dekarbonatizovaným ochrickým Aod horizontom a červenohnedým Brd horizontom (Aod – Bvrd – Cc FZ modálna), v prípade subtypov aj s karbonátovým červenohnedým Bvrc horizontom (Aod + Bvrd ≥ Bvrc – Cc FZ rendzinová), alebo s kambickým illimerickým Bvt horizontom (Aoq + Bvt ≤ Bvrd – Cc FZ illimizemná): **fuskozeme** (Terra fusca)

37a pôdy vytvorené z pevných vápencov: **ortofuskozeme**

37b pôdy vytvorené z iných karbonátových hornín (sladkovodná krieda a i.): **parafuskozeme**

34b pôdy vytvorené z eolických spraší (obsahujúcich pelitomorfný, spravidla sekundárny $CaCO_3$ – pôdny sinter) a im podobných nezvrstvených sprašovitých (zosprašnených) zemín: **molizeme**

38a pôdy s molickým Am horizontom nad dominantným luvickým karbonátovým horizontom hnednutia (brunifikácie) Btc [Am ≤ $(Bt)c_1$ – $(Bt)c_2$ – Cc BM modálna]: **brunizeme (hnedozeme, phaeozeme)**

39a pôdy vytvorené z eolických spraší: **ortobrunizeme**

39b pôdy vytvorené z iných zosprašnených zemín: **parabrunizeme**

38b pôdy s dominantným molickým Am horizontom (Am – Cc ČM modálna), v prípade subtypov aj so subdominantným luvickým karbonátovým horizontom hnednutia (Bt)c [Am ≥ (Bt)c – Cc ČM brunizemná]: **černozeme**

40a pôdy vytvorené z eolických spraší: **ortočernozeme**

40b pôdy vytvorené z iných zosprašnených zemín: **paračernozeme**

33b pôdy tvorené silikátovými minerálmi (s výnimkou kambizemí pararendzinových a sivozemí, v C horizontoch ktorých prebieha proces dekarbonatizácie): **monosialozeme**

41a pôdy so znakmi vnútropôdneho zvetrávania primárnych minerálov: **kambizeme**

42a pôdy s umbrickým Au horizontom (Au – Cq): **umbrizeme** (*L. umbra* – tieň)

43a pôdy s umbrickým rankrovým horizontom (Auu – Cq RN modálny), s obsahom skeletu ≥75 %, v prípade subtypov aj s braunickým rankrovým Bvu (andickým rankrovým Bvua) horizontom: **rankre**

43b pôdy s umbrickým andickým Aua horizontom (Aua – Cqa AM modálna), v prípade subtypov aj s braunickým andickým Bva horizontom (Aua ≥ Bva_1 – Bva_2 – Cqa AM kambizemná): **andozeme**

42b pôdy s ochrickým Ao horizontom nad dominantným braunickým Bv horizontom (Ao ≤ Bv – C): **braunizeme**

44a pôdy vytvorené zo silikátových hornín (Ao ≤Bvq –Cq): **ortobraunizeme**

44b pôdy vytvorené z karbonátových hornín [Aod – Bvd – Cc; Aod + Bvd ≥ (Bv)c – Cc PB pararendzinová, príp. PB rendzinová]: **parabraunizeme**

41b pôdy so znakmi intenzívnej eluviácie a iluviácie sekundárnych minerálov: **luvizeme** (*L. eluo* – vymývať)

45a pôdy so znakmi eluviácie a iluviácie humusových látok a/alebo koloidných ílových častíc: **lessivozeme** (*Fr. lessivé* – vylúhovaný, vyčistený)

46a pôdy s humusovoeluviálnym molickým Ame horizontom nad iluviálnym organoluvickým Bth horizontom[Ame – Bth – (Bt)c –Cc SM modálna], alebo aj eluviálnym (argilo) luvickým El horizontom (Ame – El – Bth – Cc): **sivozeme (greyzeme)**

46b pôdy s ochrickým Ao horizontom nad eluviálnym argiloluvickým El horizontom a iluviálnym argiloluvickým Bt horizontom (Aoq – El – Bt – Cq IM modálna; Aoq – El – Bt – Cc IM hnedozemná; Aoq + El + Bt ≥ Bvr – Cc IM fuskozemná): **illimizeme**

45b pôdy so znakmi eluviácie a iluviácie nízkomolekulárnych organických látok, alebo len voľných sesquioxidov Al a Fe: **spodozeme**

47a pôdy s umbrickým Aup horizontom nad iluviálnym cheluvickým (humusovo-seskvioxidovým) Bsh horizontom a iluviálnym seskvioxidovým Bsv horizontom (Aop – Bsh – Bsv – Cq): **cheluvizeme**

47b pôdy s ochrickým podzolovým Aop horizontom nad eluviálnym podzolovým Ep horizontom a iluviálnym seskvioxidovým Bsv horizontom (Aop – Ep – Bsv – Cq PZ modálny), v prípade subtypov aj iluviálnym humusovo-seskvioxidovým Bsh horizontom (Aop – Ep – Bsh – Bsv – Cq PZ cheluvizemný): **podzoly**

32b pôdy v ktorých dominujú znaky fersialitického chemického zvetrávania (SiO_2 /R_2O_3 <3; SiO_2 /Al_2O_3 <2; voľných oxidov Fe >4 %): **fersializeme**

48a pôdy v ktorých dominujú znaky ferbisialitického chemického zvetrávania (SiO_2 /R_2O_3 = 2-3; voľných oxidov Fe >3 %; pôdy bez znakov desilikácie) tvoriace sa v suchých subtrópoch, v trópoch a v mediteránnej oblasti; u nás sú tieto pôdy (terra rossa, ferretto) reliktné alebo fosílne a naposledy sa tvorili v cromerskom interglaciáli (Neměček *et al.,* 1990): **ferbisializeme**

49a pôdy so zvýšeným obsahom voľných oxidov Fe: **chromozeme** (*Gr. chroma* – farba)

50a hnedožlté až žlté pôdy vytvorené zo silikátových (?) hornín (terra gialla – žltá pôda v klasifikačnom systéme Kubiënu, in FitzPatric, 1983): **giallozeme**

50b hnedočervené až červené pôdy vytvorené z karbonátových hornín: **rossozeme**

49b pôdy v ktorých dominujú znaky feritizácie: **ferrizeme**

53a pôdy v ktorých dominujú znaky rubifikácie (goethit, hematit); u nás sú reliktné, alebo fosílne: **rubizeme**

54a pôdy s klimaticky podmienenými znakmi rubifikácie Aoq – Br – Cr): **ortorubizeme**

54b pôdy so znakmi rubifikácie zdedenými z horniny (pestré bridlice, červené vulkanoklastické horniny; Aoq – Bvr – Cvr): **pararubizeme**

53b : **rubrozeme** ?

55a : **ferreto** ?

48b pôdy so znakmi fermonosialitického chemického zvetrávania (SiO_2 / R_2O_3 < 2; zvetrateľných minerálov <10 %; desilikácia profilu, V <35 %) vyskytujúce sa vo vlhkých trópoch: **fermonosializeme (ferralsols, oxisols)**

56a pôdy so znakmi feritického chemického zvetrávania (AlO_3 /SiO_2<1): **ferrazeme**

56b pôdy so znakmi alitického chemického zvetrávania (Al_2O_3 /SiO_2>1) pôdy: **alizeme**

1b pôdy s inými znakmi: **alomorfozeme** (*Gr. allos* – iný, odlišný)

63a subaerické pôdy, v ktorých dominujú znaky metamorfických, t.j. dekompozičných (metabolických?), alebo evaporizačných (metasomatických?) procesov: **metamorfozeme**

64a pôdy s obsahom Cox ≥30 % hm. v celom profile, alebo minimálne vo vrchnej polovici solumu: **organozeme**

65a pôdy v ktorých dominujú relatívne ľahko horľavé, najmä rastlinné látky: **kaustizeme** (*Gr. kaustikos* – horľavý)

66a pôdy v ktorých dominujú odumreté telá, alebo časti tiel, najmä rastlín): **tanatozeme** (*Gr. thanatos* – smrť)

67a pôdy v ktorých dominujú nekrotizované telá, alebo časti tiel, najmä rastlín: **nekrozeme** (*Gr. nekros* – mŕtvola)

68a pôdy tvorené telami, najmä rastlín (kmene stromov, pne): **ptomozeme** (*Gr. ptoma* – mŕtvola)

68b pôdy v ktorých dominujú časti tiel, najmä rastlín: **förnozeme (litter)**

67b pôdy v ktorých dominujú fermentizované telá, alebo časti tiel, najmä rastlín: **fermentozeme** (*L. ferment* – kvas, kvasenie)

69a pôdy v ktorých dominujú telá, najmä rastlín (kmene stromov, pne) pozmenené kvasením: **zymozeme** (*Gr. zyme* – kvasnice)

69b pôdy v ktorých dominujú rozdrobené (detritizované) časti tiel, najmä rastlín: **detritozeme**

66b pôdy v ktorých dominujú karbonizované organické látky: **karbozeme** (*L. carbo* – uhlie)

70a pôdy v ktorých dominujú humusové látky: **humusozeme** (*L. humus* – zem, pôda, prsť)

71a pôdy v ktorých dominujú zotlené látky: **fomozeme** (*L. fomes* – práchno, práchnivé drevo)

71b pôdy v ktorých dominujú zhumifikované látky: **melinozeme**

70b pôdy v ktorých dominujú zrašelinené (ulmifikované) látky: **ulmizeme**

72a pôdy nenasýtené vodou, bez glejového G horizontu, tvoriace sa vo vysokohorských polohách s veľmi humídnou a chladnou klímou (Ool –Oof –Oh_1 –Oh_2 –Oh_3 –Ots –Dcg): **histozeme** (*Gr. histos* – pletivo)

72b pôdy s glejovým G horizontom v ktorých sa vyskytuje hladina podzemnej vody (Otf_1 –Otf_2 –Otf_3 –Otm –Ots –Gr): **turfozeme** (*L. turfa* – rašelina)

65b pôdy v ktorých dominujú výlučky organizmov: **exkrétozeme**

73a pôdy v ktorých dominuje trus živočíchov: **exkrementozeme**

74a pôdy v ktorých dominuje nepozmenený trus živočíchov: **fekalozeme** (*L. faeces* – fekálie)

75a pôdy v ktorých dominuje trus bylinožravcov (herbivorov): **merdozeme** (*L. merda* – trus, lajno)

75b pôdy v ktorých dominuje trus všežravcov (omnivorov) a masožravcov (carnivorov): **koprozeme** (*Gr. kopros* – výkaly**)**

74b pôdy v ktorých dominujú pozmenené výlučky živočíchov: **lipasmozeme** (*Gr. lipasma* – hnojivo)

76a pôdy v ktorých dominuje hnoj bylinožravcov: **fimozeme** (*L. fimus* – hnoj)

76b pôdy v ktorých dominuje hnoj všežravcov a masožravcov: **stercozeme** (*L. stercus* – hnoj)

73b pôdy v ktorých dominujú výlučky mikroorganizmov: **exudátozeme**

77a pôdy v ktorých dominujú zhnité látky: **putrozeme** (*L. puter* – hnilý, spráchnivený)

78a pôdy v ktorých dominujú práchnivejúce látky: **kariozeme** (*L. caries* – hniloba**,** spráchnivenosť**)**

78b pôdy v ktorých dominujú hnijúce látky: **saprozeme**(*Gr. sapros* – zhnitý)

77b pôdy v ktorých dominujú silne zapáchajúce látky: **rancidizeme** (*L. rancidus* – zapáchajúci)

64b pôdy v ktorých sa akumulujú, alebo z ktorých sa vymývajú evaporitové minerály: **evapozeme**

80a pôdy v ktorých sa akumulujú ťažšie rozpustné evaporitové minerály (arídne a semiarídne regióny, pomer zrážok a evapotranspirácie <0,4): **aridizeme**

81a pôdy v ktorých sa nachádzajú sekundárnymi minerálmi scementované, tvrdé vrstvy: **durizeme** (*L. durus* – tvrdý)

82a pôdy v ktorých sa nachádzajú scementované panciere: **cuirassozeme**

83a pôdy v ktorých sa nachádzajú panciere scementované oxidmi Fe: **ferricretezeme**

83b pôdy v ktorých sa nachádzajú panciere scementované SiO_2: **silcretezeme**

82b pôdy v ktorých sa nachádzajú vrstvy scementované ťažšie rozpustnými evaporitovými minerálmi: **cementozeme**

84a pôdy v ktorých sa nachádzajú stvrdnuté vrstvy scementované sekundárnym $CaCO_3$: **kalkretezeme**

84b pôdy v ktorých sa nachádzajú stvrdnuté vrstvy scementované sekundárnym $CaSO_4$ (ročné zrážky <300 mm): **gypkretezeme**

81b pôdy v ktorých sa nachádzajú polohy mäkkých evaporitových minerálov: **xerozeme**

85a pôdy s horizontom obohateným o sekundárny $CaCO_3$: **kalcizeme**

86a pôdy s metamorfickým B horizontom, v spodnej časti ktorých sa nachádzajú pseudomycéliá $CaCO_3$ [A – Bt(c) – B/C(c) – Cc]: **škoricozeme (cinnamozeme)**

86b pôdy s iluviálnym karbonátovým horizontom v spodnej časti profilu (A – B_1 – B_2 – B/Cc – Cc): **kastanozeme**

85b pôdy s horizontom obohateným o sekundárny $CaSO_4$: **gypsizeme**

87a pôdy s iluviálnym karbonátovým horizontom obsahujúce karbonáty v celom profile, s maximum $CaSO_4$ v hĺbke 150-200 cm, v ktorých sa ľahko rozpustné soli nevyskytujú(A –A/Bc –Bc –Cc)**: serozeme**

87b pôdy vo vrchnej časti ochudobnené o íl, s výskytom ľahko rozpustných solí v hĺbke do 1 m a s horizontom obohateným o sekundárny $CaSO_4$ v hĺbke 70-120 cm (A – B – Bc_1 – Bc_2 – Cc): **burozeme**

80b pôdy z ktorých sa vymývajú a/alebo v ktorých sa akumulujú ľahko rozpustné evaporitové minerály: **halozeme**

88a pôdy nachádzajúce sa v rôznom štádiu desalinizácie: **natrizeme**

89a pôdy nachádzajúce sa v začiatočnom štádiu desalinizácie, na povrchu ktorých sa v dôsledku periodickej stagnácie vôd tvorí spevnená kôra: **krustozeme**

90a pôdy bezodtokových území so silne alkalickou reakciou a s maximom ľahko rozpustných solí pod ílovitou kôrou, za sucha rozpukanou na polygóny priemeru 10-12 cm s trhlinami siahajúcimi do hĺbky 2-10 cm (A – B): **takýry**,

90b pôdy na povrchu ktorých je krusta ľahko rozpustných solí (dná vysychajúcich jazier bez vegetácie; Sk/Ao– Go/Sn – ...Gr/Sn): **sor**

89b pôdy nachádzajúce sa v pokročilom štádiu desalinizácie: **desalizeme**

91a pôdy z ktorých sú alkalickými roztokmi vymývané pohyblivé humusové látky, produkty čiastočného rozpadu ílových minerálov (najmä oxidy Fe a Al, v menšom rozsahu aj SiO_2), Na, Ca a Mg zo sorpčného komplexu katióny, s mierne kyslou až neutrálnou, v spodnej časti mierne alkalickou reakciou (Aoe – Es – Bnd – Bc – Cc): **solode**

91b : **?**

89b pôdy nachádzajúce sa v rôznom štádiu salinizácie: **salsodizeme (alkalizeme)**

92a pôdy vo vrchnej časti ktorých je <1% ľahkorozpustných solí: **sodizeme**

93a pôdy v iluviálnych horizontoch ktorých sa akumulovala sóda, Na_2CO_3 (pH 9-10 do 0,8 m, V_{Na} 15-30 % , SAR >15; Aoe – Bnz – B/Gc – Goc – …Grc): **solonec**

93b : –

92b pôdy vo vrchnej časti ktorých je >1% ľahkorozpustných solí: **salizeme**

94a pôdy na povrchu ktorých sú biele výkvety solí (Sn/Aoc– Goc – ...Grc: **solončak**

94b: **?**

63b pôdy v ktorých dominujú znaky hydromorfných procesov: **hydromorfozeme**

95a pôdy tvoriace sa zo silikátových alebo karbonátových (bez rozlíšenia ?) sedimentov v semiterestrickom (terestricko-akvatickom) prostredí: **akvazeme**

96a pôdy tvoriace sa zo sedimentov premiestnených zrážkovou vodou za spolupôsobenia gravitácie: **pluvizeme** (*L. pluvia* – dážď)

97a pôdy tvoriace sa zo sedimentov premiestnených pôsobením zosúvania, soliflukcie: **deluvizeme**

98a pôdy tvoriace sa zo sedimentov premiestnených ronom: **koluvizeme**

98b pôdy tvoriace sa zo sedimentov ukladaných občasnými bahnotokmi (murovými, sutinovými alebo laharovými prúdmi, lavínami) na úpätí hôr, najmä v aridných aj v periglaciálnych klimatických podmienkach: **proluvizeme**

97b pôdy tvoriace sa zo sedimentov pochádzajúcich z riečnych záplav: **diluvizeme**

101a pôdy tvoriace sa zo sedimentov uložených na najnižšie položenej, periodicky zaplavovanej terase vodných tokov: **fluvizeme**

102a pôdy nachádzajúce sa v začiatočnom štádiu vývoja s nepatrne vyvinutým ochrickým (Aoq, Aoc) horizontom a C a/alebo G horizontom (tvorbe humusového horizontu bráni erózna činnosť vodného toku): **rambly** (+ kalcirambly ?)

102b pôdy nachádzajúce sa v pokročilejšom štádiu vývoja s dobre vyvinutejším ochrickým horizontom Aoq (Aoc) a C a/alebo G horizontom (k torbe humusového horizontu prispieva akumulačná činnosť vodného toku): **paternie** (+boroviny ?)

101b pôdy tvoriace sa zo sedimentov uložených na vyššie položenej (druhej) terase vodných tokov, ktoré sú sporadicky zaplavované, alebo nezaplavované, ovplyvňované len kolísaním hladiny podzemnej vody: **aluvizeme**

103a pôdy s ochrickým Ao horizontom nad s hnedým Bv alebo Bt horizontom a glejovým Go až Gor horizontom: **vegy** (+ kalcivegy?)

103b pôdy s molickým Am/Go horizontom nad Ca horizontom lúčnej kriedy a/alebo glejovým Go až Gr horizontom: **čiernice** (+kalčiernice?)

96b pôdy v ktorých dominujú hydromorfné znaky (vyskytujú sa na viac ako >50 % plochy čelnej steny profilu): **planozeme** (*L. planus* – plochý)

104a pôdy ovplyvňované len zrážkovou vodou, v ktorých sa nevyskytuje trvalá hladina podzemnej vody: **epigleje**

105a pôdy s prevahou oxidačných znakov: **oxigleje**

106a pôdy s ochrickým Ao horizontom nad pseudoglejovým konkréciovým Egc horizontom (s Fe, Mn bročkami) a luvickým pseudoglejovým Btg, alebo braunickým (kambickým) pseudoglejovým Bvg horizontom (povrchovo zamokrované a výrazne vyschýnajúce pôdy): **nodulogleje**

106b pôdy s ochrickým Ao horizontom nad pseudoglejovým retikulárnym Egr horizontom (s povlakmi Fe a Mn) a luvickým pseudoglejovým Btg, alebo braunickým pseudoglejovým Bvg horizontom (povrchovo zamokrované a len čiastočne vyschýnajúce pôdy): **pseudogleje**

105b pôdy s prevahou redukčno-oxidačných znakov: **redoxigleje**

107a pôdy s ochrickým Ao horizontom nad pseudoglejovým retikulárnym Egr horizontom, luvickým pseudoglejovým Btg, alebo braunickým pseudoglejovým Bvg horizontom a glejovými Go až Gor horizontmi: **amfigleje**

107b pôdy spravidla so značne kyslým ochrickým pseudoglejovým Aog horizontom nad pseudoglejovým retikulárnym Egr horizontom a pseudoglejovým luvickým Bgt alebo braunickým Bgv horizontom: **stagnogleje**

105b pôdy v ktorých kolíše hladiny podzemnej vody a mení sa výška kapilárneho zdvihu vody: **hypogleje**

108a pôdy s prevahou oxidačno-redukčných znakov: **reduktigleje**

109a pôdy s ochrickým pseudoglejovým Aog horizontom nad pseudoglejovým albickým Ega horizontom a pseudoglejovým luvickým Bgt alebo braunickým Bgv horizontom: **luvigleje**

109b pôdy s ochrickým glejovým Ao/Go horizontom nad glejovým Go až Gr horizontmi: **gleje**

108b pôdy s prevahou redukčných (anoxických) znakov: **anoxigleje**

110a pôdy s umbrickým glejovým Au/Go horizontom nad glejovým Gr horizontom, s vodnou hladinou v blízkosti povrchu (na prameniskách): **anmoorgleje**

110b pôdy s umbrickým glejovým Au/Go horizontom nad glejovým thiónovým Grt horizontom: **thiogleje**

95b pôdy tvoriace sa v subakvatickom sedimentačnom prostredí: **subakvasoly**

111a pôdy sladkovodných jazier s jedným alebo viacerými humusovými a/alebo minerálnymi horizontami a glejovým Gr horizontom: **limnizeme**

112a pôdy dystrických jazier: **lakustrizeme**

113a pôdy s nízkym obsahom <1 % organických látok: **limozeme** (*L. limus* – kal)

114a pôdy tvoriace sa v pohybujúcich sa vodách bohatých na O_2 s malým prísunom a rýchlym rozkladom odumretých organických látok: **protopedon**

114b : ?

112b pôdy s obsahom 1-30 % organických látok: **telmozeme** (*Gr. telma* – bahno)

115a hnedé bahenné pôdy tvoriace sa v kyslých vodách (pH <6) chudobných na O_2 (humusový horizont obsahuje hnedosfarbené organické zlúčeniny, ktoré sa zrážajú z vody): **dy**

115b : ?

112b pôdy eutrických jazier, v ktorých prebieha paludizácia (hromadenie a premena organických látok): **paludizeme** (*L. palus* – močiar)

116a pôdy s obsahom 30-50 % organických látok: **baltozeme** (*Gr. balthos* – močiar)

117a sivé bahenné pôdy tvoriace sa v dobre prevzdušnených eutrofných vodách; organický horizont sivozelenej až červenohnedej farby sa skladá z minerálnych častíc a koprogénnych agregátov: **gyttja**

116b pôdy s vysokým obsahom >50 % hnijúcich organických látok: **helozeme** (*Gr. helos* – močiar)

118a pôdy v ktorých sa svetlý alm strieda s tmavými organickými horizontmi (tvoria sa v prameniskových močiaroch so silne vápnitými vodami): **almozeme**

118b čierne, mierne kyslé až neutrálne pôdy s obsahom popola 5-50 %, (Otl + Otm + Ots + Grc,) v spodnej časti ktorých sa niekedy nachádza Ca horizont, tzv. jazerná krieda: **fenozeme**

111b pôdy slaných jazier a morí: **marizeme**

119a pôdy hlbokých morí so znakmi asulfidického sedimentačného prostredia: **asulfidozeme**

120a pôdy eupelagických morí (s <25 % terigénneho materiálu hrubšieho než 5 µm) s nízkym obsahom organických látok, ovplyvnené halmyrolýzou (reakciou sedimentov a vulkanického skla s morskou vodou za vzniku oxidovaných zlúčenín Fe, Mn, nových ílových minerálov a i.): **halmyrozeme**

121a pôdy vápnité a kremičité (obsah $CaCO_3$ <30 %, kremičitých schránok <30 %), ktoré sa tvoria v hĺbke pod asi 5 000 m, t.j. pod karbonátovou kompenzačnou hĺbkou (Berger, 1974, in Kukal, Z., 1986): **červené pôdy**

121b pôdy slienité (obsah $CaCO_3$ >30 %), kriedové ($CaCO_3$ >66 %) a diatomové alebo radiolariové ($CaCO_3$ <30 %, kremičitých schránok >30 %): **žlté pôdy**

120b pôdy hemipelagických morí (s >25 % terigénneho materiálu hrubšieho než 5 µm), ktoré obsahujú organické látky: ?

122a pôdy obsahujúce >30 % $CaCO_3$ hlavne z vápnitých schránok a skeletu dierkavcov *(Foraminifera*) z rodu *Globigerina* (vyskytujú sa na 48 % morského dna): **biele (svetlosivé) pôdy**

122b pôdy sfarbené (modro) zeleným glaukonitom, ktorý sa ukladá v hĺbke 200-300 (600) m: **zelené pôdy**

119b pôdy plytkých morí so znakmi anoxického sulfidického sedimentačného prostredia: **sulfidozeme**

123a pôdy s vysokým obsahom organických látok bohatých na bituminóznu zložku, ktoré sa tvoria v prostredí chudobnom na O_2: **bituminozeme**

124a pôdy hlbších vôd s nižším obsahom organickej zložky: **tmavosivé pôdy**

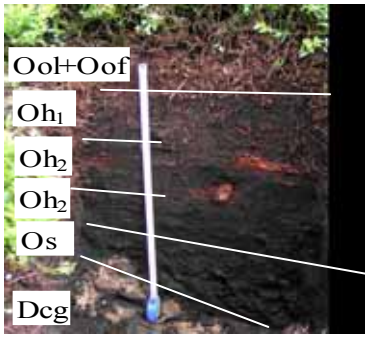
124b pôdy plytkejších vôd s vyšším obsahom organickej zložky (sú najmä v Čiernom a Baltickom mori a v škandinávskych fjordoch): **čierne pôdy**

123b pôdy tvoriace sa zo zasolených karbonátových sedimentov vattov (prílivových plošín) , alebo mangrovníkových močarín: **vattozeme**

125a pôdy vytvorené z periodicky zaplavovaných (tidálnych), anoxických sedimentov, v ktorých sa mikrobiálnou redukciou sulfátov morskej vody a oxidov Fe tvoria sulfidy (pyrit, H_2S) a elementárna síra (najmä za účasti druhu *Desulfobibrio desulfuricans*); časť organickej hmoty sa tiež mení na sulfidy, metán a CO_2: **marše**

125b pôdy vytvorené mimo územia periodických záplav, v ktorých sa sulfidy za významnej účasti baktérií rodu *Thyobacillus* (*T. thiooxidans, T. ferrooxidans* a i.) oxidujú na sulfáty (jarozit $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) a kyselinu siričitú; vymýva sa Al, rozkladá sa íl (in situ s pH 6-7, po vysušení s pH 3,5-4,0): **thiomarše (sulfátozeme)**

Obr. 2 Pre papraď je práchno pôdou



Obr. 3 Histozem rendzinová

10.4 ZÁVER

Kľúč na určovanie pôd by mal prostredníctvom makromorfologických znakov umožniť rýchlu determináciu syntaxónov pôd na rôznej hierarchickej úrovni. Tie združujú skupiny geneticky príbuzných čiastkových pôdotvorných procesov, resp. znakov pôd, ktoré ich odrážajú, čo umožňuje vytvoriť si predstavu o jednotnom pôdotvornom procese diferencovanom závislosti od konkrétnej kombinácie pôdotvorných podmienok a pôsobiacich pôdotvorných faktorov (na úrovni súčasného poznania).

V súčasnosti sa zdôrazňuje potreba vybudovania jednotného klasifikačného systému, ktorý by umožňoval klasifikovať a mapovať pôdy celého sveta. Národné klasifikačné systémy by mali byť kompatibilné s medzinárodnou klasifikáciou pôd (ISSS-ISRIC FAO), čo ale neznamená, že by mali stratiť národný charakter odrážajúci rôzne prírodné podmienky a tradíciu jednotlivých krajín. Klasifikačné systémy pôd vychádzajúce z pragmatických ekonomických potrieb by mali byť odvodené od vedeckej klasifikácie pôd, a nie naopak.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied (GP 2/0034/10). Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

DOSTÁL J. 1989. *Nová kvetena CSSR*, 1, 2. Vydání I. Academia, CAV, Praha, 1563 s.

FITZPATRICK E.A. 1983. *Soils.* New ed. Longman Inc. New York, 353 p.

IUSS WORKING GROUP WRB 2007: World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports* No. 103, FAO, Rome.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná klasifikácia*. VÚPOP Bratislava, 76 s.

KUKAL Z. 1986. *Základy sedimentologie.* Academia, ČSAV Praha, 468 s.

KUKLA J., KUKLOVÁ M. 2008. Problémy klasifikácie pôd. *In Zborník príspevkov: Pôda v modernej informačnej spoločnosti*. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 502-512.

NEMĚČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M. 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Vydání 1. Academia, ČSAV Praha, 522 s.

SOIL SURVEY STAFF 2010. *Keys to Soil Taxonomy,* 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington DC, 339 p.

11. TERMINOLÓGIA A KLASIFIKÁCIA SPUSTNUTÝCH PÔD

11 Terminology and classification of waste land

Rudolf Midriak*

ABSTRAKT
Na Slovensku sa od čias valašskej kolonizácie ešte v polovici 20. storočia vyskytovalo 70 až 220 tisíc hektárov spustnutých pôd. Išlo o vrcholné štádium eróznej devastácie pôdy a krajiny, ku ktorej došlo iniciáciou človeka (antropogénnymi a antropozoogénnymi vplyvmi) zväčša formou odlesnenia, požiarov, odstránenia alebo oslabenia vegetačnej pokrývky spojeného s pastvou domácich zvierat, resp. neracionálneho využívania pôdy (poliarenie, orba po spádnici, nevhodne umiestnená sieť ciest a lokalizácia – úpravy pozemkov bez hydrotechnických opatrení a pod.). Na takýchto plochách nastúpila zväčša akcelerovaná vodná erózia, v menšej miere aj vetrová erózia, zosuny, resp. iné geomorfologické procesy (lavíny, sutinové prúdy, soliflukcia, regelačné procesy s ihlicovitým pôdnym ľadom a i.), a to rovnako v eróznej, transportnej alebo aj akumulačnej forme. Vznikli tak plochy (povrchy), charakteristické denudovaným geologickým podkladom, v lepšom prípade narušením horizontálnej aj vertikálnej celistvosti pôdneho plášťa, ryhovaním svahov hustou sieťou líniových eróznych útvarov, prekrytím (pochovaním) pôvodnej pôdy a pod. Vzhľadom na to, že išlo o redukciu produkčnej plochy pre rastlinnú výrobu v poľnohospodárstve i v lesníctve (od nížinnej krajiny až po horské oblasti v rámci vrchovinovej až hornatinovej krajiny, ale vplyvom vysokohorského karpatského salašníctva aj v subalpínskom a alpínskom stupni), asi polovica uvedenej rozlohy spustnutých pôd sa už zalesnila. V súčasnosti však máme aj „novodobé“ spustnuté plochy, ktorých genéza súvisí s industrializáciou, lebo vznikli, resp. vznikajú jednak na plochách kameňolomov, pieskovní, štrkovísk, ťažobných miest hlín, odkalísk, výsypiek, háld (kde všade išlo v podstate o odstránenie pôdy), jednak na plochách s úrodnými pôdami, ktoré spustli, resp. zdevastovali sa napr. na miestach opustených poľnohospodárskych dvorov, pri výstavbe priemyselných parkov, skládok komunálnych odpadov, a pod. Príspevok sa zaoberá nevyjasnenou terminológiou, resp. pedologickou aj krajinnoekologickou otázkou, či ide o spustnuté pôdy, alebo spustnuté plochy, zdevastované povrchy, opustené plochy, pustnúce pôdy, brownfields a pod. Táto kategória pôd (plôch – najmä dávnejších erodovaných spustnutých pôd v užšom ponímaní) nebola nikdy unifikovaná alebo kodifikovaná, preto aj ich triedenie (klasifikácia) po teoretickej stránke vychádzalo len z geologického podložia (substrátu), na ktorom sa vytvorili, z praktického hľadiska niekedy aj podľa stupňa obťažnosti zalesnenia týchto plôch. Otvorenou otázkou z pedologického hľadiska ostáva, či klasifikácia spustnutých pôd nemá obsahovať aj prvok príslušnosti k pôdnej jednotke (pôdnemu typu), na ktorej vznikli, resp. či tieto pôdy nezaraďovať medzi skupinu antropických pôd.
Kľúčové slová: spustnuté pôdy, erózia pôdy, klasifikácia devastovaných plôch

ABSTRACT
In Slovakia, since the Wallachia’s colonization even in the middle of the 20th century occurred from 70,000 to 220,000 hectares of waste lands. It was the peak stage of soil erosion and devastation of the country, which occurred by man initiation (anthropogenic and anthropozoogenic influences) mainly through deforestation, fires, removal or weakening of vegetation cover combined with grazing domestic animals, or by irrational use of land (shifting cultivation, plowing cross curves, improperly distributes road network and location - land consolidation without hydrotechnic measures, etc.). For these areas accelerated large water erosion arose; to a lesser extent also wind erosion, landslide, or other geomorphological processes (avalanches, detritus’ flows, solifluction, regelation processes with frost lift, etc.) uniformly in erosion, transport and accumulation form. Thus, there are areas (surfaces), characteristic by denuded geological base in better case by disturbation of the horizontal and vertical integrity of soil mantle. That was made by slope furrowing creating a dense network of linear erosion forms, and by overlapping (buried) the original land, etc. Respecting that there was a reduction of production area for crop production in agriculture and forestry (from lowlands to mountainous areas including uplands and highlands, but by the

* Prof. Ing. Rudolf Midriak, DrSc., Ústav vedy a výskumu, Inštitút výskumu krajiny a regiónov UMB, Cesta na amfiteáter 1, 974 01 Banská Bystrica, SR; e-mail: r.midriak@seznam.cz

influence of high-mountain Carpathian sheepcote-management also in subalpine and alpine stage) about half that size of waste lands has afforested. However, currently we have a „modern“ waste lands whose history is linked to industrialization occurring both on quarries, sandpits, gravel pits, clay mining sites, sewage sludge, tips**,** spoil heaps. Everywhere was essentially recognized the removal of topsoil at areas with fertile soils, which were abandoned respectively, devastated, for example, places of abandoned farmyards, industrial parks, municipal waste landfills etc. The paper deals with nor clear terminology, respectively, like pedological or landscape-ecological problems: is it the waste lands, waste areas, devastated surfaces, abandoned areas, desolating lands, brownfields, etc.? This category of land (areas - notably earlier eroded waste lands in strict sense) has never been standardized or codified, because the categorization (classification) theoretically was based only on geology (substrate), from what they were developed, in some practically case on degree of afforestation difficulty. Open question in terms of soil conditions is: whether the classification of waste land may not contain an element belonging to the soil unit (soil type) from what arose or these soils can be included into a group of anthropogenic soils.
Key words: waste land, soil erosion, classification of devastated areas

11.1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Napriek tomu, že obdobie intenzívneho riešenia problémov klasických spustnutých pôd u nás je už prevažne obdobím minulým, k spustnutým pôdam je potrebné stále sa vracať. Príčinou je aj to, že pokiaľ vznik pôvodne nazývaných spustnutých pôd bol takmer výhradne spätý s eróziou urýchlenou antropogénnymi procesmi najmä (ale nielen) na lesnom pôdnom fonde a riešil sa ich zalesňovaním, dnes sa termín pustnutia kultúrnej poľnohospodárskej krajiny objavuje ako „novodobý“ fenomén, súvisiaci predovšetkým s opúšťaním donedávna poľnohospodársky využívanej pôdy, v súčasnosti svojvoľne zarastajúcej krovinami a lesnými drevinami.

Takto je spoločný – hoci významovo odlišný základ obidvoch javov rovnaký, ktorý spočíva v pustnutí, a to rovnako v pustnutí pôdy, ako aj v pustnutí krajiny. Tieto dva druhy pustnutia v našej krajine niektorí autori neodlišujú, ako to vyplynulo napr. aj z nedávneho vedeckého seminára „Pustnutie krajiny- ochrany pôdy – krajinná ekológia“ (Zaušková (ed)., 2009), kde sa tomuto problému venovala detailnejšia pozornosť. V konečnom dôsledku by azda bolo možné toto pustnutie zaradiť skôr medzi problémy krajinno-ekologické, než ako rýdzo problém pedologický, ale ich prelínanie sa v obidvoch vedných odboroch je viac ako zreteľné. Z tohto dôvodu sme si vytýčili za cieľ v tomto príspevku priblížiť obraz zložitosti a rôznorodosti problému spustnutých pôd a dokumentovať ho nielen odlišnou a pestrou používanou terminológiou, ale aj obrazovou dokumentáciou tohto druhu povrchov v našej krajine, čo by mohlo pomôcť v konečnom dôsledku aj pri klasifikácii týchto pôd.

11.2 VÝSLEDKY A DISKUSIA K VZNIKU, ROZŠÍRENIU, TERMINOLÓGII A TRIEDENIU SPUSTNUTÝCH PÔD

11.2.1 Spustnuté pôdy, pusté plochy, alebo spustnuté plochy?

Na začiatku je potrebné upozorniť na dilemu medzi pojmami spustnutá pôda a spustnutá plocha, ktoré by mohli byť za určitých okolností synonymom. Z viacerých našich charakteristík vyplýva, že spustnuté pôdy na Slovensku sú najvyššou formou erózneho zdevastovania povrchu v krajine, hraničiacou miestami až s vytváraním *badlands*. Ide zväčša o pôdy lesného fondu (ale nielen jeho), na ktorých bola prevažne antropogénnymi zásahmi odstránená alebo zničená trvalá vegetačná pokrývka a deštrukčnými procesmi bol buď odstránený, stenčený, alebo značne pozmenený pôdny plášť najmä s výrazným prispením diferencovanej expozičnej klímy. Došlo k prerušeniu celistvosti pôdnej pokrývky (na niektorých miestach až k výraznému zryhovaniu svahových pozemkov a k obnaženiu podložnej horniny), k zníženiu úrodnosti pôdy a k jej vyradeniu z procesu využívania za účelom získania produkcie. Vo veľkej miere výskyt takýchto povrchov bol lokalizovaný aj v poľnohospodárskej krajine.

Ak došlo k odstráneniu zvetralinovo-pôdneho plášťa na prevažnej časti povrchu a k obnaženiu horniny, resp. substrátu pôdy, čo viedlo k vyradeniu stanovišťa z rastlinnej produkcie (lesnej alebo poľnohospodárskej), vtedy sme oprávnení pokladať daný povrch za „spustnutú pôdu“ (aj tu treba odlišovať aspekt sekundárneho procesu – teda spustnutá pôda, ktorá v minulosti takou nebola a jej spustnutie prinajmenšom inicioval a akceleroval človek, na rozdiel od pustej plochy, ktorá bola pustou

už pred nástupom antropických vplyvov – napr. skalnaté svahy alpínskeho stupňa, napr. Cifra (1959), Zachar (1960a, 1965).

V prípade, že deštrukčné a transportné procesy (v geomorfologickom ponímaní) neodstránili pôdny plášť, len ho spolu s ďalšími (napr. aj chemickými) procesmi významnejšie degradovali, pôda ostala schopná plniť svoju produkčnú funkciu (hoci aj značne redukovane, resp. so zvýšenými nákladmi), hospodár ju na nejaký čas opustil, teda z krajinno-ekologického hľadiska spustla, vtedy by bolo vhodnejšie hovoriť o „spustnutej ploche“. Tento názov je podľa nášho názoru vhodnejší aj vo väčšine prípadov industriálnych príčin vytvárania spustnutých plôch, akými sú kameňolomy, skládky, haldy, hlušiny, odkaliská (teda prekrytá pôda), plochy v I. zóne ohrozenia prašnými imisiami v okolí závodov magnezitiek, vápeniek, cementární a pod., prípadne aj nezastavané povrchy priemyselných parkov, okolia diaľnic, ale vo všeobecnosti aj tzv. brownfields atď. (pozri ďalej).

Napokon povrchy bez bližšieho určenia alebo uvádzania príčiny ich pustnutia je vhodné vo všeobecnosti nazývať spustnutými plochami. Existuje však aj ďalší (v našej krajine do značnej miery „novodobý“) fenomén „pustnutie kultúrnej poľnohospodárskej krajiny“ (Zaušková, 2007), ktorý z hľadiska našich predstáv (Midriak, 2009a) reprezentuje opúšťanie obrábania pozemkov na poľnohospodárskych pôdach, a to mnoho krát bez ohľadu na úrodnosť (resp. stupeň degradácie) pôdy (Sviček, 2009 a iní).

11.2.2 Klasicky spustnuté pôdy – ich genéza a charakteristika

Na Slovensku od čias nemeckej, ale najmä valašskej kolonizácie postupne vznikali spustnuté pôdy. Pri nich zväčša išlo o štádium maximálnej eróznej devastácie pôdy a krajiny. Došlo k nej pričinením človeka antropogénnymi a antropozoogénnymi vplyvmi zväčša odlesňovaním, zakladaním požiarov, odstraňovaním alebo oslabovaním vegetačnej pokrývky (najmä lesa, kosodreviny, ale aj mačinovej pokrývky trvalých trávnych porastov), spojeným s extenzívnou pastvou domácich zvierat, resp. s neracionálnym využívaním pôdy (poliarenie, orba po spádnici, nevhodne umiestnená sieť poľných ciest a lokalizácia a úpravy pozemkov bez hydrotechnických opatrení a pod.).

Takéto plochy postihla zväčša akcelerovaná vodná erózia, v menšej miere i vetrová erózia, zosuny, prípadne aj iné geomorfologické procesy (lavíny, sutinové prúdy, soliflukcia, regelačné procesy s ihlicovitým pôdnym ľadom a i.), a to rovnako vo svojej eróznej, transportnej alebo aj akumulačnej forme. Vznikli tak plochy (povrchy), charakteristické denudovaným geologickým podkladom, miestami charakteru *badlands*, v lepšom prípade výrazným stenčením a narušením horizontálnej aj vertikálnej celistvosti pôdneho plášťa, ryhovaním svahov hustou sieťou líniových eróznych útvarov, eróznymi medziryhovými zvyškami pôdy, prekrytím (pochovaním) pôvodnej pôdy a pod. So zreteľom na pestrú mozaiku foriem výskytu erodovaných spustnutých pôd uvádzame na obr. 1-9 aspoň niekoľko typických príkladov ich rozšírenia na Slovensku podľa stavu z 2. polovice 20. storočia.

1

2

3

4

5

6

7 8 9

Obr. 1 až 9 Rozličné formy erodovaných spustnutých pôd na Slovensku: 1 – Celoplošná aj ryhová erózia na dolomitickom vápenci, 2 – Koróziou vymodelované škrapy na vápenci, 3 – Ryhovanie svahu na sprašovej hline, prerastajúce do *badlands*, 4 – Plošná vodná a antropozoogénna erózia na proluviálnych krasových sedimentoch, 5 – Plošná aj ryhová erózia na dolomite, 6 – Zoogénna erózia na terra rosse, 7 – Ryhovanie svahu na paleogénnom flyši, 8 – Výmoľ po poľnej ceste na flyšovom podloží, 9 – Snehovými lavínami zdieraný povrch svahu (*foto autor*)

Vzhľadom na to, že išlo o redukciu produkčnej plochy pre rastlinnú výrobu ako v poľnohospodárstve, tak aj v lesníctve (od nížinnej krajiny až po horské oblasti v rámci vrchovinovej až hornatinovej krajiny, ale vplyvom vysokohorského karpatského salašníctva aj v subalpínskom a sčasti i v alpínskom stupni), asi polovica rozlohy bývalých spustnutých pôd (odhadovanej pôvodne až na cca 220 tisíc ha + cca 7 tisíc ha nad hornou hranicou lesa (Midriak, 1965, 1983) sa už zalesnila (Lipták, 2009).

11.2.3 Novodobé spustnuté plochy

V súčasnosti máme popri vyššie opísaných spustnutých pôdach aj novodobé spustnuté plochy, ktorých genéza súvisí najmä s industrializáciou (niektoré však už skôr), lebo vznikli, resp. vznikajú jednak na plochách kameňolomov (obr. 10), pieskovní, štrkovísk, ťažobných miest hlín, odkalísk (obr. 11), výsypiek, háld (kde išlo o odstránenie, alebo prekrytie pôdy), jednak na plochách s úrodnými pôdami, ktoré spustli, resp. boli zdevastované napr. na miestach opustených poľnohospodárskych dvorov, hál technických služieb a i. objektov ako tzv. brownfields, ďalej pri výstavbe priemyselných parkov, diaľnic, supermarketov, skládok komunálnych odpadov a pod. (Čurlík, 2009; Kobza, 2009; Tóthová, Lalkovič, 2009 a iní). Výskyt takýchto plôch je lokalizovaný najčastejšie na okrajoch urbanizovaných priestorov – miest, obcí, osád, ale hojne ich nachádzame aj vo voľnej vidieckej krajine.

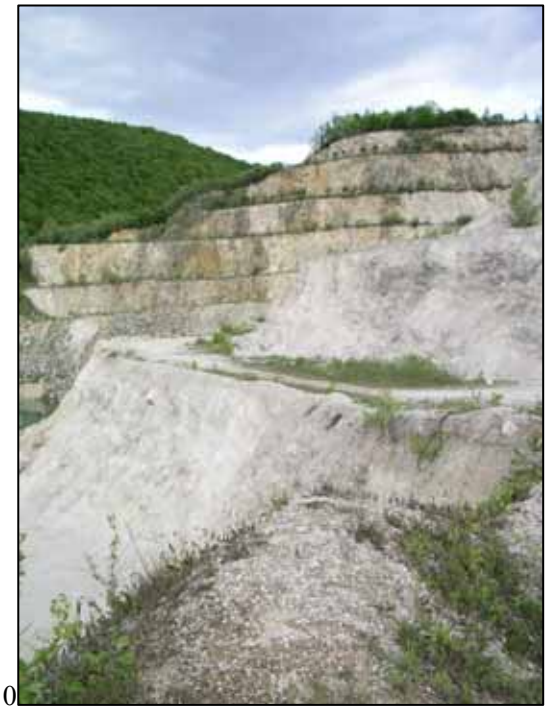
11.2.4 Nelesné pôdy a (erodované) spustnuté pôdy

Pri objasňovaní termínu „spustnuté pôdy“ je potrebné vychádzať z termínu „nelesné pôdy“. Tento však interpretovali jednotliví autori rôzne a prisudzovali mu často značne odlišný význam a hoci sa všeobecne uznával a používal bežne najmä v odbornej lesníckej literatúre i v praxi, pokladáme ho za vágny. Nelesné pôdy a ich zalesňovanie boli lesníckym „šlágrom“ najmä v 20. storočí. Ich vznik je spojený s dlhodobou kolonizáciou územia (najmä s baníckou a valašskou) a následným hospodárskym vývojom, s ktorým súviseli aj formy využívania zeme. Tieto pôdy v niektorých svojich formách vtlačili originálnu pečať druhotnej štruktúre kultúrnej krajiny, znateľnú na mnohých miestach Slovenska až do dnešnej doby.

V súvislosti so zalesňovaním pod pojmom „nelesné pôdy“ Zachar (1965), ktorý sa ich problematike na Slovensku venoval najdetailnejšie, rozumel tú časť nelesných plôch, ktorá bola určená na zalesnenie. Tým logicky predpokladal, že po úspešnom zalesnení sa tieto pôdy prevedú do lesnej pôdy. Od nelesných pôd navrhoval kvôli možnej zámene odlišovať spustnuté pôdy, ale pri ďalšom členení a klasifikácii nelesných pôd sa ani tento autor nevyhol určitému prelínaniu sa obidvoch kategórií. Citovaný autor triedi nelesné pôdy podľa ich ekologických vlastností na tieto skupiny:

- nelesné pôdy na viatych pieskoch
- soľné (zasolené) pôdy
- nelesné pôdy zaburinené a porastené rozličnými krami

- spustnuté pôdy (najmä erózne ryhy, sutinové povodne – sutinové prúdy, *pozn. autora*, a strže)
- zamokrené nelesné pôdy
- kamenité a sutinové pôdy v horských oblastiach
- pôdy znehodnotené priemyselnou činnosťou

10  11

Obr. 10 – 11 Spustnuté plochy: 10 – Po ťažbe kameňa, 11 – Na povrchu odkaliska (*foto autor*)

Spustnuté pôdy sú teda len jednou z viacerých skupín „nelesných pôd“. My pokladáme spustnuté pôdy (súhlasne s ich definíciami v iných prácach Zachara (napr. 1960a) za vrchol erózneho zdevastovania povrchu v krajine (Midriak 1965). Ide o také pôdy, resp. povrchy alebo pozemky, ktoré ako erodované ostali buď opustené so zreteľom na ich nevhodné poľnohospodárske využívanie v predchádzajúcich desaťročiach, alebo sa časť z nich zalesnila (v rámci programu zalesňovania nelesných pôd). Treba však zdôrazniť, že nie každá plocha – povrch s pôdou postihnutou eróziou, je spustnutou pôdou, a naopak, k sputnutým erodovaným pôdam patrí podľa nášho názoru aj časť kamenitých a sutinových pôd v horských oblastiach (napr. postihnutých intenzívnou vnútropôdnou – intrasolumnou, resp. introskeletovou eróziou; (Zachar, 1970; Vacek *et al*., 2007), resp. aj časť niektorých iných vyššie uvedených skupín „nelesných pôd“ (napr. na viatych pieskoch, slaniskách, slancoch).

V prípade spustnutých pôd z hľadiska dynamiky a vývoja krajiny ide buď o proces spätnej (regresívnej) tendencie sekundárnej sukcesie (ako prvý – východiskový stupeň sukcesie, ktorá bude nasledovať po disturbancii ekosystému a pretrvávať v určitých „maskovaných“ formách až po vytvorenie klimaxového spoločenstva), alebo o vývojový stupeň typu katastrofy (v prípade odstránenia celého pôdneho profilu a totálnej denudácie horninového podkladu), pri ktorom dochádza k ireverzibilnej zmene štruktúry krajiny s výrazným ovplyvnením štruktúry pôdneho fondu a jeho využívania. Varovným poznatkom z výskumu spustnutých pôd je, že tieto pôdy vznikli výrazným prispením antropogénnych činiteľov, pričom osobitosťou týchto činiteľov je, že ich pôsobenie na deštrukciu pôdy nemusí trvať permanentne (na rozdiel od ostatných – primárnych deštrukčných činiteľov, t.j. prírodných exogénnych geomorfologických činiteľov). Antropogénne zásahy môžu dať podnet k vzniku eróznych procesov, alebo k ich urýchleniu, pričom pre ďalšie obdobie vývoja deštrukčných foriem povrchu môžu byť viac-menej bezvýznamné, resp. indiferentné a deštrukcia pôdy už môže pokračovať až po jej spustnutie len účinkom primárnych činiteľov (Midriak, 1969).

11.2.5 Ďalšie údaje o terminológii a výskyte spustnutých pôd na Slovensku

Vo svetovej literatúre je relatívne mnoho zmienok, resp. údajov o spustnutých pôdach a príčinách ich vzniku (medzi ktorými dominuje človek, antropozoogénne procesy a sucho, s ktorým všeobecne súvisí dezertifikácia krajiny). Je potrebné konštatovať, že medzi autorov najstarších svetových odborných alebo vedeckých prác o spustnutých pôdach na území Spojených štátov amerických patrili geológovia Lowe a McGee (1910), ktorí azda prví použili termín *waste lands* (spustnuté pôdy) ako aj erodológ Bennett (1939), spájajúci predstavu spustnutých pôd najmä s formou devastovaného povrchu typu *badland* (špatná zem, spustnutá pôda).

Na Slovensku sme si pravdepodobne taktiež výraznejšie uvedomovali úbytok výmery produkčnej plochy vplyvom postupného pribúdania spustnutých pôd. A tak sa ich výskum uberal nie len v teoreticko-erodologickom zameraní (Zachar, 1960b, 1970; 1982, Midriak, 1965, 1969, 1983 a iní) novšie označený aj ako geomorfologická odozva k environmentálnym zmenám prostredia (Stankoviansky, 2003), ale zväčša aj v praktickom zameraní so zreteľom na ich zalesňovanie (Janečko *et al.*1955; Dalmady, 1960; Trančík, 1960; Slivka, 1964; Zachar, 1965; Zachar *et al*. 1969, 1973; Midriak, Lipták,1995; Lipták, 2009).

Výskumom erózie spustnutých pôd na Slovensku, ktorá je popri ich odlesnení, nevhodnej orbe a pasení na strmých svahoch najvýznamnejším činiteľom ich vzniku, sme sa zaoberali už v polovici minulého storočia (Midriak, 1965). Na Slovensku však nebola výmera spustnutých pôd nikdy spresnená. Ide o to, že termín „spustnuté pôdy“ sa nekodifikoval, resp. neunifikoval a tak sa zamieňal s rozličnými ďalšími označeniami v našej lesníckej i poľnohospodárskej praxi (ako napr. degradované pôdy, devastované pôdy, erodované pôdy, holiny, málo úrodné pôdy, neplodné pôdy, najčastejšie však nelesné pôdy a pod.).

V roku 1920 bolo cca 114 400 ha tzv. nelesných pôd, čo bola združená kategória, označujúca spustnuté pôdy + rašeliniská + lesné lúky na lesnom pôdnom fonde. V roku 1948 sa súpisom plôch zistilo len 31 698 ha tzv. neplodnej pôdy (súpis však bol neúplný). V roku 1961 Štátny vodohospodársky plán po delimitácii pôdy (r.1956-1960) predpokladal na Slovensku zalesniť 262 135 ha nelesných pôd (presná výmera spustnutých pôd aj tu chýba). Ani po revízii delimitácie pôdneho fondu z roku 1962 (Marková *et al.,* 1962) nebola rozloha spustnutých pôd známa. Po stotožnení pojmu spustnuté pôdy s pôdami erodovanými a málo výnosnými (z nelesných pôd) v rámci plánu Zveľaďovania poľnohospodárstva, lesného a vodného hospodárstva bolo možné (nie však úplne presne) usúdiť, že na Slovensku išlo o rozlohu 219 838 ha spustnutých pôd (Midriak, 1965), čo iste nie je zanedbateľná výmera. Najnovšie sme ju však kvôli pochybnostiam po preverení v teréne na základe planimetrických analýz jedinej mapy o rozšírení spustnutých pôd na Slovensku, uverejnenej v práci Janečko *et al.* (1955) (v prostredí GIS) redukovali na 70 705 ha. Najväčší výskyt bývalých spustnutých pôd z päťdesiatych rokov minulého storočia sme zaznamenali v Strážovských vrchoch, v Ondavskej vrchovine, v Malých Karpatoch, v Juhoslovenskej kotline, a inde.

11.3 KLASIFIKÁCIA SPUSTNUTÝCH PÔD NA SLOVENSKU

Spustnuté pôdy sa doteraz triedia len podľa typu horniny, resp. substrátu, na ktorom sa vytvorili (Janečko *et al,.* 1955). Na Slovensku ide podľa citovanej práce o kategóriu spustnutých pôd na vápencoch, na dolomitoch až dolomitických vápencoch, na silikátových horninách kryštalinika, na flyši, na neovulkanitoch a na ostatných substrátoch. Sú rozšírené od kolínneho až po subalpínsky stupeň. O ich kvantifikácii podľa tohto triediaceho kritéria sa však citovaní autori nezmieňujú.

Podľa našich najnovších analýz (Midriak, 2009b) je podiel výskytu spustnutých pôd na jednotlivých geologických jednotkách, alebo ich zoskupeniach v rámci Slovenskej republiky takýto:

- na flyšových horninách (ílovce, pieskovce, sliene) – až 36 %
- na aluviálnych náplavoch – 24,6 %
- na karbonátových horninách – 15 %
- na horninách kryštalinika a sedimentoch prvohorných i spodnotriasových – 7,9 %
- na mladotreťohorných sopečných horninách – 4,4 %
- na sprašiach, sprašových hlinách (čiastočne aj na neogénnych sedimentoch) – 1,7 %
- na viatych pieskoch – 1,2 %
- na ostatných horninách a substrátoch – vyše 9 %.

Najdôležitejším kritériom klasifikácie (erodovaných) spustnutých pôd by mal byť zrejme pôdny typ, na ktorom sa spustnutá pôda vytvorila. Na základe hodnotenia podľa tohto kritéria je relevantná situácia na Slovensku takáto:

- spustnuté pôdy na kambizemiach (52,9 % všetkých spustnutých pôd)
- spustnuté pôdy na rendzinách (22,9 %)
- spustnuté pôdy na hnedozemiach (5,6 %)
- spustnuté pôdy na fluvizemiach (5,3%)
- spustnuté pôdy na pseudoglejoch (4,1 %)
- spustnuté pôdy na podzoloch (3,4 %)
- spustnuté pôdy na luvizemiach (2,6 %)
- spustnuté pôdy na pararendzinách (1,9 %)

Pokiaľ ide o spájanie spustnutých pôd aj s antropogénnymi pôdami, tu je situácia v definíciách a v terminológii značne komplikovaná (pozri napr. Vilček *et al*., 2005); podľa nášho názoru problém antropizácie pôd nie je v komunite pedológov jednoznačne doriešený, preto od ďalších pokusov klasifikácie spustnutých pôd vo vzťahu k tomuto fenoménu sme aj v tomto príspevku zatiaľ upustili.

11.4 ZÁVER

V príspevku sa analyzuje terminológia, týkajúca sa spustnutých pôd na Slovensku ako aj vznik, výmera a rozšírenie bývalých spustnutých pôd podľa stavu z polovice minulého storočia, kedy ich výskyt v krajine Slovenska kulminoval. Z krajinno-ekologického a pedologického hľadiska sa hodnotí najmä výskyt bývalých spustnutých pôd vo vzťahu ku geologickému podložiu a pôdnym typom, z čoho sa odvodzuje aj ich klasifikácia. Na spresňovaní terminológie a klasifikácie je potrebné sústavne pracovať využijúc hromadenie nových poznatkov rovnako v oblasti pedológie, ako aj krajinnej ekológie.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka finančnej podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja pri riešení projektu APVV – 0591 – 07 Spustnuté pôdy a pustnutie krajiny Slovenska.

Literatúra

BENNETT H.H. 1939. *Soil conservation*. McGraw - Hill Book Co. New York - London, 993 pp.

CIFRA J. 1959. Potreba úpravy niektorých názvov a pojmov pri zalesňovaní spustnutých pôd. *Les,* 3, 93.

ČURLÍK J. 2009. Pustnutie poľnohospodárskej pôdy a krajiny ako prejav neúcty k najcennejšiemu dedičstvu dedov a otcov. In: Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy – krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc.,* 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, s.116 – 127.

DALMADY J. 1960. Zalesňovanie krasových holín na Slovensku. *Vedecké práce VÚLH* v Banskej Štiavnici, 1, SVPL Bratislava, 39-67.

JANEČKO E., KRÉBES K., CIFRA J. 1955. *Spustnuté pôdy a ich zalesňovanie*. Bratislava, SVPL.

KOBZA, J. 2009. Vývoj novodobo spustnutých pôvodne poľnohospodársky využívaných pôd. In: Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy - krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc.*, 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 134-140.

LIPTÁK J. 2009. Výsledky zalesňovania spustnutých pôd na Slovensku v minulom storočí. In: Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy - krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc.,* 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 98-115.

LOWE E.N., MCGEE W.J. 1910. *Our Waste Lands: a preliminary study of erosion in Mississippi*. Geological Survey. Brandon – Nashville.

MARKOVÁ N., TREBICHAVSKÝ V., PUŠKÁR R. 1962. *Delimitácia pôdneho fondu*. Bratislava, Pôdohospodárske vydavateľstvo.

MIDRIAK R. 1965. *Erózia spustnutých pôd na Slovensku*. Kand. diz. práca, VŠLD Zvolen, 178 s. + 50 obr. (nepubl.).

MIDRIAK R. 1969. Erózia spustnutých pôd karbonátových podloží na Slovensku. *Náuka o Zemi*, *IV, Pedologica,* 5. Bratislava SAV.

MIDRIAK R. 1983. *Morfogenéza povrchu vysokých pohorí*. Bratislava, Veda.
MIDRIAK R. 2009a. Projekt APVV „Spustnuté pôdy a pustnutie krajiny Slovenska". In: Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy - krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc*., 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 61-74.
MIDRIAK R. 2009b. Analýza krajinnoekologických aspektov bývalých slovenských spustnutých plôch. In Klikušovská, Z., Sviček, M. (eds.): *Environmentálne indexy a indikátory analýzy a hodnotenia krajiny 2009: Zborník referátov z vedeckého seminára*, Bratislava 5.11.2009. Bratislava VÚPOP, 73-81.
MIDRIAK R., LIPTÁK J. 1995. Erosion and reforestation of abandoned lands in the Slovak Karst Biosphere Reserve. *Ekológia (Bratislava),* Suppl. 2/1995, 111-124.
SLIVKA J. 1964. Zalesňovanie spustnutých pôd v Juhoslovenskom krase. *Lesnícky čas*., 3, s.301-308
STANKOVIANSKY M. 2003. *Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny.* Univerzita Komenského, Bratislava, 156 s.
SVIČEK M. 2009. Expertný systém identifikácie zanedbaných pôd prostredníctvom vlastníckych a užívateľských vzťahov. In Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy - krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc*., 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 155-162.
TÓTHOVÁ S., LALKOVIČ M. 2009. Rekultivácia spustnutých pôd v lokalite Bankov. In: Zaušková, Ľ. (ed.): *Pustnutie krajiny - ochrana pôdy - krajinná ekológia. Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc*., 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 255-260.
VILČEK J., HRONEC O., BEDRNA Z. 2005. *Environmentálna pedológia*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre a Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave, 299 s.
TRANČÍK P. 1960. Doterajšie skúsenosti so zalesňovaním spustnutých pôd na Slovensku. *Lesnícky čas*., VI, 3, 231-237
VACEK S., PODRÁZSKÝ V., MIKESKA M. 2007. *Ohrožení půd introskeletovou erozí v lesích* ČR, Lesnická práce, r. 86.
ZACHAR D. 1960a. *Upevňovanie svahov pri zalesňovaní spustnutých pôd. Bratislava*, Pôdohospodárske vydavateľstvo.
ZACHAR D. 1960b. *Erózia pôdy.* SAV, Bratislava, 308 s.
ZACHAR D. 1965. *Zalesňovanie nelesných pôd*. SVPL, Bratislava, 230 s.
ZACHAR D. 1970. *Erózia pôd. 2*. vyd. SAV, Bratislava, 528 s.
ZACHAR D. 1982. *Soil erosion*. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam - Oxford - New York, 548 p.
ZACHAR D. a kol. 1969. Výskum spustnutých pôd Perísk a ich zalesňovanie. *Lesnícke štúdie* č. 2, Príroda, Bratislava, 148 s.
ZACHAR D. a kol. 1973. Výskum zalesňovania spustnutých pôd v Slovenskom krase. *Lesnícke štúdie* č. 16, Príroda, Bratislava, 168 s.
ZAUŠKOVÁ Ľ. 2007. Problémy rozvoja poľnohospodárskej krajiny v Slovenskej republike. In: Midriak, R., Zaušková, Ľ. (eds.): *Súčasný stav a najbližší vývoj pôdneho fondu na Slovensku. Zbor. refer. z vedec. sympózia k 80. výročiu narodenia prof. Ing. Rudolfa Šályho, DrSc.*, konaného dňa 1. júna 2007 v Turčianskych Tepliciach. Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 49-53.
ZAUŠKOVÁ Ľ. (ed.). 2009. Pustnutie krajiny – ochrana pôdy – krajinná ekológia. *Zbor. refer. z vedec. seminára pri príležitosti život. jubilea – 70. výročia narodenia prof. Ing. Rudolfa Midriaka, DrSc*., 9.9.2009 Banská Bystrica. Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 386 s.

12. VÝSLEDKY VÝZKUMU LESNÍCH PŮD V RÁMCI PROGRAMU BIOSOIL V ČESKÉ REPUBLICE – ZAJIŠTĚNÍ VÝŽIVY DŘEVIN ZÁKLADNÍMI ŽIVINAMI

12 Results of the forest soil research in the project BIOSOIL in Czech Republic – wood nutrition supply by basic nutrients

Vít Šrámek, Lucie Vortelová, Věra Fadrhonsová, Kateřina Hellebrandová *

ABSTRAKT
Příspěvek hodnotí chemické vlastnosti lesních půd na 154 plochách monitoringu zdravotního stavu lesů ICP Forests v České republice, které byly zjišťovány v rámci mezinárodního projektu BIOSOIL. Hodnoceno je pH, celkový obsah dusíku, přístupné obsahy hlavních bazických kationtů a saturace bázemi v humusovém horizontu a v minerální půdě do hloubky 80 cm. Výsledky ukazují převahu silně kyselých (pH($CaCl_2$): 3-4) a středně kyselých (pH($CaCl_2$): 4-5) půd. Zásoba lesních půd (ekosystémů) dusíkem je dobrá, ve vztahu k předpokládanému deficitu tohoto prvku v minulosti ji lze považovat za zvýšenou. Naopak zásoba přístupných kationtů v minerálních horizontech lesních půd je velmi nízká až kritická. Zejména obsahy Ca jsou na většině ploch pod hranicí kritického nedostatku (< 140 $mg.kg^{-1}$) a velmi nízká je i jeho celková zásoba. Nízké jsou rovněž obsahy hořčíku a draslíku, které však mají relativně vysokou celkovou zásobu v půdním profilu. Při snížené imisní zátěži a vhodném obhospodařování je tedy možné očekávat jejich doplnění sorpčního komplexu zvětráváním. Nasycení sorpčního komplexu bázemi odpovídá výše uvedeným skutečnostem a na řadě lokalit je velmi nízké (<10%).
Klíčová slova: lesní půdy, průzkum, výživa porostů, BIOSOIL projekt

ABSTRACT
The contribution assess the chemical properties of forest soils on 154 plots of the forest health monitoring program ICP Forests in the Czech Republic which were sampled within the international project BIOSOIL. For the upper humus and mineral layers down to depth of 80 cm the pH, total nitrogen, available base cation contents and base saturation are evaluated. Results show the majority of strongly acid (pH($CaCl_2$): 3-4) and acid (pH($CaCl_2$): 4-5) forest soils. The nitrogen content in forest soils is generally good; considering the expected nitrogen deficiency in the past it could be assessed as increased. On the other hand the stock of available base cations in the mineral layers of forest soils is very low – even critical. Mainly available Ca content on most of the plots is under the critical deficiency limit (< 140 $mg.kg^{-1}$) and its total content is very low as well. The content of available magnesium and potassium are also often low, their total stock in the soil profile is, however, relatively good. It means that in the case of reduced air pollution load and appropriate management the weathering can contribute to the improvement of soil quality. The base saturation reflects the above mentioned facts and is very low (< 10%) at many localities.
Key words: forest soils, investigation, nutrition of forest, BIOSOIL project

12.1 ÚVOD

Lesní půdy zásadním způsobem determinují možnost existence, vlastnosti i funkce lesních ekosystémů a představují i základ pro jejich produkci. Lesní hospodářství je extenzivní, což vyplývá jednak z dlouhého produkčního období, které je zpravidla delší než 100 let, jednak z toho, že hlavním produktem, který člověk v rámci managementu odebírá, je dřevo. Jeho základními stavebními prvky jsou celulózy a ligniny, jež jsou tvořeny především uhlíkem, kyslíkem a vodíkem – tedy prvky, které dřeviny získávají z ovzduší ve formě CO_2 a z hydrolýzy vody v průběhu fotosyntézy (Larcher, 1988). V ideálním případě je tedy produkční systém lesa samostatně dlouhodobě udržitelný a řádné pěstování lesů neklade samo o sobě neúnosné nároky na lesní půdy.

* doc. Ing. Vít Šrámek, PhD., Ing. Lucie Vortelová, Ing. Věra Fadrhonsová, Mgr. Kateřina Hellebrandová, PhD., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Strnady 36, 252 02 Jíloviště, ČR, e-mail: sramek@vulhm.cz; vortelova@vulhm.cz

Lesní půdu nelze vnímat jako statický systém. Je to dynamický organismus, který je spjatý celou řadou vazeb s dalšími složkami ekosystému. Je velmi úzce provázán jednak s atmosférou a klimatem, jednak s biotou – nejen se dřevinami, které představují hlavní součást lesních ekosystémů, ale s veškerými živými organismy, které půdy pomáhají vytvářet a přispívají k jejich změnám. Ovlivňování biotických i abiotických složek lesních ekosystémů se projevuje i na půdních vlastnostech a naopak změny půdních vlastností mohou ovlivnit strukturu i funkci lesních porostů. Mezi základní antropogenní vlivy, jež se na vlastnostech půd v současné době projevují, patří znečištění ovzduší, lesnický manažment a v současné době možná také antropogenně podmíněná změna klimatu. Narušení půdního prostředí se může výrazně projevit sníženou stabilitou ekosystému a zhoršením zdravotního stavu lesních porostů (Fisher, Binkley, 2000). Hodnocení půdních vlastností a sledování vývoje půd proto bylo vždy nedělitelnou součástí studií zabývajících se zdravotním stavem lesů.

Hodnocení půdních vlastností je jednou ze součástí typologického průzkumu a bývá zařazeno do většiny projektů z oblasti ekologie lesa, produkce lesa, či hodnocení vitality lesních porostů. Přestože existuje celá řada údajů o vlastnostech lesních půd v České republice, většinou jsou vázány pouze na konkrétní plochy, regiony či oblasti. Přenos poznatků, či společné zpracování různých typů průzkumů je často problematické vzhledem k odlišným metodám odběru i analýz půdních vzorků. Ne vždy lze beze zbytku výsledná data převést, či společně hodnotit (např. Záhornadská, 2002). Mezi nejvýznamnější zdroje dat půdních vlastností, které se vztahují k větším územním celkům, lze zmínit:

1. Typologický průzkum Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) – většinou jsou k dispozici data od 60. let dvacátého století. Půdy jsou popsány a vzorky odebrány podle genetických horizontů. Výsledky nejsou dostupné pro všechny oblasti a průzkum není prostorově homogenní. Tato historická data jsou např. pro oblast Jizerských hor zpracována v publikaci Slodičáka (2005), v Krušných horách naopak nebylo možné údaje ze starších šetření dohledat. Metody analýz vzorků u starších průzkumů nejsou v současné době již většinou používány.
2. Půdní průzkum na tzv. trvalých zkusných plochách (TZP) – plochy spravuje ÚHÚL, analýzy v současné době provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ).
3. Půdní průzkum v rámci Národní inventarizace lesů je prováděn v síti 2x2 km (ÚHÚL, 2007) a představuje nejhustší síť dat. V rámci inventarizace byly popsány půdní sondy, stanoveny půdní typy a formy humusu. Chemická analýza se prováděla pouze pro svrchní vrstvu minerálu 0-10 cm. Výluhy pro stanovení přístupných živin byly prováděny v 1% výluhu kyseliny citrónové.
4. Průzkum půd jednotlivých přírodních lesních oblastí na základě zákona o hnojivech provádí ÚKZÚZ. Odebírány jsou vzorky nadložního humusu, svrchního humusem ovlivněného minerálu a vzorky spodního minerálu cca do hloubky 30 cm. Obsahy přístupných živin jsou stanovovány po výluhu v činidle Mehlich III, obsahy celkových živin v kyselině dusičné. Obdobný průzkum provádí ÚKZÚZ i v genových základnách lesních dřevin, výsledky jsou publikovány ve zprávách (např. Fiala a kol., 2002, 2004), z nichž některé jsou dostupné i na internetu.
5. Průzkum půd v rámci přípravy vápnění – provádí v oblastech postižených acidifikací ÚKZÚZ a Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. (VÚLHM). Odběry probíhají stejně jako u průzkumů ÚKZÚZ, analytické metody se ve VÚLHM odlišují – výluh pro stanovení přístupných prvků se provádí ve výluhu chloridu amonného, celkový (pseudototální) obsah živin je stanoven ve výluhu lučavkou královskou.
6. Průzkum půd v rámci mezinárodního monitoringu zdravotního stavu lesních ekosystémů provádí VÚLHM na základě spolupráce v mezinárodním kooperativním programu ICP Forests.
7. Půdní šetření v rámci programu ICP Forest byla zahájena v roce 1995, kdy byly na podstatné části ploch vykopány půdní sondy, popsány půdní profily a odebrány vzorky humusu (horizonty L a FH) a vzorky minerální půdy z konstantních hloubek 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm a 40-80 cm (Fabiánek, 2004). Původně se předpokládaly opakované odběry v periodě 10 let, tedy v roce 2005. Vzhledem k výrazné finanční náročnosti tak rozsáhlého šetření se však nové šetření pozdrželo. Opakování odběrů půd z ploch I. úrovně monitoringu zdravotního stavu lesů probíhalo teprve v letech 2005-2008 v rámci evropského projektu BIOSOIL (Šrámek a kol., 2008). Jak z názvu vyplývá, kromě půdních šetření byly na každé ploše ještě podrobně hodnoceny parametry charakterizující biodiverzitu jednotlivých stanovišť.

BIOSOIL byl koncipován jako demonstrační projekt, mezi jehož hlavní cíle patří:

- vytvoření celoevropské databáze lesních půd pro potřeby ochrany a výzkumu v oblasti životního prostředí (např. studium acidifikace, eutrofizace, bilance uhlíku v lesních ekosystémech, vliv klimatických změn, atd.);
- aktualizace existující databáze lesních půd, např. o informace, zahrnující popis půdních profilů, chemismus a hloubku půdních vrstev, použitých analytických a odběrových metod apod.;
- dokončení evropské metodiky pro monitoring lesních půd a ohodnocení její použitelnosti pro celoevropský monitoring lesních půd před případným zahájením dalšího celoevropského projektu;
- podklady k dalšímu posouzení prostorové variability půdních vlastností;
- identifikace a analýza časové změny vlastností lesních půd;
- zlepšení současných hodnotících konceptů ve specifických více rozvinutých statistických analytických metodách zahrnujících odhad nejistot;
- zlepšení existující kontroly kvality evropského výzkumu vlastností lesních půd.

12.2 METODIKA

Odběry i analýzy půdních vzorků byly prováděny podle mezinárodních metod monitoringu lesů, blíže popsaných v manuálu UNECE 2006.

Pro projekt BIOSOIL bylo na území České republiky vybráno 146 ploch I. úrovně (17,2 % listnatých, 74,5 % jehličnatých, 8,3 % smíšených porostů) a 8 ploch II. úrovně (50 % listnatých a 50 % jehličnatých porostů) rovnoměrně rozmístěných po území ČR. Na plochách byly v letech 2005-2007 odebrány vzorky z půdních sond pro účely klasifikace půdního typu podle mezinárodní (IUSS Working group WRB, 2006) i národní (Němeček a kol. 2001) klasifikace. Podle manuálu ICP Forests (UNECE 2006) byly odebrány směsné vzorky humusové vrstvy a minerální půdy z hloubek 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-80 cm. Na plochách I. úrovně byla odebrána jedna sada směsných vzorků skládající se minimálně z pěti subvzorků, na plochách II. úrovně byly odebírány tři sady směsných vzorků. Směsné půdní vzorky byly odebírány pomocí půdního vrtáku o průměru 8 cm. Na plochách obou úrovní byla odebírána z 5 čtvercových plošek 25 x 25 cm opadanka L a humusová vrstva FH pro stanovení objemové hmotnosti.

Vzorky byly průběžně analyzovány ve zkušebních laboratořích Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti v.v.i. a v laboratořích VÚMOP v.v.i. Pro zajištění kvality analýz národních laboratoří se laboratoře účastnily mezinárodních kruhových testů. V rámci projektu byla vybrána centrální laboratoř (INRA, Francie), která prováděla reanalýzy odebraných vzorků půd asi u 10 – 15 % vybraných monitoračních ploch. U směsných vzorků byly analyzovány následující parametry:

- Objemová hmotnost opadanky (L), humusové vrstvy (FH) a minerální půdy (0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 80 cm)
- Skeletnatost
- Zrnitostní složení minerální půdy (obsah částic o velikosti < 2 µm, 2 – 63 µm, 63 µm – 2 mm)
- pH(H2O), pH(CaCl2)
- Ctot, Corg
- Ntot
- karbonáty
- obsah přístupných prvků ve výluhu roztokem BaCl2: K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, H
- Celkové (pseudototální) obsahy ve výluhu lučavkou královskou: K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, As, Cr, Ni, P, S, Hg
- Oxalátový výluh pro stanovení Fe a Al

Výsledky analýz byly předány do datového centra projektu v JRC Ispra k 31.12. 2008. V současné době ještě probíhá druhé kolo jejich verifikace – data použitá pro tuto práci tedy ještě nejsou z hlediska evropského programu zcela „definitivní“. Zpracování komplexních výsledků by bylo nad možnosti této práce. V rámci předkládaného práce jsou stručně zhodnoceny pouze základní parametry půdních vlastností ze směsných vzorků: půdní kyselost, saturace sorpčního komplexu bazickými prvky a přístupné obsahy hlavních živin (N, K, Ca, Mg) s výjimkou fosforu, u nějž byly bohužel v rámci projektu zjišťovány pouze pseudototální obsahy ve výluhu lučavkou královskou.

12.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Střední hodnoty (mediány) a hodnoty spodních a horních kvartilů pro hodnocené parametry v jednotlivých sledovaných půdních vrstvách jsou uvedeny v tab. 1.

Kyselost půdy lze posoudit na základě výsledků aktivního pH(H_2O) a výměnného pH($CaCl_2$) v jednotlivých horizontech. Výsledky potvrzují obecný předpoklad, že většina lesních půd v České republice se řadí k půdám silně až středně kyselým. Podle aktivního pH patří do silně kyselé oblasti (3,5 – 4,5) téměř tři čtvrtiny všech odebraných vzorků povrchového humusu (73 %) a prakticky stejný podíl svrchních minerálních horizontů do hloubky 20 cm. V minerální vrstvě 20-40 cm je silně kyselých půd 40 % a stejné procento reprezentuje půdy středně kyselé (4,5 – 5,5), v hloubce 40-80 cm je pak silně kyselých 23 % odebraných vzorků půd, středně kyselých 43 %.

Tab. 1 Základní charakteristiky chemických vlastností půd na plochách programu BIOSOIL podle jednotlivých odebíraných vrstev (FH – nadložní organický horizont, BS – saturace sorpčního komplexu bazickými prvky

		FH	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-80 cm
pH(H_2O)	medián	4,27	4,20	4,39	4,56	4,77
	25% kvantil	4,02	4,02	4,26	4,43	4,53
	75% kvantil	4,54	4,45	4,58	4,82	5,14
pH($CaCl_2$)	medián	3,44	3,55	3,78	3,94	4,10
	25% kvantil	3,15	3,37	3,64	3,82	3,93
	75% kvantil	3,85	3,76	3,95	4,15	4,32
N_{tot} [%]	medián	1,41	0,18	0,10	0,06	0,04
	25% kvantil	1,23	0,12	0,07	0,04	0,03
	75% kvantil	1,65	0,27	0,14	0,10	0,07
K [$mg.kg^{-1}$]	medián	349	44	29	28	35
	25% kvantil	270	31	20	18	18
	75% kvantil	490	62	43	49	58
Ca [$mg.kg^{-1}$]	medián	1995	100	49	50	126
	25% kvantil	1228	46	21	17	19
	75% kvantil	3437	287	173	270	631
Mg [$mg.kg^{-1}$]	medián	234	24	14	14	29
	25% kvantil	159	15	7	5	5
	75% kvantil	370	48	37	55	136
BS [%]	medián	62	13	9	12	25
	25% kvantil	52	8	6	6	8
	75% kvantil	76	23	20	41	71

Zastoupení půdních vzorků ve výměnném pH($CaCl_2$) ukazuje obdobné rozdělení půd do jednotlivých kategorií, s tím, že celá stupnice pH je posunuta o půl stupně níže. Za silně kyselé tak považujeme půdy s pH($CaCl_2$) 3-4. Do této kategorie spadá 69 % vzorků povrchového humusu, 86 % procent vzorků svrchní minerální půdy do hloubky 10 cm, 78 % vzorků z hloubky 10-20 cm, 60 % vzorků minerální vrstvy 20-40 cm a 34 % do nejspodnější analyzované vrstvy 40-80 cm.

Dusík je základní živinou a jedním z nejvýznamnějších makrobiogenních prvků. Na rozdíl od ostatních živin však téměř není obsažen v horninách a rostliny ho získávají prakticky výhradně ve formě nitrátů či amonných iontů, které se do půdního roztoku dostávají z rozkladu organické hmoty, formou atmosférické depozice, či mikrobiální fixací (Galloway, 1998). Vzhledem k těmto „specifikům“ koloběhu dusíku v lesních ekosystémech je poměrně problematické posuzovat jeho obsah v lesních půdách na základě chemických analýz. K důkladnému hodnocení výživy je třeba řada dalších parametrů jako je jeho obsah v asimilačních orgánech a biomase porostu, informace o průběhu amonizace a nitrifikace či chemickém složení půdního roztoku (Schulze, 2000). Jako přibližné vodítko pro hodnocení minerálních horizontů lze využít kriteria používaná např. Balcarem a kol. (2000), která jsou uvedena v tab. 2. Pro hodnocení potenciálního zdroje dusíku lze uvažovat jeho celkové množství (zásobu) v nadložním humusu, pro charakteristiku jeho přístupnosti pak poměr C/N.

Průměrná zásoba dusíku v humusovém horizontu na sledovaných plochách byla 1,2 $t.ha^{-1}$ a pohybovala se od 21 kg na ha^{-1} až po 7,6 $t.ha^{-1}$. Zhruba na 65 % ploch je zásoba dusíku v nadložním humusu vyšší než 1 $t.ha^{-1}$, na 27 % ploch pak více než 1,5 $t.ha^{-1}$. Celková zásoba dusíku v minerálních vrstvách do hloubky 80 cm je vyšší, než zásoba v nadložním organickém materiálu (bez horizontu L).

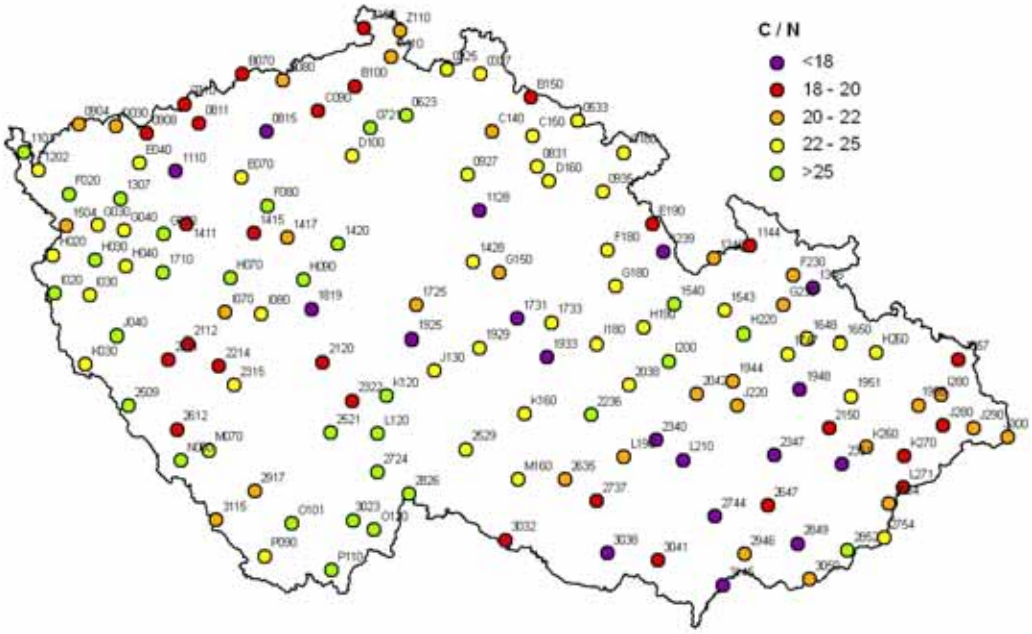
Průměrná hodnota obsahu N v této části minerální půdy je 7,2 t.ha^{-1}, medián je 6,1 t.ha^{-1}. V průměru je na plochách v minerálních horizontech uloženo 82 % dusíku, na jedné desetině ploch je to méně než 60 %.

Tab. 2 Kriteria pro hodnocení obsahu celkového dusíku v minerálních horizontech

Zásoba	Obsah N [%]
Velmi nízká	< 0,03
Nízká	0,03 – 0,06
Střední	0,06 – 0,2
Dobrá	0,2 – 0,03
Bohatá	> 0,3

V minerální vrstvě 40-80 cm jsou obsahy dusíku při hodnocení podle kriterií uvedených v tab. 2 velmi nízké (30 %), případně nízké (41 %), v hloubce 10-20 cm je zásoba převážně střední (69 %) a v povrchovém horizontu 0-10 cm je dokonce 23 % vzorků s dobrou a 21 % vzorků s bohatou zásobou dusíku. Tento jev je nepochybně způsoben vyšším obsahem organických látek ve svrchních vrstvách půdy, do jisté míry může být ovšem ovlivněn i zvýšenou depozicí dusíku.

Hodnoty poměru C/N na jednotlivých plochách jsou patrné z obr. 1. Hodnocení tohoto poměru je v současné době do jisté míry rozporuplné. Poměr C/N je klasicky hodnocen jako měřítko kvality humusu – příznivější humusové typy s rychlejší dynamikou živin mají nižší poměr C/N, optimální hodnota se pohybuje v rozsahu 15-20. Na straně druhé je zejména v posledních 20 letech tento poměr vnímán jako indikátor saturace dusíkem signalizující riziko vyplavování nitrátů z lesních ekosystémů (Gundersen a kol., 1998) s tím, že hodnoty C/N nižší než 25 představují vysokou saturaci ekosystému dusíkem a indikují možné riziko vyplavování nitrátů.



Obr. 1 Hodnoty C/N v nadložním humusu na plochách BIOSOIL v ČR

Uvedená kritéria je nutno posuzovat do jisté míry odděleně. Hodnocení poměru C/N musí být vždy vztaženo ke konkrétním stanovištním podmínkám a humusovým formám – poměr C/N v příznivých humusových formách jako je mul či moder je přirozeně nízký a hodnota <25, nebo i <20 nemusí znamenat ekologické riziko. Citovaný limit C/N 25 byl stanoven skandinávskými autory a lze jej do jisté míry aplikovat na porosty jehličnatých dřevin na méně příznivých stanovištích. Míru saturace ekosystému dusíkem je však nutno posuzovat podle komplexnějších kriterií (Aber, 1992, Dise a kol., 2009), v optimálním případě se znalostí chemického složení půdního roztoku. Studie Moldana a kol. (2006) ukazuje, že ke zvýšenému vyplavování nitrátů může dojít i bez změn poměru C/N.

Rychlost rozkladu organických látek v humusové vrstvě i možnost akumulace dusíku jsou pak závislé na celé řadě faktorů včetně meteorologických podmínek, poměru ligninu a hemicelulózy a dostupnosti dalších prvků pro mikrobiální činnost, zejména fosforu (Berg, Laskowski, 2006). Podle dosavadních zkušeností – např. z ploch intenzivního monitoringu lesních ekosystémů v České republice (Boháčová a kol., 2009) hodnoty C/N okolo 20 ještě nemusí představovat riziko zvýšeného vyplavování nitrátů. Přesto je tento limit (C/N = 20) např. jedním z kriterií výběru ploch pro vápnění lesních porostů, protože při zvýšení pH a případně následném smýcení porostu se riziko zrychleného rozkladu humusové vrstvy zvyšuje (Šrámek, 2005). Poměr C/N o saturaci ekosystému dusíkem vypovídá a v současné době je ho nutné sledovat, ovšem vždy s ohledem na konkrétní stanoviště, jeho vývoj v časovém horizontu několika let a v kontextu s celkovou zásobou dusíku ve vrstvě nadložního humusu.

Vápník představuje jeden z nejvýznamnějších půdních kationtů, který je rovněž důležitou živinou. V půdním prostředí se přímo podílí na tvorbě základních charakteristik půdní úrodnosti, jako je kyselost (hodnota pH), nasycení sorpčního komplexu bázemi nebo poměr bazických kationtů vůči hliníku. Zatímco v půdách je významnou součástí půdního roztoku a je poměrně pohyblivý, v rostlinných pletivech je převážně fixován v buněčných stěnách, případně v nerozpustných krystalických sloučeninách ve vakuolách buněk (šťavelany). Po zabudování do těchto struktur prakticky nemůže být v rostlinách transportován a narozdíl od draslíku a hořčíku nedochází k jeho vyplavování z rostlinných tkání. Tento rozdíl vede k tomu, že se v lesních porostech velmi často setkáváme s deficitem vápníku v minerálních horizontech lesních půd, ale nedostatek vápníku v asimilačních orgánech bývá pozorován pouze ve zcela výjimečných případech.

Jak vyplývá z výsledků analýz provedených v rámci programu BIOSOIL, vápník je v minerálních horizontech na většině ploch v mírném až výrazném nedostatku. Jako výrazný deficit Ca bývá uváděna hodnota 140 $mg.kg^{-1}$. Do této kategorie spadá 61 % vzorků horizontu svrchní minerální půdy 0-10 cm, 71 % vzorků z hloubky 10-20 cm, 67 % vzorků z vrstvy 20-40 cm a 53 % vzorků z hlubších vrstev v hloubce 40-80 cm.

Většina ostatních odebraných vzorků minerální půdy se pohybuje v oblasti mírného nedostatku Ca v rozsahu 140 – 350 $mg.kg^{-1}$. V oblasti dostatečné výživy (>350 $mg.kg^{-1}$) se nachází pouze cca 20 % vzorků minerální půdy, u nejhlubší vrstvy půdy 40-80 cm je to 33 %. Zcela odlišná je pochopitelně situace v horizontu nadložního humusu, kde se obsah vápníku pohybuje v levostranném rozdělení s hodnotou mediánu 1 995 $mg.kg^{-1}$, hodnota 75 % kvartilu je 3 437 $mg.kg^{-1}$.

Zjištění takto nízkých obsahů vápníku v lesních půdách lze považovat za závažné, nejsou však zcela překvapivé. Výrazné nedostatky tohoto prvku dokumentuje řada regionálních i lokálních studií. Pro oblast Krušných hor dokládá Kulhavý a kol. (2008) velmi nízké obsahy vápníku u třetiny odebraných vzorků humusem ovlivněného minerálního horizontu A a u téměř 70 % minerální půdy do 30 cm (označováno jako horizont B). Do oblasti mírného nebo výrazného deficitu spadala naprostá většina odebraných vzorků horizontu B (cca 85 %). Tyto výsledky odpovídají i průzkumu provedenému v Krušných horách Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ), což dokládá práce Fialy a kol. z roku 2000. Slodičák a kol., 2005 konstatují, že v Jizerských horách se obsahy vápníku v minerální půdě pohybují v oblasti velmi nízké až nízké zásoby. Průzkum provedený ÚKZÚZ v oblasti LS Vyšší Brod na 64 lokalitách (Fiala a kol. 2004) konstatuje, že pod hranicí obsahu Ca, která garantuje „normální“ růst (200 $mg.kg^{-1}$ ve výluhu Mehlich III), se nachází téměř všechna odběrová místa.

Draslík je prvkem, který se v rostlinných tělech vyskytuje především ve formě volného iontu a snadno tak dochází k jeho vyplavování z pletiv. V půdě představuje hlavní zdroj draslíku zvětrávání matečního materiálu, ve kterém se většinou poměrně hojně vyskytuje a to i na kyselých podložích.

Výsledky projektu BIOSOIL ukazují na velmi nízké hodnoty obsahů přístupného draslíku v minerálních půdách. Výsledky analýz se pohybují od jednotek $mg.kg^{-1}$ v podstatě od hranice citlivosti analytických metod po maximální obsahy ve výši 200-320 $mg.kg^{-1}$ pro jednotlivé horizonty. Pokud vezmeme za hranici deficitu hodnotu 30 $mg.kg^{-1}$, spadá do oblasti nedostatku tohoto prvku asi čtvrtina vzorků svrchní minerální vrstvy 0-10 cm, více než polovina vzorků z hloubky 20-40 cm a více než 40 % z hlubších půdních vrstev 40-80 cm. Naopak v oblasti středního a dobrého obsahu (od 50 $mg.kg^{-1}$) se pohybuje pouze asi 40 % vzorků svrchní minerální půdy, okolo 20 % vzorků z vrstev v hloubkách 10-40 cm a 30 % vzorků hlubších půdních vrstev. Oproti vápníku byly v půdách doloženy výrazně vyšší obsahy pseudototálního K zjištěného ve výluhu lučavkou královskou.

V nadložním humusu se obsahy draslíku pohybují od 32 mg.kg^{-1} do 1 954 mg.kg^{-1}, průměrný obsah je 409 mg.kg^{-1} a hodnota mediánu 349 mg.kg^{-1}.

Hořčík je další významnou bazickou živinou. V rostlinných pletivech je méně mobilní než draslík, ale více než vápník. Deficit hořčíku byl mnohokrát prokázán jako závažná příčina chřadnutí lesních porostů (např. Kandler a kol., 1990; Lomský, Šrámek, 2004). Obdobně jako draslík je zastoupen v mateční hornině obvykle i na kyselých podložích.

Obsahy přístupného hořčíku v hodnocených vzorcích minerální půdy vykazují také velmi nízké hodnoty. Pohybují se od desetin mg.kg^{-1}, tedy prakticky od meze analytického stanovení až po maxima dosahující v 600 – 840 mg.kg^{-1}, v hloubce 40-80 cm dokonce 1 711 mg.kg^{-1}. Pod hranicí výrazného nedostatku (20 mg.kg^{-1}) je více než 40 % vzorků odebraných ze svrchní minerální půdy 0-10 cm i ze spodních vrstev půdy v hloubce 40-80 cm. Ve střední vrstvě půdy od 20 do 40 cm spadá do oblasti výrazného nedostatku Mg dokonce 60 % vzorků. V oblasti středního, dobrého a velmi dobrého obsahu Mg (> 40 mg.kg^{-1}) se nachází pouze 30 % vzorků minerálních půdy v hloubkách 0-10 cm a 20-40 cm, necelá čtvrtina vzorků svrchní vrstvy půdy 10-20 cm a 46 % vzorků ze spodního minerálního horizontu 40-80 cm. Ve vrstvě nadložního humusu jsou obsahy Mg vyšší, většina vzorků vykazuje hodnoty řádově ve stovkách mg.kg^{-1}, hodnota mediánu je 234 mg.kg^{-1}.

Nasycení sorpčního komplexu bázemi je významnou charakteristikou kvality půdního prostředí ve vztahu k výživě lesních dřevin (Zirlewagen a Wilpert, 2004). Hodnoty nasycenosti sorpčního komplexu bázemi by pro lesní půdy, mimo podzolů, měly dosahovat hodnot alespoň 20 %. U eluviálních horizontů horských (humusových) podzolů i u extrémně kyselých holorganických horizontů rašelinného typu je nutno i v přirozených podmínkách počítat s hodnotami značně nižšími. Někdy bývá jako hranice pro zajištění kvalitní výživy uváděna hodnotu saturace bázemi (BS) 30 %. Půdy s BS nižší než 10 % jsou již považovány za velmi nepříznivé a vyžadující chemickou melioraci (LAF 2000). Hodnocení saturace bázemi je významné pro minerální horizonty.

Hodnota nasycení bázemi v minerálních horizontech půd se na šetřeném vzorku ploch pohybovala v širokém spektru hodnot od 2 % až po více než 90 %. Rozdělení je poměrně rovnoměrné, o čemž svědčí blízké hodnoty aritmetického průměru a mediánu. Střední hodnota BS je nejnižší v minerální vrstvě 10-20 cm (9 %), s narůstající hloubkou půdy se zvyšuje až na 25 % (tab.1). Kriticky nízkou saturaci bázemi (<10%) vykazuje 40 % vzorků horizontu 0-10 cm a dokonce 55 % vzorků horizontu 10-20 cm. U kambizemí vykazuje takto nízkou saturaci bázemi v povrchových minerálních horizontech (do 40 cm) více než 30 % ploch, u pseudoglejů více než 40 % ploch a u podzolů spadá do saturace bázemi pod 10 % více než 80 % všech vzorků minerální půdy. Hodnotu saturace bázemi pod 30 % vykazuje 70-80 % vzorků z minerálních vrstev 0-40 cm a 52 % vzorků z hlubšího minerální půdy 40-80 cm.

12.4 ZÁVĚR

Výsledky ukazují převahu silně kyselých a středně kyselých půd. Velmi silně kyselé půdy na studovaných plochách nebyly zastoupeny a i v případě jednotlivých vzorků se velmi silně kyselé minerální horizonty objevily pouze v několika ojedinělých případech.

Zásoba lesních půd (ekosystémů) dusíkem je dobrá, ve vztahu k předpokládanému deficitu tohoto prvku v minulosti ji lze považovat za zvýšenou. Nižší poměr C/N v humusové vrstvě může nasvědčuje blízké saturaci ekosystémů dusíkem, obsahy tohoto prvku v minerálních horizontech však nevykazují extrémně vysoké hodnoty.

Zásoba přístupných kationtů v lesních půdách je velmi nízká až kritická. Nejzávažnější je pravděpodobně u vápníku, jehož obsahy jsou na většině ploch pod hranicí kritického nedostatku a jehož celková zásoba (a tedy i možnost doplnění zvětráváním) je velmi nízká. Z tohoto pohledu je poněkud překvapivé, že dosud nebyly ve větším rozsahu pozorovány deficience tohoto prvku např. v asimilačních orgánech. Situaci je nutno věnovat zvýšenou pozornost.

Velmi nízké jsou také přístupné obsahy draslíku a hořčíku. U hořčíku jsou i v současnosti v některých oblastech pozorovány příznaky deficitu v asimilačních orgánech lesních dřevin s narušením zdravotního stavu porostů a jsou přijímána opatření k nápravě formou chemické meliorace lesních půd. Příznaky deficitu draslíku jsou zatím spíše výjimečné a jeho obsahy v asimilačních orgánech dřevin jsou spíše dobré, přestože řada půd vykazuje nedostatečné obsahy tohoto prvku v přístupné formě. U prvků K i Mg je v lesních půdách většinou dostatečná celková

zásoba. Při snížené imisní zátěži a vhodném obhospodařování je tedy možné očekávat doplnění sorpčního komplexu zvětráváním. Nasycení sorpčního komplexu bázemi odpovídá výše uvedeným skutečnostem a na řadě lokalit je velmi nízké.

Z uvedených výsledků vyplývá mj. zásadní význam vrstvy povrchového nadložního humusu pro výživu současných i budoucích lesních porostů. Uchování funkční humusové vrstvy by mělo být zohledňováno při hospodaření v lesích i při dalších způsobech využívání lesních ekosystémů.

Poděkování

Odběry a analýzy vzorků byly provedeny v rámci projektu EC BIOSOIL. Zpracování výsledků probíhá v rámci projektu Ministerstva zemědělství ČR MZe 002070203 a projektu EC LIFE+ FutMon.

Literatura

ABER J. 1992. Nitrogen cycling and nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *Tree,* 7, 220-223.

BALCAR V., PORÁZSKÝ V., LOMSKÝ B. 2000. Příčiny poškození lesních ekosystémů a prognóza jejich dalšího vývoje včetně návrhu následných opatření v oblastech pod dlouhodobou imisní zátěží, Závěrečná zpráva projektu VaV/620/1/99, DÚ B03 Změny fyzikálních a chemických charakteristik lesních půd v oblastech silně poškozených imisemi a DÚ D02 Úprava půdního prostředí chemickou a biologickou meliorací. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 77s.

BERG B., LASKOWSKI R. 2006. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Advances in *Ecological Research* 38, Academic Press, Elsevier, 428 s.

BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2009. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice – *Ročenka programu ICP Forests/Forest Focus 2006 a 2007*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 134 s.

DISE N.B., ROTHWELL J.J, GAUCI V., VAN DER SALM C., DE VRIES W. 2009. Predicting dissolved inorganic nitrogen leaching in European forests using two independent databases. *Science of the Total Environment*, 407, 1798-1808.

FABIÁNEK P. (ed.) 2004. *Monitoring stavu lesa v České republice 1984-2003*. Ministerstvo zemědělství ČR, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 431 s.

FIALA P., REININGER D., SAMEK T. 2004. *Výsledky průzkumu stavu výživy lesa na území lesní správy Vyšší Brod*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 46 s.

FIALA P., REININGER D., TRÁVNÍK K. 2000. *Výsledky průzkumu stavu výživy lesa v lesní přírodní oblasti č. 01 Krušné hory*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 67 s

FISHER R.F., BINKLEY D. 2000. *Ecology and management of forest soils.* J. Willey and Sons, 489s.

GALLOWAY J.N. 1998. The global nitrogen cycle: changes and consequences. *Environmental Pollution* 102, S1, 15-24.

GUNDERSEN P., CALLESEN I., DE VRIES W. 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution*, 102, 403-407.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. *World reference base for soil resources 2006*, 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome, 128 s.

KANDLER O., SENSER M., MILLER W. 1990. Vergilbung und Wiedergrundung der Fichte. In: Jositz, J. (ed): *Neuartige Waldschaden - Erkenntnisse und* Folgerungen , Hanns-Siedel-Stifung eV, 113-138

KULHAVÝ J., ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., FIALA P., BORŮVKA L., MENŠÍK L. 2008. Stav lesních půd zájmové oblasti. In: Slodičák, M., Balcar, V., Novák, J., Šrámek, V. (eds.): *Lesnické hospodaření v Krušných horách.* LČR, VÚLHM, v.v.i., 71-98

LAF 2000. Leitfaden Forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen. Sächsische Landesanstalt für Forsten, Schriftenreihe der LAF, *Heft* 21/2000, 58 s.

LARCHER W. 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia Praha, 361 s.

LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2004. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 50, 533-537.

MOLDAN F., KJONAAS O.J., STUANES A.O., WRIGHT R.F. 2006. Increased nitrogen in runoff and soil following 13 years of experimentally increased nitrogen deposition to a coniferous-forested catchment at Gardsjon, Sweden. *Environmental Pollution* 144, 610-620.

NĚMEČEK J. MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky,* ČZU Praha, 78 s.

SCHULZE E.D. (ed.) 2000. Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. *Ecological Studies* 142. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 500s.

SLODIČÁK M. (ed.) 2005. *Lesnické hospodaření v Jizerských horách. Lesy České republiky*, s.p. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 232 s.

ŠRÁMEK V. 2005. *Metodika výběru ploch pro plošnou chemickou melioraci lesních půd*. VÚLHM, TEI – bulletin technicko-ekonomických informací, 8 s.

ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L., LOMSKÝ B. 2008. BIOSOIL – Evropský projekt monitoringu lesních půd – průběh v České republice. *Půda v moderní informační společnosti – 1. konference České pedologické společnosti a Societas pedologica slovaca – sborník* příspěvků (na CD) 287-297.

ÚHÚL 2007. *Národní inventarizace lesů v České republice*. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 222 s.

UNECE 2006. *Sampling and Analysis of Soil*. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part IIIa, 130 s.

ZÁHORNADSKÁ J. 2002. *Srovnávací studie analytických metodik pro rozbory půd VÚLHM a ÚKZUZ*, VÚLHM, 17s.

ZIRLEWAGEN D., VON WILPERT K. 2004. Using model scenarios to predict and evaluate forest-management impacts on soil – base saturation at landscape level. *European Journal of Forest Research* 123, 269-282.

13. MOŽNOSTI KATEGORIZACE KONTAMINOVANÝCH PŮD V NÁVAZNOSTI NA KLASIFIKAČNÍ SYSTÉM PŮD

13 The categorization of contaminated soils possibilities following soil classification system

Milan Sáňka*

ABSTRAKT
Jsou hodnoceny metody, klady a nedostatky zařazení kontaminovaných půd v českém a slovenském klasifikačním systému a v systému WRB. Pro klasifikaci kontaminovaných (intoxikovaných) půd je třeba stanovit: a) úroveň a jednotku v klasifikačním systému, b) definovat kontaminaci pro účel klasifikace: co je to kontaminovaná půda, jaká použít kritéria, mocnost horizontů apod. Na základě provedené analýzy je sestaven návrh zásad pro zařazení kontaminovaných půd do Taxonomického klasifikačního systému půd ČR: i) taxonomická jednotka pro identifikaci kontaminace v klasifikačních systémech by měla být na úrovni variety; ii) varieta „kontaminovaná“ musí být dostupná pro všechny hlavní klasifikační půdní jednotky (půdní typy); iii) kritériem pro zařazení do variety „kontaminovaná“ by mělo být překročení úrovně obsahů toxických látek v půdě, které by mohly být příčinou vzniku zdravotních nebo ekologických rizik (tzv. indikační limit). S využitím definice kontaminovaného místa podle Tematické strategie jsou navržena kritéria pro zařazení půdy do kategorie (variety) „kontaminovaná“.
Klíčová slova: taxonomie půd, kontaminace půd, limity kontaminace

ABSTRACT
Methods, advantages and drawbacks of classification of contaminated soils are assessed for the Czech and Slovak classification system and for the WRB. For the classification of contaminated soils is necessary to define: a) level and unit in a classification system, b) concept of contamination for the purpose of classification, i.e. what is the contaminated soil, what kind of criteria to use, thickness of horizons etc. Based on analysis of these two points rules for classification of contaminated soils in the Taxonomic classification system of the CR are proposed: i) the taxonomy unit for identification of contamination should be ordered on the level of variety; ii) the variety „contaminated“ should be available for all main units (soil types); iii) criteria for classification as variety „contaminated“ should be exceeding of such level of toxic substances content in soil which could cause serious health or ecological risks (trigger or indication level). Using the definition of contaminated sites according to the Soil Thematic Strategy a basic criteria for soil classification into the variety „contaminated“ are proposed in the contribution.
Key words: soil taxonomy, soil contamination, limits of contamination

13.1 ÚVOD

V klasifikačních systémech půd jsou klasifikační jednotky založeny zejména na morfogenetických znacích a na sledu diagnostických horizontů. Antropogenní působení a jím vyvolané změny jsou však velmi významným faktorem v půdní diagnostice, který se začíná uplatňovat i v klasifikačních systémech. Zásadní přístup vyplývá z nové koncepce klíče podle WRB pro určení referenční skupiny půd, kde:

- v prvním kroku se vylišují Histosoly (půdy s mocnou organickou vrstvou)
- ve druhém kroku se vylišují Antrosoly (půdy s dlouhodobým zemědělským využíváním) a Technosoly (půdy s množstvím antropogenních artefaktů).

* Dr. Ing. Milan Sáňka, PhD., Masarykova Universita Brno, RECETOX, Kamenice 126/3, 625 00 Brno, ČR, e-mail: sanka@recetox.muni.cz

Tedy druhý krok specifikuje skupinu půd se silným antropogenním vlivem. V dalších krocích jsou pak vylišeny skupiny půd podle pedogeneze, od Cryosolů až po Regosoly. V pojetí TKSP ČR i MKSP SR však Anthrosolům odpovídají spíše Kultizemě a Technosolům pak Antropozemě (resp. Antrozemě v SR). Takto jsou do většiny klasifikačních systémů zakotveny fyzikální a morfologické znaky půd vyvolané antropogenním působením. Zásadním faktorem (ve většině případů právě antropogenního původu) ovlivňujícím vlastnosti půd a potažmo i taxonomii je kontaminace. Ta se projevuje ve změnách chemismu půd – tedy nejen v antropogenních půdách, ale i na přirozeně vyvinutých půdních typech na zemědělských i lesních půdách.

Pro klasifikaci kontaminovaných (intoxikovaných) půd je třeba stanovit:

A. úroveň a jednotku v klasifikačním systému;
B. definovat kontaminaci pro účel klasifikace, tj. co je to kontaminovaná půda, jaká použít kritéria, mocnost horizontů apod.

13.2 VÝSLEDKY A DISKUSE

Přístupy k zařazení kontaminovaných půd do klasifikačních systémů nejsou jednotné. V českém, slovenském klasifikačním systému a v systému WRB je kontaminace půd zařazena takto:

- Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska má možnost definovat varietu „kontaminovaná“ u každého půdního typu.
- Taxonomický klasifikační systém půd ČR specifikuje kontaminaci pouze u Antropozemí a to na úrovni dvou subtypů: kontaminovaná a intoxikovaná.
- WRB specifikuje kontaminaci na úrovni *suffix qualifier* pod názvem *toxic*. *Toxic suffic qualifier* je možno přiřadit pouze těmto referenčním třídám: Histosoly, Technosoly a Gleysoly.

Podrobnější přehled zařazení kontaminovaných půd je v tab. 1.

Kontaminace půdy se projevuje především v chemismu půdy, nemá vliv na morfologii a morfogenezi půdy, proto by měla být taxonomická jednotka stanovena na úrovni variety. Ačkoliv se tato vlastnost dá předpokládat především u antropogenních půd, jednoznačně se vyskytuje nezávisle na půdním typu a proto musí být dostupná pro všechny hlavní klasifikační půdní jednotky (půdní typy).

Definovat kontaminaci pro účel klasifikace půd je problematické protože definice kontaminace (nejen) pro účel klasifikace je v různých zemích a klasifikačních systémech nejednotná. Vlastní definice otevírá celou oblast principů pro stanovení limitních hodnot a metodologie hodnocení kontaminovaných půd. Tematická strategie ochrany půdy, část *Contamination and Land Assessment* (2002) uvádí definici kontaminovaného místa: „Kontaminované místo je takové místo, kde je potvrzena přítomnost nebezpečných látek, v důsledku činnosti člověka, které mohou být zdrojem rizik pro receptory“.

Tato definice vychází z principu zacházení s půdou na základě hodnocení rizika (*Risk Based Land Management,* RBLM). Cílem principu RBLM je dosažení integrovaného přístupu k hodnocení krajiny z různých perspektiv (např. z pohledu územního plánování, ochrany životního prostředí, rekreace, ochrany zdraví lidí ap.). Základními komponenty tvořícími pojem RBLM jsou:

- vhodnost pro využívání lokality;
- ochrana životního prostředí;
- dlouhodobá udržitelnost řešení (udržitelný rozvoj).

Vhodnost pro využívání lokality je dána nebezpečím vyplývajícím z úrovně kontaminace a expozičními parametry, což tvoří úroveň zdravotního rizika. Podobně, ochrana životního prostředí reprezentuje úroveň ekologického rizika. V obou případech, při určitém nastavení expozičních scénářů může a nemusí ke zdravotním nebo ekologickým rizikům docházet. Pokud je však součástí (remediačního) řešení kontaminovaného místa ponechání určité kontaminace v půdě, musí to být dlouhodobě udržitelné, aniž by (při změně expozičního scénáře) nastalo riziko.

Je zřejmé, že pro účel klasifikace je nutno za nebezpečné látky považovat pouze persistentní toxické látky *(persistent toxic substances*), které mohou dlouhodobě ovlivnit chemismus půdy.

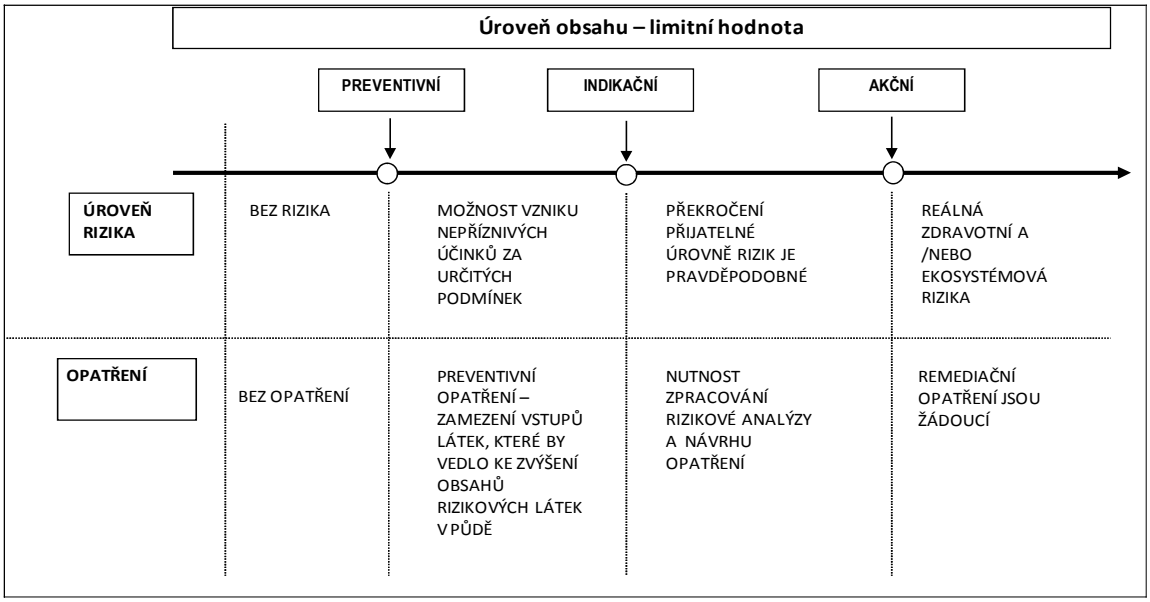
Dále hodnocení rizika pro receptory musí být založeno na třech prvcích hodnocení:

ZDROJ → EXPOZIČNÍ CESTA → RECEPTOR.

Zahrnutí těchto prvků je nezbytné k sestavení koncepčního modelu stanoviště, k hodnocení expozice a následného rizika vzhledem ke kontaminaci půdy.

Pokud bychom tedy použili jako kritérium kontaminace pro klasifikační systém překročení limitních hodnot, měly by to být limitní hodnoty odvozené na základě účinku (*effect based*). Např. použití preventivních hodnot je problematické, protože jsou odvozeny zejména statisticky a jejich překročení ještě nelze považovat za kontaminaci, která by vedla ke vzniku zdravotních nebo ekologických rizik. Správnou úrovní jsou tzv. limity indikační, které jsou nastaveny tak, že v případě souběhu nepříznivých faktorů expozičního scénáře (*worst case scenário*) dojde k měřitelnému vzniku zdravotních nebo ekologických rizik (obr. 1).

Obr. 1 Základní úrovně limitních hodnot obsahů rizikových látek v půdách, odpovídající úroveň rizika a navrhovaných opatření.



Taxonomická jednotka pro identifikaci kontaminace v klasifikačních systémech by měla být na úrovni variety. Varieta „kontaminovaná“ musí být dostupná pro všechny hlavní klasifikační půdní jednotky (půdní typy). Kritériem pro zařazení do variety „kontaminovaná“ by mělo být překročení úrovně obsahů toxických látek v půdě, které by mohly být příčinou vzniku zdravotních nebo ekologických rizik (tzv. indikační limit)..

13.3 ZÁVĚRY

1. Taxonomická jednotka pro identifikaci kontaminace v klasifikačních systémech by měla být na úrovni variety.
2. Varieta „kontaminovaná“ musí být dostupná pro všechny hlavní klasifikační půdní jednotky (půdní typy).
3. Kritériem pro zařazení do variety „kontaminovaná“ je výskyt kontaminovaného horizontu v půdním profilu. Ten musí být definován:
    A. Překročením stanovené úrovně obsahů toxických látek v půdě (jako stanovená úroveň se navrhuje tzv. indikační limit – hodnota obsahu, jejíž překročení by mohlo být příčinou vzniku zdravotních nebo ekologických rizik.
    B. Prostorovým vymezením (mocností), v jaké dojde dle bodu A k překročení limitních hodnot v půdním profilu.

Tab. 1. Vymezení klasifikačních jednotek půd indikujících kontaminaci

Klasifikační systém	Úroveň v klasifikačním systému	Název	Definice jednotky	Poznámka
MKSP SR	varieta	kontaminovaná	Výskyt povrchového kontaminovaného horizontu Ax se změnou chemických vlastností zapříčiněnou geochemicky nebo antropogenně, který má mocnost >1m a nadlimitní obsah rizikových toxických a imisních látek (v současnosti nad limit B). Specifikace horizontu Ax na kontaminovaný intoxikovaný (Axt) a kontaminovaný imisní (Axi)	u všech půdních typů
TKSP ČR	subtyp	kontaminovaná	S obsahem persistentních kontaminantů překračujících svrchní hranici variability pozadí	pouze u Antropozemí
		intoxikovaná	S obsahem persistentních kontaminantů překračujících sanační limity	
WRB	*Suffix qualifier (dvou-stupňová úroveň)*	Toxic (tx)	S toxickými koncentracemi organických nebo anorganických látek (s výjimkou iontů Al, Fe, Na, Ca a Mg) v některé z vrstev ležících do 50 cm od povrchu půdy	Jako *sufix qualifier* dostupné pouze pro tyto referenční třídy: Histosoly, Technosoly Gleysoly
		Anthrotoxic (atx)	S takovými koncentracemi persistentních organických nebo anorganických látek v některé z vrstev ležících do 50 cm od povrchu půdy, které mohou významně poškodit zdraví lidí, kteří jsou v pravidelném kontaktu s půdou	
		Ecotoxic (etx)	S takovými koncentracemi persistentních organických nebo anorganických látek v některé z vrstev ležících do 50 cm od povrchu půdy, které mohou významně poškodit biologická společenstva půd, zejména populaci mesofauny	
		Phytotoxic (ptx)	S tak vysokými nebo nízkými koncentracemi látek (s výjimkou iontů Al, Fe, Na, Ca a Mg) v některé z vrstev ležících do 50 cm od povrchu půdy, které mohou významně negativně postihnout růst rostlin	
		Zootoxic (ztx)	S takovými koncentracemi persistentních organických nebo anorganických látek v některé z vrstev ležících do 50 cm od povrchu půdy, které mohou významně poškodit zdraví zvířat nebo lidí, kteří konzumují rostliny pěstované na těchto půdách	

Možnosti prostorového vymezení mocnosti horizontu jsou:

a) Překročení stanovené úrovně v jedné z vrstev do 50 cm od povrchu půdy (dle WRB, 2006)
b) Překročení stanovené úrovně v povrchovém horizontu o mocnosti > 1cm. (dle MKSP SR)
c) Překročení stanovené úrovně v humusovém horizontu, orničním horizontu nebo povrchové vrstvě půdy do 30 cm hloubky (lépe odpovídá potenciální rizikovosti podle kritéria A).

Literatura

ISSS/ISRIC/FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Res. Report* FAO, Rome, 84,

NĚMEČEK, J. a kol. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha, 2001, 78 s.

NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, M., KUTÍLEK, M. 1990. *Pedologie a paleopedologie.* Academia Praha, 480 s.

IUSS WORKING GROUP WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome. ISBN 92-5-105511-4.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenèná taxonómia.* Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 76 s.,ISBN 80-85361-70-1.

Návrh Směrnice Evropského Parlamentu a Rady, kterou se vytváří rámec pro ochranu půdy a mění se směrnice 2004/35/ES

Tematická strategie ochrany půdy, část Contamination and Land Assessment – Communication from the Commission to the Council, European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Commission of the European Communities, 2002; (http://europa.eu.int/comm/environment/soil/index.htm)

SEKCIA III.

NAJNOVŠIE TRENDY TERÉNNEHO PRIESKUMU A MAPOVANIA PÔD

1. *Luboš Borůvka, Josef Kozák*
Nejnovější trendy terénního průzkumu a mapování půd 199

2. *Markéta Miháliková, Svatopluk Matula, Kamila Špongrová, Josef Kozák, Jaroslava Janků, Jan Němeček, Karel Němeček*
Národní mapy hydrolimitů 207

3. *Rastislav Skalský, Jozef Koreň, Pavol Bezák*
Návrh metodiky rekognoskačného pôdneho prieskumu pre potreby aktualizácie máp KPP v mierke 1:10 000 215

4. *Marián Jenčo, Peter Pišút*
Využitie DTM pri optimalizácii rozmiestnenia pôdnych sond 225

5. *Radka Kodešová, Martin Kočárek, Vít Kodeš, Lukáš Brodský, Ondřej Drábek, Josef Kozák*
Vyhodnocení sorpcí vybraných pesticidů v půdách ČR a jejich aplikace pro konstrukci map specifické zranitelnosti podzemních vod 232

6. *Peter Pišút, Juraj Procházka*
Príspevok k poznaniu genézy pôd a štruktúry pôdnej pokrývky na Žitnom ostrove (paleomeander Dunaja, Nekyje) 239

7. *Patrik Netopil, Bořivoj Šarapatka*
Alternativní přístupy při studiu erozních procesů v zemědělsky intenzivně využívané krajině 247

8. *Ján Styk, Boris Pálka*
Detailizácia interaktívneho erózneho modelu za účelom optimalizácie obhospodarovania poľnohospodárskej pôdy 256

9. *Miloš Širáň, Jarmila Makovníková*
Priestorová variabilita objemovej hmotnosti na monitorovacej lokalite 264

10. *Vítězslav Hybler, Martin Klimánek, Miloš Kloupar, Alois Prax*
Využití lesnických typologických map pro optimalizaci vlhkostního režimu půd lužního lesa 270

11. *Dušan Vavříček, Jan Pecháček, František Novák*
Problematika mapování lesních půd 277

12. *Jozef Mališ, Jarmila Makovníková, Miloš Širáň*
Možnosti mapovania priestorovej variability fyzikálnych vlastností pôdy prostredníctvom geofyzikálnych metód 285

13. *Martin Brtnický, Olga Denešová, Jitka Podešvová, Eduard Pokorný*
Využití růstových anomálií porostu ke zpřesnění půdních map 291

14. *Radim Vácha, Jan Skála, Jarmila Čechmánková*
Využití GIS v oblasti kontaminace půdy rizikovými látkami 298

15. *Martina Nováková, Jozef Takáč, Rastislav Skalský*
Porovnanie vlhkostného režimu poľnohospodárskych pôd Slovenska v obdobiach 1970 – 1979 a 2000 – 2009 306

16. *Jozef Vilček, Radoslav Bujnovský*
Diagnostika a mapovanie environmentálneho potenciálu poľnohospodárskych pôd na Slovensku 315

17. *Vladimír Hutár, Michal Sviček*
Digitálne pôdne priestorové údaje Slovenska v strategickom rozvoji tvorby národnej infraštruktúry priestorových informácií 323

18. *Jarmila Makovníková, Miloš Širáň*
Priestorová variabilita acidifikácie na monitorovacej lokalite ako podklad pre vymedzenie intervalu preukazných zmien vývojových časových radov 329

1. NEJNOVĚJŠÍ TRENDY TERÉNNÍHO PRŮZKUMU A MAPOVÁNÍ PŮD

1 The latest trends of the soil survey and mapping

Luboš Borůvka, Josef Kozák*

ABSTRAKT
Cílem tohoto příspěvku je přiblížit metody digitálního mapování půd (DMP). Jedná se o matematickou tvorbu prostorových informací o půdě s využitím půdních údajů i doplňkových informací, jako je digitální model terénu (DMT) a dálkový průzkum Země (DPZ). Využívány jsou i výsledky dosavadních půdních průzkumů. V poslední době se prudce rozvíjí pozemní nedestrukční měření půd, tzv. *proximal soil sensing*, zejména pomocí geofyzikálních metod, které umožňují získávat prostorové informace ve velmi husté síti. Pro analýzu vztahů mezi měřenými údaji a půdními vlastnostmi se používají pokročilé statistické a matematické metody. Nedílnou součástí DMP je analýza nejistot. Využití geofyzikálních měření a dalších údajů v DMP je řešeno v několika mezinárodních projektech, jako je iSOIL či DIGISOIL. Příkladem moderních a komplexních mapovacích postupů je také e-SOTER. Cenným počinem je tak tvorba celosvětové půdní mapy (globalsoilmap.net) v rozlišení 90 m.
Klíčová slova: půdní průzkum; digitální mapování půd; doplňkové údaje; půdní senzory

ABSTRACT
The aim of this contribution is to present methods of digital soil mapping (DSM). It is a quantitative production of spatial soil information using soil data and auxiliary information like digital terrain model or remote sensing. Legacy data are also used. Recently, a fast development of proximal soil sensing can be seen, mainly using geophysical methods. It enables collecting data in a very dense grid. Advanced statistical and mathematical methods are used for analysis of the relationship between measured characteristics and soil properties. An important part of DSM is uncertainty analysis. Geophysical and other data exploitation in DSM is solved in several international projects, like iSOIL and DIGISOIL. An example of modern and complex approach to soil mapping is e-SOTER project. A valuable contribution is also global soil map at 90m resolution project (globalsoilmap.net).
Key words: soil survey; digital soil mapping; auxiliary data; proximal soil sensing

1.1 ÚVOD

Nové požadavky na prostorové informace o půdě, precizní způsoby hospodaření, či hodnocení procesů degradace půdy vyžadují stále přesnější a podrobnější údaje o půdním pokryvu. Tradiční mapování půd není schopno tyto požadavky plně uspokojit. Terénní průzkum, odběr půdních vzorků a následná laboratorní analýza jsou časově, pracovně i finančně náročné. I při intenzivním průzkumu připadá obvykle jen jeden půdní vzorek nebo půdní sonda na jeden hektar nebo několik hektarů, výjimečně je vzorkovací síť hustší. Existují ale různé informace, které lze získávat ve vyšší hustotě, jako např. dálkový průzkum Země či digitální model reliéfu. Tyto údaje je možné využít pro tvorbu podrobnějších map. Cestou k tomu může být tzv. digitální mapování půd. Tato kapitola má za cíl představit přístupy a principy digitálního mapování půd, nastínit, jaké údaje lze pro tvorbu půdních map použít, zejména údaje různých široce se rozvíjejících půdních senzorů, a jaké metody se pro digitální mapování půd používají. Další část představuje vybrané projekty, které se digitálním mapováním půd zabývají.

---

* prof. Ing. Dr. Luboš Borůvka, prof. Ing. Josef Kozák, DrSc., Dr.h.c., Katedra pedologie a ochrany půd, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol, ČR, e-mail: boruvka@af.czu.cz

1.2 DIGITÁLNÍ MAPOVÁNÍ PŮD

Kvantitativní způsob tvorby půdních map se nazývá digitální mapování půd (DMP), někdy též prediktivní mapování půd. Jedná se o matematickou tvorbu prostorových informací o půdě s využitím půdních údajů i doplňkových informací. Stěžejní prací v tomto směru je publikace McBratney *et al.* (2003), která popisuje různé zdroje údajů pro digitální mapování půd a podává přehled matematických metod, které lze pro DMP použít. V této práci byl rovněž formulován tzv. model *scorpan*. Jedná se o nejobecnější zápis predikčního modelu, který vychází z původního modelu vývoje půd Jennyho (1941) *clorpt*, který vyjadřuje půdy jako funkci klimatu, organismů, reliéfu, mateční horniny a času. Model *scorpan*, který již není modelem vývoje půdy, ale obecným predikčním modelem pro odhad půdních vlastností nebo pro odhad zařazení půdy do nějakého klasifikačního systému, počítá tento odhad jako funkci jiné půdní vlastnosti nebo zařazení půdy (s), klimatu (c), organismů včetně lidské činnosti (o), reliéfu (r), mateční horniny (p), stáří půdy – času (a) a polohy v prostoru (n). Ne vždy musí být součástí modelu všechny tyto vstupy, specifickým případem modelu *scorpan* jsou například i pedotransferové funkce, kdy se z několika základních půdních vlastností odvozují jiné půdní charakteristiky.

1.2.1 Zdroje údajů pro digitální mapování půd

Digitální mapování půd samozřejmě nezavrhuje údaje z tradičního průzkumu a mapování půd. Starší mapy a databáze, v anglické literatuře tzv. *legacy data*, jsou velmi cenným zdrojem údajů v DMP. V ČR a SR jsou takovými údaji zejména výsledky Komplexního průzkumu zemědělských půd. Výhodou takovýchto údajů je tradiční pedologický přístup a reálné údaje získané z terénního průzkumu. Nevýhodou pak je, že tyto údaje postupně zastarávají, že v tradičních mapách jsou ostré hranice jak mezi polygony, tak mezi půdními jednotkami; anglická literatura tomuto dvojímu ostrému ohraničení v mapách říká „*double crisp*“. Ve výsledcích starších průzkumu pak také mohou chybět některé údaje a měření potřebné pro současné hodnocení, například pro hodnocení některých degradačních procesů.

Digitální mapování půd umožňuje kombinovat údaje starších průzkumů s doplňkovými údaji, jež mohou mimo jiné upřesnit určení nebo hranice půdních jednotek a vlastností, nebo upravit charakter přechodu mezi půdními jednotkami či polygony. Kombinace s různými simulačními a predikčními modely pak také umožňuje odhadovat časový vývoj, aktualizovat údaje a odvozovat nové. Nejčastěji používané doplňkové údaje v DMP jsou dálkový průzkum Země (DPZ) a digitální model reliéfu (DMR) nebo digitální výškový model (DEM).

Digitální model reliéfu (DMR, též digitální model terénu, DMT) popisuje tvar zemského povrchu, digitální výškový model (DEM) pak tvar povrchu včetně vyvýšených objektů, jako jsou stavby nebo lesní porosty. Tyto údaje mohou pocházet z digitalizace vrstevnicových map, což je například v ČR používaná databáze Zabaged (Základní báze geodetických dat) v různém horizontálním i výškovém rozlišení, nebo z dálkového průzkumu Země, zejména z družicových snímků. Na menších plochách pak je možné získat velice detailní DMR pomocí laserového skenování.

Pro predikci půdních vlastností či jednotek se používají jak základní parametry reliéfu, jako je svažitost, vertikální a horizontální zakřivení svahu (sbíhavost a rozbíhavost svahu), orientace vůči světovým stranám nebo sběrná (odvodňovaná) plocha, tak i odvozené parametry, zejména tzv. topografický index, což je kombinace sběrné plochy a svažitosti (Wilson a Gallant, 2000):

$$TI = \ln(A_c/\mathrm{tg}\ \beta),$$

kde A_c je odvodňovaná plocha, β je svažitost. Topografický index umožňuje odhadovat pravděpodobnost převlhčení daného místa, takže lze použít pro vymezení hydromorfních půd. Dalším odvozeným parametrem reliéfu je index síly toku (Wilson a Gallant, 2000):

$$IST = A_c.\mathrm{tg}\ \beta,$$

který opět na základě sběrné plochy a svažitosti nabízí odhad unášecí schopnosti vody v daném místě, což lze využít pro mapování potenciální vodní eroze půdy. Výhodou DMR (případně DEM) je úplné pokrytí celého území. Nevýhodou je jeho použitelnost pro odhad výskytu či vymezení pouze těch půdních jednotek a vlastností, které jsou tvarem reliéfu ovlivněny, tedy zejména pro erozní a sedimentační procesy (eroze, koluviace), a pro půdní typy fluvizem, koluvizem, erozí vzniklé regozemě, a dále hydromorfní půdy jako glej, pseudoglej či organozem, případně glejové, oglejené či

histické subtypy. Orientace svahů může napomoci na základě odhadu oslunění predikovat tepelné poměry v půdě a výpar. Pro půdní jednotky a vlastnosti, které nejsou přímo ovlivněny reliéfem, nemá ale použití DMR či DEM větší význam.

Dálkový průzkum Země využívá družicových a leteckých snímků pro odhad půdních vlastností či jednotek. Existuje celá řada družicových systémů, mezi nejčastěji používané patří Landsat, Aster, či Ikonos. Výhodou DPZ je vysoká hustota dat a také jejich množství, zejména v případě použití multispektrálních či hyperspektrálních snímků. Nevýhodou je skutečnost, že získané údaje odrážejí většinou pouze vlastnosti povrchové vrstvy půdy (výjimkou jsou méně často používané rádiové vlny a γ záření), a že povrch půdy je často zakryt porostem, takže nelze snímat přímo vlastnosti povrchu. V případě družicových snímků komplikuje jejich použitelnost často také oblačnost. Letecké snímkování pak je poměrně drahé. DPZ poskytuje převážně nespecifické údaje, které lze ale využít zejména pro hodnocení barvy půdy, vlhkosti, lze z něho odvozovat údaje o obsahu organické hmoty, železa, či uhličitanů v půdě, lze mapovat barevně odlišné erodované a sedimentované (koluviální) plochy. Nepřímo lze DPZ použít pro tvorbu digitálního výškového modelu nebo pro popis druhu a stavu porostu, což ovlivňuje nebo odráží vlastnosti půdy (např. zásoby živin či vlhkost). Ve všech případech ale musí být provedena kalibrace modelů pro odhad půdních vlastností z údajů DPZ v konkrétních podmínkách.

Jako doplňkové údaje v DMP lze použít i geologické údaje a údaje o vegetaci. Do těchto posledně jmenovaných patří mj. druh vegetace (např. na základě klasifikace snímků DPZ) jako jeden z půdotvorných faktorů, zdravotní stav vegetace (např. žloutnutí smrkových porostů indikující nedostatek hořčíku v půdě), v případě precizního zemědělství pak také výnosové mapy, které umožní odhadovat zejména vlhkostní podmínky a dostupnost živin v různých částech pozemku.

Významným zdrojem údajů o půdách a půdních vlastnostech jsou pak měření pomocí různých senzorů, které zaznamenávají značný rozvoj v posledních letech.

1.2.2 Půdní senzory

Použití půdních senzorů znamená nedestruktivní pozemní měření půd, pro které se v anglické literatuře vžilo označení *proximal soil sensing*, analogicky k označení *remote sensing* pro DPZ. Jedná se zejména o použití geofyzikálních metod, kterými lze získávat poměrně rychle prostorové informace v husté síti. Poskytují široké spektrum dat, jež jsou různým způsobem ovlivněna půdními vlastnostmi. Tyto půdní vlastnosti lze potom z naměřených signálů odvozovat na základě různých převodních modelů, ověřených v daných v podmínkách. Jedná se tedy o nepřímé měření.

Velká pozornost je věnována spektroskopickým metodám, které se používají pro velmi rozsáhlý soubor půdních vlastností (Viscarra Rossel *et al*., 2006). Používají se přístroje pracující v různých částech spektra, a měří se buď záření vyzařované (emitované) povrchem půdy, nebo častěji záření odražené (odrazivost, reflektance). Měření ve viditelné části spektra (VIS, vlnové délky 400 až 750 nm) lze použít pro hodnocení barvy půdy, obsahu oxidů železa, případně obsah organické hmoty. Měření ve středním infračerveném pásmu (MIR, 2500 až 20000 nm) umožňuje odhad vlhkosti, obsahu C a N, obsahu jílových minerálů, zrnitosti, opět oxidů železa aj. Nejširší uplatnění má měření v blízké infračervené oblasti spektra (NIR, 700 až 2500 nm), které lze využít pro odhad obdobných vlastností jako ve středním infračerveném pásmu, a dále i pro odhad kationtové výměnné kapacity, pH půdy, obsahu přístupných živin a dalších vlastností. Spolehlivost odhadů udávaná různými autory je poměrně vysoká, index determinace R^2 se často pohybuje okolo 90 %. Spektrometrické měření lze provádět přímo v terénu, což je rychlejší a lze tak získat větší hustotu měření, toto měření je ale silně ovlivněno okamžitými podmínkami, zejména slunečním zářením a momentální vlhkostí půdy. Zatím častější je proto měření v laboratoři, které sice již nelze označit za nedestruktivní, je zde nutné odebírat půdní vzorky a následně je připravovat (sušit, prosívat apod.), ale měření probíhá za standardních podmínek, obvykle na suché půdě. Jedná se tedy o jakýsi kompromis mezi tradičními laboratorními měřeními, oproti kterým odpadá další zpracování vzorků (extrakce, rozklad apod.), a polním měřením. V současné době se vytváří celosvětová spektrální knihovna půd, jejíž součástí je i nově vznikající česká spektrální knihovna půd (Brodský *et al.*, 2011). Tato knihovna obsahuje naměřená spektra půdních vzorků a jejich vlastnosti. Cílem je vytvořit co největší soubory různorodých půd s jejich spektry, které umožní vytvářet spolehlivější modely pro odhad půdních vlastností. S pomocí těchto modelů pak bude možné ze spekter naměřených na dalších půdách přímo odvozovat zvolené půdní vlastnosti.

Z dalších metod půdních senzorů lze uvést rentgenové metody, jako je rentgenová fluorescence (XRF) používaná pro hodnocení obsahů rizikových prvků (zejména těžkých kovů) v půdách, a rentgenová difrakce (XRD) vhodná pro popis půdní mineralogie. Metody gamaskopické mohou být buď aktivní, pokud zkoumají zeslabení, rozptyl nebo odraz záření, nebo pasivní, které měří záření emitované půdními složkami (K, U, Th). Aktivní gamaskopické metody se používají pro měření půdní vlhkosti a objemové hmotnosti, pasivní metody pak pro odhad mineralogického složení půd, zrnitost a zásobu živin (zejména K).

Značného rozšíření zaznamenala elektromagnetická indukce (EMI), která se používá zejména v precizním zemědělství pro podrobné mapování variability půdy. I tato metoda je značně nespecifická, naměřený signál odráží zasolení a zásobu živin v půdě, vlhkost, zrnitost aj. Výhodou této metody je, že podle použitého přístroje a jeho nastavení lze měřit signál z různých hloubek.

Zatím méně používané jsou metody elektrické rezistivity (ERT), např. *spectral induced polarisation* (SPI) jež pracují s kontaktními elektrodami a mohou sloužit pro mapování půdní elektrické vodivosti, hydraulických vlastností půd či půdní struktury a zrnitosti. Elektrochemické metody zahrnující iontově selektivní elektrody a pH-senzory lze využít pro mapování zásoby živin a pH půdy.

Slibně se jeví radarové metody, zejména *ground penetrating radar* (GPR), používané pro hodnocení fyzikálních vlastností půd, vlhkosti, ale i obsahu oxidů železa a barvy půdy. Výhodou je, že získaný signál odráží i vlastnosti hlubších vrstev půdy.

Již delší dobu se používá měření půdního magnetismu, především magnetické susceptibility (např. Petrovský *et al*., 2001; Dlouhá *et al*., v této knize). Nejčastěji se používá pro indikaci znečištění půdy zejména olovem, vzhledem k obvykle shodnému původu antropogenního olova v půdě a oxidů železa pocházejících ze spalovacích procesů a přicházejících do půdy v podobě atmosférické depozice.

Další skupinou senzorů jsou senzory mechanické, zahrnující jak již poměrně tradiční měření orebního odporu půdy, tak metody akustické a seismické, které lze využít pro hodnocení strukturního stavu půd a přítomnosti různých zlomů či přechodů mezi částmi půdy s odlišným fyzikálním uspořádáním (např. rozhraní mezi ornicí a podorničím).

Použití půdních senzorů umožňuje získávání informací ve velké hustotě a poměrně rychle a levně, má ale i nějaká omezení a nevýhody. Jsou zpravidla nutné speciální měřicí přístroje, získané údaje jsou většinou nespecifické, tzn. jsou ovlivněny více půdními vlastnostmi současně, a na rozdíl od dálkového průzkumu Země je lze jen obtížně použít na rozsáhlé oblasti; vhodnější jsou pro malé plochy či jednotlivé pozemky, například pro potřeby precizního zemědělství.

1.3 METODY ZPRACOVÁNÍ ÚDAJŮ A TVORBA MODELŮ V DIGITÁLNÍM MAPOVÁNÍ PŮD

Z výše uvedeného výčtu možných vstupních údajů pro digitální mapování půd, který navíc zdaleka není vyčerpávající, vyplývá, že pracujeme s velkým množstvím dat. Například spektrum každého půdního vzorku v oblasti viditelné a blízké infračervené části spektra může obsahovat několik tisíc hodnot odrazivosti (jedna hodnota pro každou vlnovou délku, přičemž spektrální rozlišení může být až 1 nm). Zpracování tak rozsáhlých souborů dat by nebylo možné bez výkonné výpočetní techniky a odpovídajícího programového vybavení. Zpravidla jde o to omezit rozsah vstupních údajů na ty nejvýznamnější pro odhad cílových půdních vlastností. Používají se pokročilé statistické metody, jako je kroková vícenásobná regrese, analýza hlavních komponent (PCA), faktorová analýza (FA), regrese hlavních komponent (PCR), či regrese metodou částečných nejmenších čtverců (PLSR). Dále se používají metody spojité klasifikace (fuzzy metody), vícerozměrné geostatistické metody (vzájemný kriging – cokriging, kriging s vnějším trendem apod.), či kombinované, tzv. hybridní metody, jako je např. regrese-kriging, kde jsou nejprve pomocí regrese (zpravidla vícenásobné) vypočteny odhady hodnot cílové charakteristiky, které jsou potom upraveny pomocí krigingu reziduí, tj. rozdílů mezi hodnotami vypočtenými regresním modelem a skutečně naměřenými hodnotami v bodech, kde jsou známy. Dalšími metodami jsou rozhodovací a regresní stromy, či soubory více regresních stromů (např. tzv. *random forest*, tedy „náhodný les“), a také metody umělých neuronových sítí. Ve všech případech je nezbytná existence vztahu mezi měřenými hodnotami a cílovými půdními charakteristikami, tento vztah může být v případě použití složitějších metod skrytý. Konečný výstup

pak je buď odhad (predikce), nebo – pokud je do výpočtu zahrnuta variabilita vstupních dat a případně i parametrů modelu – simulace.

V každém případě by měl postup tvorby a použití modelů pro digitální mapování půd zahrnovat tyto kroky:

1) Tvorba či modifikace predikčních modelů na základě známých hodnot vstupních i výstupních charakteristik, tzv. trénovacího souboru, a jejich kalibrace. Vedle výše uvedených pedometrických metod se používají též metody vytěžování dat (*data mining*). Kalibrace je zpravidla nutná v každých nových podmínkách, modely či jejich parametry jsou obvykle dosti specifické pro dané podmínky.
2) Ověření modelů na testovacích souborech. Jedná se o porovnání hodnot vypočtených modelem se známými či naměřenými hodnotami na jiném souboru, než na kterém byl predikční či simulační model kalibrován, tedy na tzv. nezávislém souboru. Používá se řada metod hodnocení spolehlivosti, jako je korelační a regresní závislost mezi skutečnými a odhadnutými hodnotami, párový t-test, průměrná absolutní hodnota odchylky (MAD), průměrná absolutní chyba (MAE), průměrný čtverec (druhá mocnina) chyby (MSE), odmocnina průměrného čtverce chyby (RMSE), relativní odmocnina průměrného čtverce chyby (RRMSE) aj. Na základě těchto výsledků lze též vybírat nejvhodnější model z několika variant.
3) Analýza nejistot. Protože vstupní hodnoty i parametry a struktura modelů jsou zatíženy nějakou chybou, kterou ale přesně neznáme, hovoříme o nejistotě. Tato nejistota se pak projeví i nejistotou výstupu modelu. Výhodou DMP oproti tradičním metodám je, že poskytuje i odhad této nejistoty, tzn. každému místu je přiřazena i určitá nejistota, nebo interval, ve kterém se s určitou pravděpodobností (např. 95 %) skutečná hodnota nachází. Takto lze pak hodnotit spolehlivost predikce, případně na základě vymezení ploch s velkou nejistotou je možné plánovat doplňková měření či odběry vzorků. Pro analýzu nejistot se používají různé nástroje, jednou z možností je metoda analýzy šíření chyb (*error propagation*; Heuvelink, 1998) Monte Carlo, kdy se náhodně vybírají různé kombinace hodnot vstupních údajů na základě funkce rozložení pravděpodobnosti, čímž se získá větší počet hodnot cílové charakteristiky pro dané místo. Z těchto tzv. realizací se pak vypočte průměr, rozptyl a interval spolehlivosti.
4) Aplikace modelů na další údaje. Ověřený model se použije na celé území nebo na další plochy. I zde je ale dobré ověřování výsledku porovnáním se známými hodnotami ve náhodně vybraných bodech či na vybraných plochách, tedy tzv. validace.
5) Vizualizace výstupu. Výsledky digitálního mapování půd lze prezentovat různým způsobem, ať už se jedná o mapy izočar, mapy se stupnicí, rastrové mapy, či různé způsoby třírozměrného zobrazení. Při tvorbě digitálních map či zobrazovacích programů se někdy uplatňují metody tvorby počítačových her, aby vzhled map byl co nejdokonalejší. V poslední době se objevují i práce zaměřené na tzv. mapy 4D, kdy je snaha postihnout i časový vývoj sledovaných vlastností. Může se jednat o sled obrázků v různých časových intervalech, nebo i o zobrazení formou krátkých videoklipů. Pro tyto účely se ale při tvorbě a kalibraci modelů ještě dále navyšuje potřeba velkého počtu údajů, nikoliv již jen z velkého počtu bodů, ale navíc i z různých časů.

1.3.1 Výhody a nevýhody digitálního mapování půd

Výhodou digitálního mapování půd je oproti tradičnímu mapování založenému pouze na půdním průzkumu a analýze půdních vzorků vyšší podrobnost map či hustota poskytované informace, nižší náklady díky omezenému množství terénní práce a nižšímu počtu prováděných analýz. Je omezen subjektivní vliv člověka, který se v nějaké míře projeví vždy při tradičním popisu půd. Digitální mapování půd umožňuje přizpůsobovat výstupy přesně dle požadavků uživatelů a průběžně aktualizovat mapy doplňováním nových údajů do modelů. Výsledné mapy umožňují zachycení postupných přechodů mezi jednotlivými půdními jednotkami či plochami na mapě. Nezbytnou součástí výstupů je i informace o spolehlivosti, tedy výše zmíněná analýza nejistot.

Existují ale i námitky proti DMP. Jednou z nich je, že se soustřeďuje jen na svrchní vrstvu půdy a nezabývá se celým půdním profilem. To je pravda v případě použití dálkového průzkumu Země či některých půdních senzorů, které skutečně zachycují jen údaje z povrchu půdy. Existuje ale celá řada

senzorů a metod, které odrážejí i vlastnosti hlubších vrstev půdy, jako je elektromagnetická indukce (EMI), gamaskopické metody, radarové metody (GPR) aj. Můžeme tak získat informace i ze značných hloubek a vhodnou kombinací metod lze poměrně dobře popsat celé půdní profily.

Další častou námitkou je, že se jedná o pouhé odhady, nikoliv o přesná měření. To je pravda, ve skutečnosti ale i při tradičním mapování půd je velká část údajů v mapě založena na odhadech a interpolacích hodnot v bodech, kde nebyly půdy popisovány či kde nebyly odebírány vzorky k analýze. Naopak oproti tradičnímu mapování nám DMP poskytuje právě i údaje o spolehlivosti. Podmínkou ale je správná kalibrace a ověření predikčních či simulačních modelů v daných podmínkách. Právě specifičnost modelů pro konkrétní podmínky je další z námitek. V řadě případů je to pravda. Velké úsilí je ale věnováno i vývoji co nejobecnějších modelů, příkladem takové snahy je třeba tvorba celosvětové spektrální knihovny půd, o níž byla zmínka výše.

Častou námitkou zejména v našich podmínkách je pak tvrzení, že máme dostatečně podrobné půdní mapy z tradičního průzkumu a DMP je tedy pro nás zbytečné, hodí se jen pro méně pedologicky popsané země, např. pro rozvojové státy. Ani s touto námitkou nelze tak docela souhlasit. Samozřejmě, materiály Komplexního průzkumu zemědělských půd jsou velice hodnotným a unikátním zdrojem informací. Ne vždy ale poskytují potřebné údaje pro současné účely (např. pro hodnocení různých způsobů degradace půd), nebo je neposkytují v potřebném rozlišení. Navíc půdní vlastnosti a případně i půdní jednotky se časem mohou měnit, např. vlivem eroze a akumulace. Uplatnění digitálního mapování půd u nás tedy může spočívat především v upřesnění a aktualizaci půdních map a v tvorbě aplikovaných map pro různé účely. Dostupné půdní údaje mohou ale sloužit jako velice významný vstup při tvorbě digitálních map.

1.3.2 Využití digitálního mapování půd

Digitální mapování půd má velké množství možných aplikací. Vedle tradičních půdních map, kdy se buď vytvářejí nové mapy nebo aktualizují a zpřesňují stávající, se vytvářejí mapy půdních vlastností, mapy funkcí půdy, mapy ohrožení a degradace půdy například erozí, kontaminací apod. Široké uplatnění má digitální mapování půd v precizním zemědělství, kde je potřeba mít podrobně popsánu variabilitu půdních vlastností, jako je vlhkost, zásoba živin, zrnitost, či třeba výskyt škodlivých činitelů, v rámci jednoho pozemku. Odběr a analýza půdních vzorků nejsou schopny popsat půdní variabilitu s dostatečnou podrobností. Proto se mapy půdních vlastností vytvářejí s pomocí výnosových map, údajů půdních senzorů, leteckých a družicových snímků aj. Konečným výstupem pak jsou zpravidla aplikační mapy pro aplikaci hnojiv či pesticidů.

1.3.3 Workshopy o digitálním mapování půd a půdních senzorech

Digitální mapování půd se původně vyvíjelo v rámci pedometrické komise (www.pedometrics.org) při Mezinárodní unii věd o půdě (IUSS). Nyní již existuje při IUSS samostatná pracovní skupina pro digitální mapování půd (www.digitalsoilmapping.org) a nově i samostatná pracovní skupina pro půdní senzory (www.proximalsoilsensing.org). Jsou pořádány pravidelné odborné workshopy; pro DMP byl zásadní první globální workshop v roce 2004 v Montpellier ve Francii, od té doby se pořádají tyto workshopy každé dva roky (2006 – Rio de Janeiro, Brazílie, 2008 – Logan, Utah, USA, 2010 – Řím, Itálie, v roce 2012 se bude konat workshop v Sydney, Austrálie). Skupina pro půdní senzory zavedla také pořádání pravidelných workshopů, v roce 2008 se konal v Sydney workshop o mapování půd s vysokým rozlišením, v roce 2011 se koná workshop v kanadském Montrealu již pod označením *proximal soil sensing*. Z většiny těchto workshopů vzešly monografie, které tvoří teoretický základ používaných přístupů i ukázky aplikací různých metod a postupů.

1.3.4 Příklady projektů zaměřených na digitální mapování půd

Využití geofyzikálních měření a dalších údajů v DMP je řešeno v několika mezinárodních projektech, jako je iSOIL či DIGISOIL. Projekt 7. rámcového programu EU iSOIL (www.isoil.info), ve kterém je zapojena i Katedra pedologie a ochrany půd ČZU v Praze, má název „Interakce mezi vědami vztaženými k půdě – spojení geofyziky, pedologie a digitálního mapování půd“. Tento název plně vystihuje obsah projektu, tedy testování možností využití různých geofyzikálních metod (EMI, gamaskopické metody, spektroskopické metody, magnetická susceptibilita, seismické metody, letecké snímkování aj.) pro tvorbu půdních map a map ohrožení či poškození půdy různými degradačními

procesy, zejména erozí, utužením a kontaminací. Řešena je ale i dynamika vody, dusíku a organické hmoty v půdách, a to s použitím různých simulačních a predikčních modelů, přičemž se ověřuje, které vstupní údaje mohou být získány pomocí geofyzikálních metod a s jakou spolehlivostí. O náplni projektu svědčí i jeho struktura, která se skládá z těchto pracovních balíků: objevující se technologie, pedofyzika, pedometrika, aplikace a ověřování, tvorba návodů a šíření výsledků. Tento projekt, na kterém se kromě ČZU podílí i VÚRV v Praze - Ruzyni a partneři ze SRN, kde je koordinátor projektu – UFZ Lipsko, dále z Nizozemí, Velké Británie, Itálie, Rakouska, Švýcarska a Bulharska, se řeší od roku 2008, ukončen bude v roce 2011.

Obdobné zaměření jako projekt iSOIL má i další projekt 7. rámcového programu EU DIGISOIL (digisoil.brgm.fr), jehož cílem je také ověřování geofyzikálních technologií a integrovaných pedo-geofyzikálních metod, zkoumání vztahu mezi geofyzikálními parametry a půdními vlastnostmi, funkcemi a ohrožením půd, a hodnocení a standardizace uvedených metod pro běžné využití.

Příkladem moderních a komplexních mapovacích postupů je projekt 7. rámcového programu EU s označením e-SOTER, „Regionální pilotní platforma jako příspěvek EU ke globálnímu systému sledování půd“ (www.esoter.org). Tento systém představuje zlepšení původní technologie SOTER v měřítku 1:1 mil. Zahrnuje upřesněná data o reliéfu s použitím DPZ, kombinovaná s existujícími údaji o půdotvorných substrátech a půdním pokryvu. e-SOTER bude představovat využití nových metodických postupů při tvorbě databáze 1:1 mil., databáze v měřítku 1: 250 000 (pilotní území), využití DPZ k získání půdních atributových údajů, jakož i vytvoření aplikací vhodných k vyčlenění hlavních hrozeb pro půdu. Na základě asociace půdních forem a půdně geomorfologických jednotek bylo vymezeno 17 typů regionálních struktur půdního pokryvu a jejich kombinací. Katedra pedologie a ochrany půd ČZU v Praze pracuje v rámci tohoto projektu na pilotním území označeném jako mapový list Chemnitz, zahrnující část území Saska a severních Čech.

Digitální mapování půd má velký význam v zemích a oblastech, kde nebyl proveden půdní průzkum nebo nebyl dostatečně podrobný. Cenným počinem je tak tvorba celosvětové půdní mapy (globalsoilmap.net) v rozlišení 90 m. Tento systém je vyvíjen na několika pilotních územích po celém světě. Jedná se o ambiciózní projekt, kdy jsou mapovány tyto půdní vlastnosti: celková hloubka půdního profilu, efektivní (pro rostliny využitelná) hloubka profilu, obsah organického uhlíku, pH, obsah písku, prachu, jílu a štěrku, objemová hmotnost a dostupná vodní kapacita. Dalšími nepovinnými půdními vlastnostmi jsou efektivní kationtová výměnná kapacita a elektrická vodivost. Jednotlivé hodnoty půdních vlastností v půdním profilu jsou určeny pro intervaly hloubek 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm a 100-200 cm, a jsou popsány funkcí *spline*, která umožňuje následně odhadovat hodnoty v jakékoliv hloubce až do maximální hloubky 2 m. Systém je zatím vyvíjen především na základě starších půdních průzkumů, postupně se ale rozšiřuje okruh používaných metod. Přestože má tento systém v sobě značné množství zjednodušení, vzhledem k tomu, že používá jednotné metody pro všechny oblasti světa, měl by být v budoucnu schopen poskytnout objektivní a poměrně spolehlivé údaje pro různé způsoby využití.

1.4 ZÁVĚRY

Jak je patrné z výše uvedených údajů, existuje celá řada možností, jak získávat údaje o půdách v husté síti a jak získávat odhady půdních vlastností na základě různých predikčních a simulačních modelů. Vyvíjejí se a zdokonalují půdní senzory i způsoby zpracování jejich signálů, stejně jako způsoby zpracování údajů dálkového průzkumu Země či digitálního modelu reliéfu. Postupy digitálního mapování půd mají řadu výhod, zejména omezení subjektivního vlivu při tradičním průzkumu, poskytnutí údajů o spolehlivosti či nejistotě získaných map, a přizpůsobení výstupu potřebám uživatele. I přes některé nevýhody má digitální mapování půd význam i v našich zemích, kde máme k dispozici rozsáhlé údaje z tradičního průzkumu půd. Lze očekávat další rozvoj metod DMP a tvorbu dokonalejších modelů a využití nových údajů. Touto problematikou se zabývá řada výzkumných projektů. Přesto nelze předpokládat, že by se digitální mapování půd někdy stalo naprosto automatickým postupem. Vždy bude vyžadovat, ať již při tvorbě modelů nebo při interpretaci výsledků, odborné znalosti pedologie, vývoje půd, půdních zákonitostí a procesů.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen projekty 7. rámcového programu iSOIL a e-SOTER, projektem GAČR 526/09/1762, a výzkumným záměrem MŠMT č. MSM6046070901.

Literatura

BRODSKÝ L., KLEMENT A., PENÍŽEK V., KODEŠOVÁ R., BORŮVKA L. 2011. Building soil spectral library of the Czech soils for quantitative digital soil mapping. *Soil and Water Research* (submitted).

HEUVELINK G.B.M. 1998. *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*. London: Taylor & Francis, 127 pp.

JENNY H. 1941. *Factors of Soil Formatio,* McGraw-Hill Book Company, New York 281s.

McBRATNEY A.B, MENDONCA SANTOS M.L., MINASNY B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.

PETROVSKÝ E., KAPIČKA A., JORDANOVÁ L., BORŮVKA L. 2001. Magnetic properties of alluvial soils contaminated with lead, zinc and cadmium. *Journal of Applied Geophysics* 48: 127-136.

VISCARRA ROSSEL R.A., WALVOORT D.J.J., McBRATNEY A.B., JANIK L.J., SKJEMSTAD J.O. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131: 59-75

WILSON J.P., GALLANT J.C. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications.* John Wilson & Sons, Inc., New York. 267-294.

2. MAPY HYDROLIMITŮ ORNÝCH PŮD ČESKÉ REPUBLIKY

2 Soil hydrolimits maps of arable land in the Czech Republic

Markéta Miháliková, Svatopluk Matula, Kamila Špongrová, Jaroslava Janků, Josef Kozák, Jan Němeček, Karel Němeček*

ABSTRAKT

Databáze hydrofyzikálních vlastností půd ČR HYPRESCZ shromažďuje data z celé ČR potřebná pro odvozování pedotransferových funkcí (PTF) pro odhad hydraulických vlastností půd. Spojením informací o retenčních schopnostech orných půd z uvedené databáze s „Mapou zrnitostního složení půd ČR“ v měřítku 1:250 000 byly sestaveny mapy hydrolimitů: polní kapacity (*θ(h); h = -50 cm*) a bodu vadnutí (*θ(h); h = -15000 cm*) v orniční (0 – 25 cm) a podorniční vrstvě (25 – 100 cm) v ČR. Do podkladů pro přípravy map hydrolimitů bylo zahrnuto 1 048 vhodných databázových záznamů. Z hlediska měřeného rozsahu retenční čáry obsahují vybraná data kvalitní informaci o polní kapacitě, ale jen zhruba polovina dat obsahuje i informaci o bodu vadnutí. Celkem 488 bodů vadnutí bylo třeba fundovaně odhadnout, k čemuž byl jako alternativa k texturním PTF využit software *k*-Nearest, který tzv. metodou nejbližšího souseda (k-NN) odhaduje polní kapacitu, bod vadnutí a nejistotu těchto odhadů. Kvalita odhadu byla posouzena dvojím způsobem: a) přesností odhadu (míra shody mezi měřenými daty a daty odhadnutými ze stejného (referenčního) souboru dat, ze kterého byly PTF odvozeny); b) spolehlivostí odhadu (míra shody mezi měřenými daty a daty odhadnutými z nezávislého (evaluačního) souboru dat, tedy nepoužitého pro odvození PTF). Pro určení spolehlivosti odhadu byly pro kontrolu nezávisle odhadnuty i hodnoty polních kapacit. Korelační koeficient přesnosti odhadu polní kapacity byl R = 0,99 a bodu vadnutí R = 0,98. Spolehlivost odhadu polní kapacity 0,015 cm^3 cm^{-3} a odhadu bodu vadnutí 0,018 cm^3 cm^{-3} byla určena pomocí směrodatné odchylky, kterou program *k*-Nearest počítá pomocí tzv. *bootstrappingu*. Metoda k-NN byla dále porovnána s výsledky běžnějších texturních PTF. Průměrný rozdíl v odhadu polní kapacity byl 0,013 cm^3 cm^{-3} a v odhadu bodu vadnutí 0,021 cm^3 cm^{-3}. Absolutní rozdíl se pohyboval mezi 0 – 0,046 cm^3 cm^{-3}. Z výsledků vyplývá dobrá srovnatelnost obou metod a metoda k-NN umožnila využít maximálního objemu dostupných dat.

Klíčová slova: polní kapacita, bod vadnutí, texturní pedotransferové funkce, HYPRESCZ

ABSTRACT

The database of soil hydrophysical properties in the Czech Republic HYPRESCZ gathers data from the whole Czech Republic needed for derivation of pedotransfer functions (PTF) for hydraulic properties estimation. The information about soil water retention from the database were connected with The Soil Texture Map of the Czech Republic in the scale 1:250 000 and new maps of soil hydrolimits were created: The Map of Field Capacity (*θ(h); h = -50 cm*) and The Map of Wilting Point (*θ(h); h = -15000 cm*) in topsoil layer (from surface till the depth of 25 cm) and subsoil layer (from the depth of 25 cm till 100 cm) for the arable land in the Czech Republic. The total number of 1,048 suitable database entries was used for mapping data. From the aspect of measured retention curve range, all data contain high-quality information about field capacity but only a half of them contain also information about wilting point. It means that the total number of 488 wilting points was necessary to estimate. The code *k*-Nearest was used as an alternative approach to class PTF. This code employs the k-nearest neighbour (k-NN) method for estimation of field capacity (FC), wilting point (WP) and the uncertainty of these estimations, too. The estimation uncertainty was assessed by two approaches: The estimation accuracy (correspondence between measured and estimated data for the data set from which a PTF has been developed (reference data set)) and the estimation reliability (correspondence between measured and estimated data for an independent data set (evaluation data set)). The estimating reliability of missing wilting points was verified once more by the field capacity independent estimation. The correlation coefficient of accuracy was R = 0.99 for FC-

* Ing. Markéta Miháliková[1], prof. Ing. Svatopluk Matula, CSc.[1], Ing. Kamila Špongrová, PhD.[1], Ing. Jaroslava Janků, PhD.[2], prof. Ing. Josef Kozák, DrSc.[2], prof. RNDr. Jan Němeček, DrSc.[2], Mgr. Karel Němeček [2], [1] Katedra vodních zdrojů, [2] Katedra pedologie a ochrany půd, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 2, Praha 6 – Suchdol, ČR, e-mail: mihalikova@af.czu.cz

estimation and R = 0.98 for WP-estimation. The reliability of estimation was 0.015 cm^3 cm^{-3} for FC and 0.018 cm^3 cm^{-3} for WP. The k-NN method was compared with commonly used class PTF. The average difference was 0.013 cm^3 cm^{-3} in FC-estimation and 0.021 cm^3 cm^{-3} in WP-estimation. The absolute difference ranged from 0 to 0.046 cm^3 cm^{-3}. The results show a good comparability of both methods and the k-NN method allowed to use the maximum of available data.
Key words: field capacity, wilting point, class pedotransfer functions, HYPRESCZ

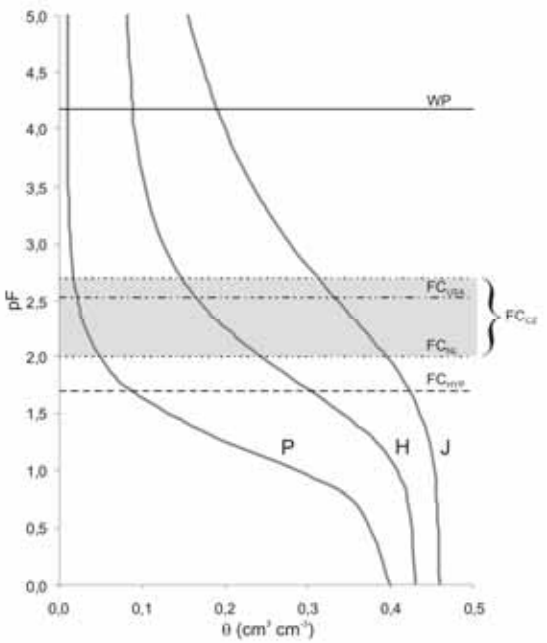
2.1 ÚVOD

Statistické regresní rovnice empiricky vyjadřující vztahy mezi půdními vlastnostmi nazval Bouma (1989) pedotransferovými funkcemi (PTF). Ve své podstatě jsou to vztahy, které převádějí data, která máme, na data, která potřebujeme (Minasny *et al*., 1999). Je to jeden ze způsobů, jak vyřešit nedostatek hydraulických dat o půdě, neboť jsou využita fyzikální půdní data, rutinně měřená během systematických půdních průzkumů (Wösten *et al*., 1998).

Fundovaný odhad hydraulických vlastností půdy může být pro mnoho teoretických i praktických studií dobrou alternativou k problematickému a drahému získávání těchto vlastností přímým měřením. Zpravidla je omezen pouze na odhad retenční čáry a případně nasycené hydraulické vodivosti, často se také odhadují pouze některé charakteristické body na retenční čáře, zpravidla hydrolimity polní kapacita a bod vadnutí (Givi *et al*., 2004).

Hydrolimit obecně je určitá objemová půdní vlhkost dosažená přesně definovanou smluvenou metodikou. Většina hydrolimitů není přesně fyzikálně definována, u nás se však v praxi hojně využívaly, neboť jejich stanovení je levnější a rychlejší než měření retenční čáry (upraveno podle Kutílka (1978)):

Polní kapacita půdy (FC) se definuje jako vlhkost, kterou je půda schopna udržet delší dobu po zalití a infiltraci do profilu. V terénu nelze dosáhnout rovnovážného stavu, jde o dynamický proces, proto je určení velmi přibližné. Odpovídá přibližně pF od 2,00 do 2,70. Rozdíl v definování polní kapacity v České republice (FC_{CZ}), Nizozemí (FC_{NL}), USA (FC_{USA}) a Velké Británii (FC_{HYP}) je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1 Schématická reprezentace hydrolimitů polní kapacity (FC) a bodu vadnutí (WP) na retenční čáře písčité (P), hlinité (H) a jílovité (J) půdy.

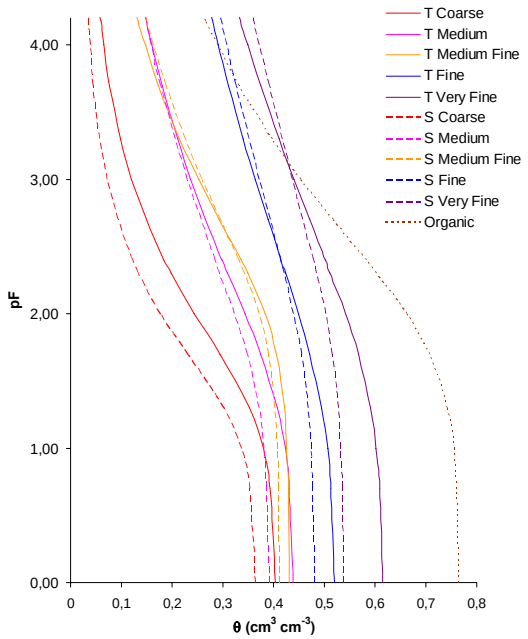
Sací tlak -5 kPa používaný ve Velké Británii byl použit pro odhad využitelné zásoby vody v profilu v evropském měřítku s využitím texturních pedotransferových funkcí odvozených z databáze HYPRES (Wösten *et al*., 1998), viz obr. 2, proto byla uvedená hodnota použita i v této studii.

Bod vadnutí (WP) je definován jako vlhkost půdy, při které rostlina trvale vadne, absorpce vody kořeny je menší než transpirace a vadnutí nepřestává ani po vložení rostlin do atmosféry nasycené vodní parou. Skutečný bod trvalého vadnutí závisí na druhu rostliny, vegetačním stadiu, meteorologických faktorech, osmotickém tlaku půdního roztoku aj., je tedy ve velké šíři hodnot.

Stanovuje se vegetačně nádobovým pokusem nebo technickou metodou podle Váši. Richards a Weaver (1943) stanovili sérií pokusů se slunečnicemi bod vadnutí jako vlhkost při pF = 4,18, což odpovídá sacímu tlaku1500 kPa (tedy tlakové výšce 15 291 cm v naší zeměpisné šířce) a tato hodnota se všeobecně používá namísto skutečného bodu trvalého vadnutí.

Zrnitostní složení půdy se často používá jako prostředek k odhadu hydraulických vlastností. Retence vody u strukturních půd je zpravidla více ovlivněna i obsahem organické hmoty a objemovou hmotností. Protože tyto vlastnosti lze snadno změřit, je kombinace zrnitosti, objemové hmotnosti a obsahu organické hmoty nejčastěji používána jako prediktory pedotransferových funkcí (Nemes *et al.,* 2003).

Pedotransferové funkce lze dělit podle několika kritérií. Jedno ze dvou základních členění rozděluje pedotransferové funkce na texturní a kontinuální. Obecnější texturní pedotransferové funkce, které se používají pro odhad hydrofyzikálních vlastností půd větších územních celků, odhadují průměrné hydraulické charakteristiky pro dané zrnitostní třídy (půdní druhy). Jsou tedy předkládány ve formě jednoduché tabulky. Datový soubor se nejprve roztřídí do vybraných zrnitostních tříd. Poté se prokládají křivky v každé zrnitostní třídě pro získání parametrů van Genuchtenovy rovnice retenční čáry (1980) a vypočtou se závislosti objemové vlhkosti na tlakové výšce *θ(h)* pro charakteristické tlakové výšky za účelem zachycení tvaru křivky. Z těchto charakteristických bodů se následně vypočítají jejich geometrické průměry a směrodatné odchylky. Tím vzniknou průměrné křivky pro každou třídu. Pro účely některých aplikací je žádoucí funkční tvar křivky, průměrné křivky se tedy znovu prokládají pro získání van Genuchtenových parametrů (Wösten *et al*., 1998).



Obr. 2 Texturní pedotransferové funkce pro evropské půdy zařazené do zrnitostních tříd FAO (T – topsoil, S – subsoil).

Regresní techniky a umělé neuronové sítě jsou dvě z nejběžněji užívaných metod k odvozování PTF. Současně používané PTF jsou nejčastěji založeny na parametrickém přístupu, tvoří tedy soubor rovnic pro odhad parametrů známé funkce, nalezených prokládáním dat touto funkcí a následně jsou formulovány empirické vztahy mezi základními půdními daty a modelovými parametry, což samo o sobě zavádí mnohé nedostatky: volba vhodné funkce a dále ujištění, že přiřazená pravděpodobnost rozdělení odchylek bude podobná napříč datovým spektrem. Jak se postupně doplňují databáze novými daty, je potřeba aktualizovat a znovu publikovat rovnice pedotransferových funkcí, a uživatelé do nich i tak nemohou jednoduše zahrnout další data ke zpřesnění jejich výkonnosti v místně specifických podmínkách půdních vlastností.

Alternativním přístupem pro takové odhady by mohlo být použití neparametrických technik. Tyto techniky jsou založeny více na rozpoznávání podobnosti než na prokládání dat rovnicemi. Použití neparametrického algoritmu je přínosné zejména v případech, kdy přesné vztahy mezi vstupy a výstupy nejsou předem známy, jako v případě závislosti hydraulických vlastností půdy na dalších půdních charakteristikách. Jednou z těchto neparametrických metod je technika k-NN *(k-nearest neighbour* metoda nejbližších vzdáleností nebo také metoda nejbližšího souseda), patřící k algoritmům

tzv. líného učení *(lazy learning)*. Aplikace této techniky znamená identifikaci a získání nejbližšího (nejvíce podobného) objektu k objektům uloženým v paměti. Kvalita takovýchto odhadů závisí mj. na tom, jak jsou objekty nastaveny, aby byly nejbližšími k cílovým objektům (Nemes *et al*., 2006). Program *k*-Nearest využívající metodu nejbližšího souseda byl vyvinut Nemesem *et al*. (2008) k odhadu vlhkostí v potenciálech -33 kPa a -1500 kPa a nejistoty tohoto odhadu bez nutnosti zdlouhavého odvozování regresních rovnic.

Cílem této práce bylo využít data o retenčních schopnostech půd ČR uložená v databázi HYPRESCZ (Matula *et al*., 2010) k vytvoření map demonstrujících plošné rozložení dvou základních půdních hydrolimitů polní kapacity a bodu vadnutí. Dalším cílem bylo ověření použití neparametrických technik při odhadu těchto hydrolimitů jako rovnocenné alternativy klasických texturních PTF.

2.2 MATERIÁL A METODY

Databáze hydrofyzikálních vlastností půd ČR HYPRESCZ (Matula *et al*., 2010) byla sestavena v letech 2005-2009 a shromažďuje dostupná data z celé ČR potřebná pro odvozování pedotransferových funkcí (PTF) pro odhad hydraulických vlastností půd ze snadněji dostupných půdních charakteristik. Struktura databáze je kompatibilní s databází hydrofyzikálních dat evropských půd HYPRES (Wösten *et al*., 1998). Celkem 1048 vhodných databázových záznamů bylo po důkladné přípravě (zahrnující mj. kontrolu, sjednocení, lokalizaci atd.) vybráno k odvození texturních PTF a následně k propojení s „Mapou zrnitostního složení půd ČR“ (Kozák *et al*., 2009), kde jsou jako mapovací jednotky využity seskupené zrnitostní třídy USDA (Němeček *et al*., 2001).

Vybrané databázové záznamy obsahují nezbytné prediktory (zrnitostní složení, objemovou hmotnost a obsah organické hmoty), lokalizaci odběru a alespoň částečnou informaci o půdním typu a horizontu. Z hlediska měřeného rozsahu retenční čáry obsahují vybraná data kvalitní informaci o polní kapacitě, ale jen zhruba polovina dat obsahuje i informaci o bodu vadnutí. Celkem 488 bodů vadnutí bylo tedy potřeba fundovaně a spolehlivě odhadnout, k čemuž byl jako alternativa k texturním PTF (Wösten *et al*., 1998) využit software *k*-Nearest (Nemes *et al*., 2008).

Software *k*-Nearest byl vytvořen pro odhad polní kapacity a bodu vadnutí pomocí zrnitostního rozboru (FAO/USDA: jíl <0,002 mm, prach 0,002 – 0,05 mm a písek 0,05 – 2 mm), objemové hmotnosti suché půdy a obsahu organické hmoty. Program pracuje se dvěma základními soubory: referenční datový soubor a aplikační datový soubor.

Referenční datový soubor je výchozí soubor pro odhad, podobně jako při odvozování PTF regresními metodami. Obsahuje názvy jednotlivých záznamů a k nim příslušné prediktory i změřené body retenční čáry, v tomto případě tedy pouze dva body – polní kapacitu a bod vadnutí. Program obsahuje základní referenční datový soubor vycházející z americké NRCS USDA databáze, který však byl nahrazen vlastním referenčním datovým souborem, vztahujícím se ke konkrétnímu řešenému problému.

Aplikační datový soubor je připraven uživatelem podle instrukcí v manuálu a obsahuje názvy záznamů, prediktory a prostor pro odhady polní kapacity a bodu vadnutí. Pokud do aplikačního souboru vložíme i prediktory z referenčního souboru a odhadneme pro ně hodnoty obou hydrolimitů, zjistíme přesnost odhadovaných dat, neboť lze měřené i odhadnuté hodnoty vzájemně korelovat.

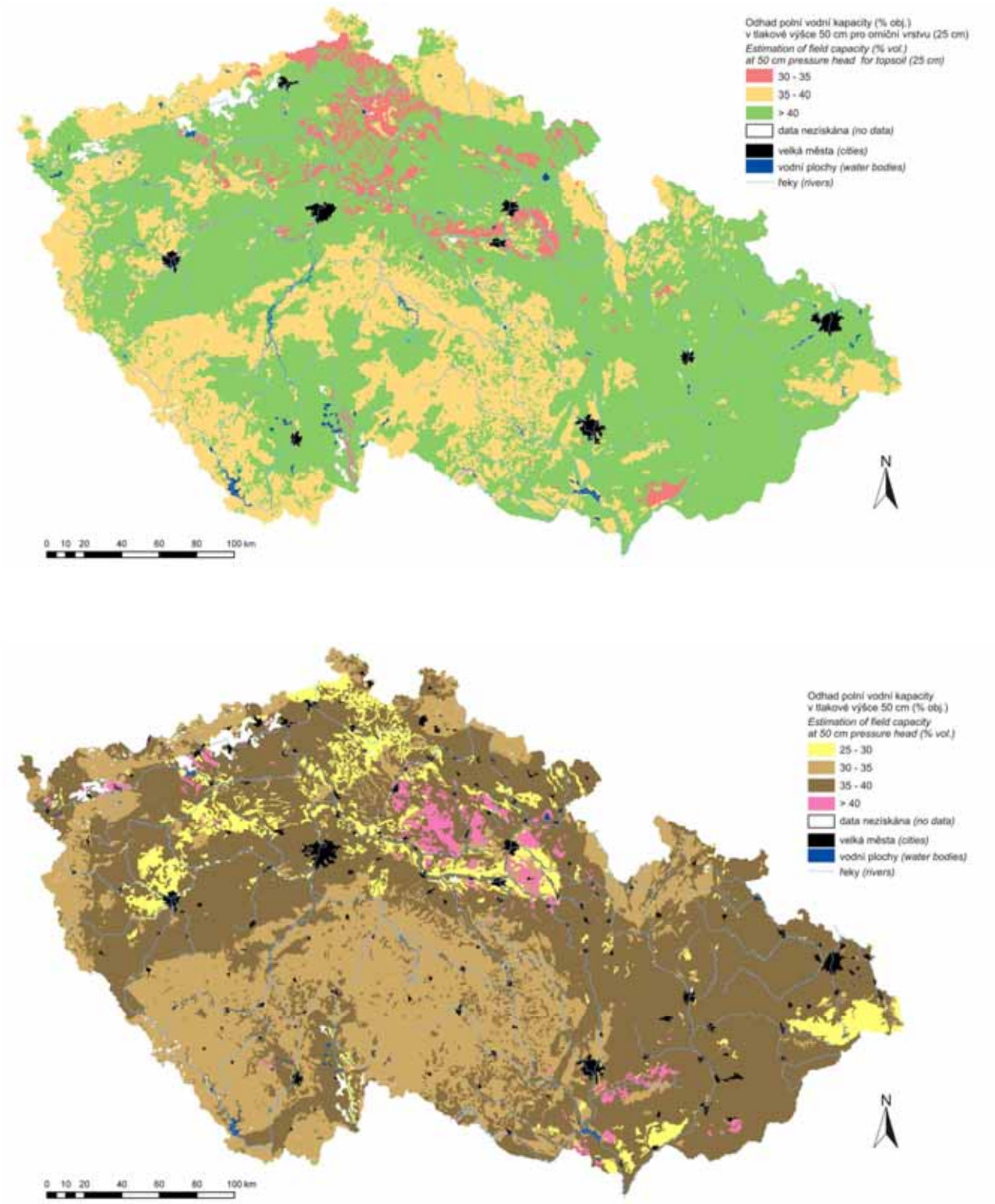
Nejistota odhadu je vyjádřena směrodatnou odchylkou, kterou program *k*-Nearest počítá pomocí tzv. *bootstrappingu* i pro data s původně nezměřenými hydrolimity.

Kvalita odhadu byla zhodnocena dvojím přístupem: přesnost odhadu byla definována jako míra shody mezi měřenými daty a daty odhadnutými ze stejného (referenčního) souboru dat, ze kterého byly PTF odvozeny, a spolehlivost odhadu byla definována jako míra shody mezi měřenými daty a daty odhadnutými z nezávislého (evaluačního) souboru dat, tedy takového, který nebyl použit pro odvození PTF (Wösten, *et al*., 2001). Pro určení spolehlivosti odhadu byly pro kontrolu nezávisle odhadnuty i hodnoty polních kapacit a na základě srovnání nejistot odhadu obou hydrolimitů byl odhad chybějících bodů vadnutí zhodnocen jako přijatelný a použitelný. Změřená i odhadnutá data byla poté rozdělena do seskupených zrnitostních tříd USDA (Němeček *et al*., 2001) a bylo s nimi dále pracováno jako s běžnými texturními PTF.

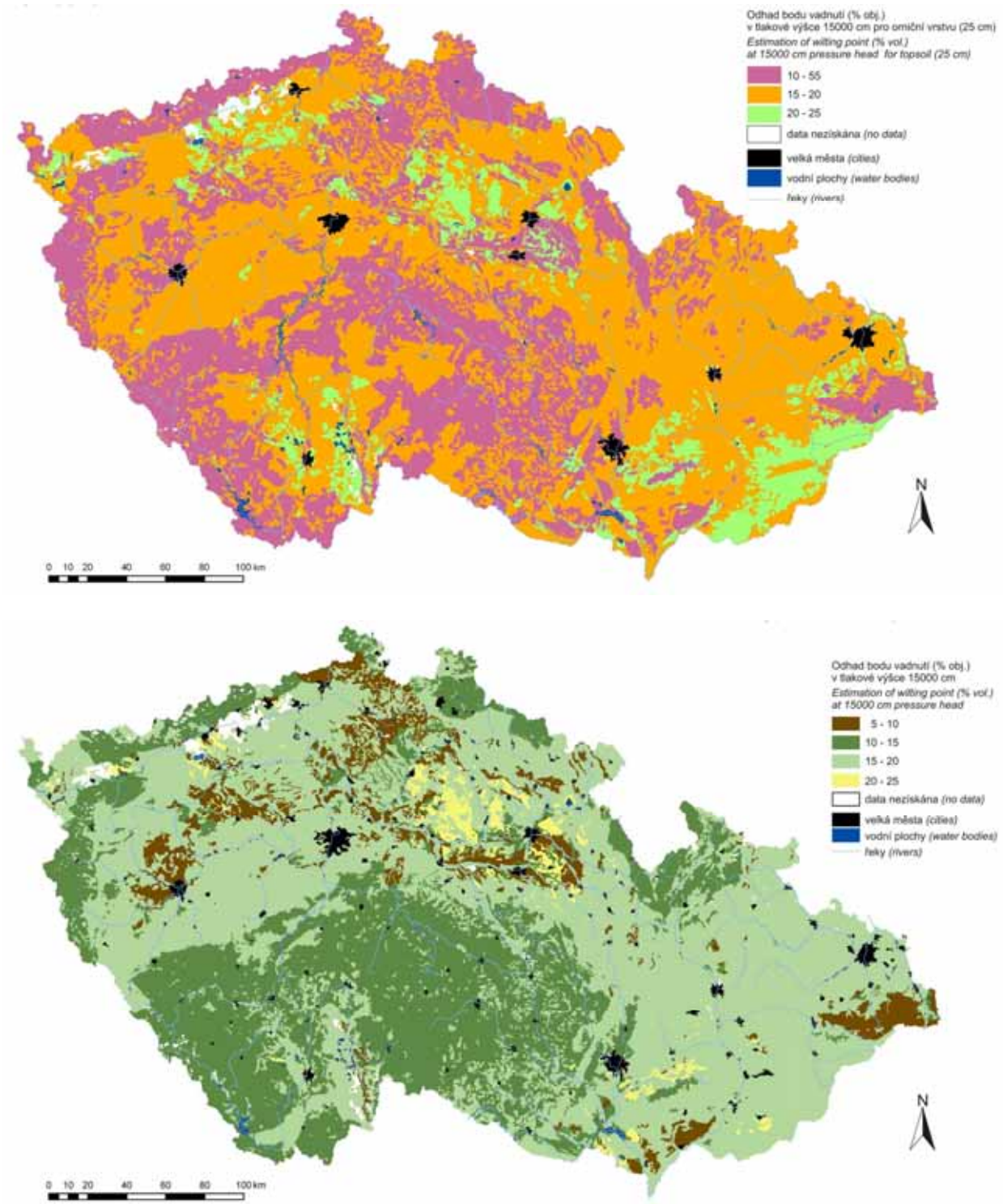
Dále byly výše uvedeným způsobem odvozeny klasické texturní PTF a výsledky obou metod porovnány.

2.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledkem jsou národní mapy hydrolimitů polní kapacity a bodu vadnutí orných půd v orniční (0 – 25 cm) a podorniční vrstvě (25 – 100 cm) orných půd v měřítku 1:250 000, viz obr. 3 a 4.



Obr. 3 Mapa ČR – hydrolimit polní kapacita orné půdy v orniční (nahoře) a podorniční vrstvě do hloubky 1 m (dole)

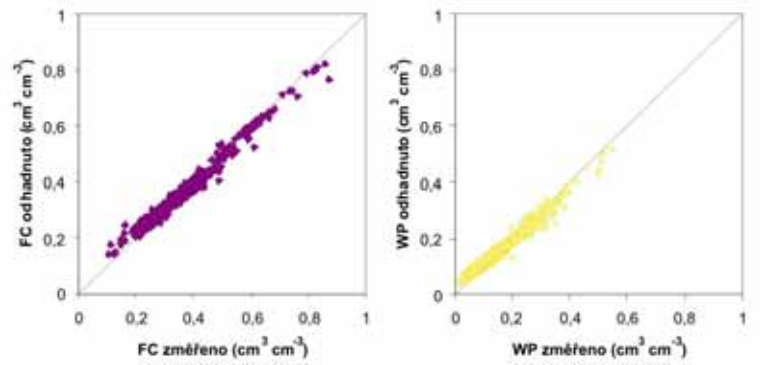


Obr. 4 Mapa ČR – hydrolimit bod vadnutí orné půdy v orniční (nahoře) a podorniční vrstvě do hloubky 1 m (dole)

Nejistoty odhadu byly zhodnoceny korelačním koeficientem, směrodatnou chybou RMSE, případně směrodatnou odchylkou. Korelační koeficient přesnosti odhadu polní kapacity byl R = 0,99 a bodu vadnutí R = 0,98, viz obr. 5.

Směrodatná chyba přesnosti odhadu RMSE se pohybovala v jednotlivých seskupených zrnitostních třídách u obou hydrolimitů mezi 0,01 - 0,03 cm^3 cm^{-3}. Spolehlivost odhadu polní kapacity 0,015 cm^3 cm^{-3} a odhadu bodu vadnutí 0,018 cm^3 cm^{-3} byla určena pomocí směrodatné odchylky. Nejistoty odhadu vycházely pro oba hydrolimity velmi podobně, tudíž je možno považovat odhad chybějících bodů vadnutí za přijatelný a použitelný, ačkoliv zde nebyla možnost reálné kontroly na

změřených datech. Při číselném porovnání nejistot odhadu s obdobnými studiemi v literatuře (Givi *et al*., 2004) jsou uvedené výsledky více než dobře srovnatelné.



Obr. 5 Korelační grafy pro přesnost odhadu polní kapacity (FC) a bodu vadnutí (WP) metodou nejbližšího souseda.

Metoda nejbližšího souseda byla dále porovnána s výsledky texturních PTF. Průměrný rozdíl v odhadu polní kapacity byl 0,013 cm^3 cm^{-3} a v odhadu bodu vadnutí 0,021 cm^3 cm^{-3}. Absolutní rozdíl se pohyboval mezi 0 – 0,046 cm^3 cm^{-3}. Rozdíly mohou být mj. způsobeny také rozdílnou velikostí obou srovnávaných souborů dat a jejich plošnou distribucí po území ČR.

2.4 ZÁVĚR

Národní mapy hydrolimitů polní kapacity a bodu vadnutí orných půd byly vytvořeny s použitím dat z databáze HYPRESCZ a Mapy zrnitostního složení půd ČR. K odhadu hydrolimitů byla použita metoda nejbližšího souseda jako alternativa k texturním PTF. Z výpočtu nejistot odhadu vyplývá dobrá srovnatelnost texturních PTF a metody nejbližšího souseda pro odhad vybraných bodů retenční čáry; použitím odhadů metodou nejbližšího souseda tudíž nevznikla chyba v kontextu evropského projektu HYPRES a tato metoda umožnila využít maximálního objemu dostupných dat.

Poděkování

Výzkum proběhl za podpory Ministerstva zemědělství, projektu NAZV 1G58095 ve spoluřešení s VÚMOP, v.v.i., Ing. F. Doležalem, CSc., Ing. M. Vlčkovou, Ing. Z. Kulhavým, CSc. a Ing. J. Vopravilem, PhD., a dále za podpory MSM 6046070901. Výsledky jsou prezentovány v souladu s PUV. Zvláštní poděkování za poskytnutí dat patří doc. Ing. V. Kurážovi, CSc. z KHMKI FSv ČVUT, Praha, Ing. M. Tesařovi, CSc. z Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., Praha, prof. Ing. A. Praxovi, CSc. z AF MZLU, Brno a Ing. J. Haberlemu, CSc. z VÚRV, v.v.i., Praha-Ruzyně.

Literatura

BOUMA J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advanced Soil Science* 9: 177-213.

GIVI J., PRASHER S.O., PATEL R.M. 2004. Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agricultural Water Management* 70(2): 83-96.

KOZÁK J., NĚMEČEK J., BORŮVKA L., LÉROVÁ Z., NĚMEČEK K. 2009. *Atlas půd České republiky*. Praha, MZe ve spolupráci s ČZU, 149 s.

KUTÍLEK M. 1978. *Vodohospodářská pedologie*. Praha, SNTL, 296 s.

MATULA S., MIHÁLIKOVÁ M., ŠPONGROVÁ K., VLČKOVÁ M. 2010. *Předpovědní půdně-agrohydrologické modely retence vody v půdě v ČR a jejich integrace do databází zemí EU*. Redakčně upravená závěrečná zpráva projektu NAZV, Praha, Česká zemědělská univerzita, 90 s.

MINASNY B., MCBRATNEY A., BRISTOW K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma* 93(3-4): 225-253.

NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Praha, ČZU Praha spolu s VÚMOP Praha, 79 s.

NEMES A., RAWLS W.J., PACHEPSKY Y.A. 2006. Use of the Nonparametric Nearest Neighbor Approach to Estimate Soil Hydraulic Properties. *Soil Science Society of America Journal* 70(2): 327-336.

NEMES A., ROBERT R.T., RAWLS W. J., PACHEPSKY Y.A., VAN GENUCHTEN, M.T. 2008. Software to estimate -33 and -1500 kPa soil water retention using the non-parametric k-Nearest Neighbor technique. *Environmental Modelling & Software* 23(2): 254.

NEMES A., SCHAAP, M.G. WÖSTEN J.H. M. 2003. Functional Evaluation of Pedotransfer Functions Derived from Different Scales of Data Collection. *Soil Science Society of America Journal* 67: 1093-1102.

RICHARDS L., WEAVER L.R. 1943. Fifteen-Atmosphere Percentage As Related To the Permanent Wilting Percentage. *Soil Sci*. 56(5): 331-339.

VAN GENUCHTEN M.T. 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal* 44(5): 892-898.

WÖSTEN J.H.M., LILLY A., NEMES A., LE BAS C., 1998. *Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning*. Wageningen NL, DLO Winand Staring Centre, 106 p.

WÖSTEN J.H.M., PACHEPSKY Y.A., RAWLS W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251(3-4): 123.

3. NÁVRH METODIKY REKOGNOSKAČNÉHO PÔDNEHO PRIESKUMU PRE POTREBY AKTUALIZÁCIE MÁP KPP V MIERKE 1:10 000

3 Draft methodology of the reconnaissance soil survey for the 1: 10,000 scale soil maps update

Rastislav Skalský, Pavol Bezák, Jozef Koreň*

ABSTRAKT
Od roku 2005 sa na Slovensku systematicky digitalizujú vybrané výstupy KPP (pôdne mapy v mierke 1:10 000, pôdne zápisníky). V súvislosti s integráciou údajov KPP sa vynára aj potreba ich obsahovej aktualizácie pre potreby ich integrácie do informačného systému o pôde. Možným spôsobom aktualizácie výstupov KPP na úrovni klasifikácie pôdy a vedenia hraníc pôdnych mapovacích jednotiek je vhodne navrhnutý doplnkový terénny prieskum pôdy. V tejto kapitole ponúkame metodiku rekognoskačného pôdneho prieskumu. Pozornosť okrem rámcového riešenia venujeme najmä dokumentácii vŕtaných sond pomocou špeciálne vytvoreného pôdneho zápisníka. Riešime aj systém ukladania a správy výsledkov terénneho prieskumu v podobe digitálnej databázy.
Kľúčové slová: terénny pôdny prieskum, dokumentácia pôdneho profilu, digitalizácia výstupov prieskumu pôdy, komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd Československa

ABSTRACT
Soil maps in 1:10 000 scale and soil profile descriptions coming from 1961 – 1970 period soil survey of agricultural soils of Slovakia (KPP) are being systematically digitized since 2005. Necessity of the semantic up-date of the KPP data seems to be crucial for its future integration into soil information system. A possible way of semantically correct update of KPP data on the level of soil classification and soil mapping units delineations is appropriately designed field soil survey. In this chapter we outline the methodology of the reconnaissance soil survey. Along with the general methodology outline we put attention mostly on soil profiles documentations via purposefully designed field form. We are also solving the system for recording and maintenance of the field soil survey records in digital database.
Keywords: field soil survey, soil profile documentation, digitization of soil survey data, general agricultural soil inventory of Czechoslovakia

3.1 ÚVOD

V histórii pôdneho prieskumu na území Slovenska má jedinečný význam komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd bývalého Československa (ďalej ako KPP). Jeho výsledkom je súbor tematických máp (v mierkach 1:10.000, 1:50.000 a 1:200.000) a podporných textových výstupov, ktoré pokrývajú celé územie poľnohospodárskych pôd Slovenska/Čiech (napr. Němeček *et al*., 1967; Hraško, Bedrna, 1970; Šurina, Juráni, 1997). Údaje o pôde zozbierané počas KPP našli od obdobia ukončenia pôdneho prieskumu až do dnes uplatnenie pri množstve rôznych lokálne či regionálne, ale aj celoštátne zameraných výskumných a aplikačných úloh (viac Šurina, Juráni, 1997; Saksa, Skalský, 2007). Už v roku 1983 bola vytvorená prvá digitálna verzia súboru výberových sond KPP a stala sa súčasťou informačného systému o pôde AISOP (Linkeš *et al.*, 1988). V roku 2005 bola ukončená tvorba metodického postupu digitalizácie vybraných obsahových prvkov pôdnych máp KPP 1:10 000 a poľných pôdnych záznamov o pôdnych sondách (základné aj výberové sondy) a zahájená ich systematická digitalizácia, ktorá pokračuje dodnes (Skalský, 2005; Skalský *et al*., 2008,; Saksa *et al*., 2009).

* Mgr. Rastislav Skalský, PhD., Ing. Pavol Bezák, Mgr. Jozef Koreň, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: r.skalsky@vupop.sk

Najstaršie výstupy KPP dnes majú 50 rokov. Od ukončenia KPP sa poznatky o vlastnostiach a rozšírení poľnohospodárskych pôd na Slovensku ďalej vyvíjali (za mnohé napr. Hraško *et al,*. 1973, 1991, 1993; Linkeš *et al*., 1988; Kolektív, 2000). Tento vývoj je treba rešpektovať najmä pri plánovanom využití digitalizovaných výstupov KPP. Možným spôsobom ako preveriť správnosť výstupov KPP a následne aktualizovať pôdne mapy je priamo v teréne preveriť vlastnosti pôd a pôdno-krajinné vzťahy v území. V tejto kapitole chceme naznačiť metodiku terénneho prieskumu, ktorý by obsahovo nadväzoval na už existujúce výstupy KPP. Prezentujeme tu vybrané časti pracovnej verzie metodického dokumentu, ktorý bol spracovaný pre interné účely Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave (Skalský, 2010). Vzhľadom na priestor, ktorý ponúka táto publikácia v tejto kapitole venujeme pozornosť iba vybraným častiam navrhnutej metodiky, ktoré majú z nášho pohľadu najväčší význam pre inováciu existujúcich prístupov k terénnemu prieskumu pôdy na Slovensku a problematike digitaliálnej archivácie jeho výstupov.

3.1.1 Potreba novej metodiky pôdneho prieskumu

V súčasnosti je slovenskými pôdoznalcami všeobecne akceptovaná metodika pôdneho prieskumu a manuál pre popis pôdneho profilu, ktorý spracovali vytvorili Čurlík a Šurina (1998). Tento manuál, súčasťou ktorého je aj poľný pôdny zápisník, je relatívne podrobný a veľmi vhodný pre popis pôdnych profilov pre vedecké účely. Menej sa hodí pre zjednodušený morfologický popis pôdneho profilu z vŕtanej sondy. Vŕtané sondy predstavujú z časového hľadiska racionálnejšiu obdobu kopaných sond a pre potreby terénneho preverenia výstupov KPP je ich použitie veľmi výhodné. Pre archiváciu údajov o sondách a ich spracovanie v podobe digitálnej databázy je zásadná ich vhodná štandardizácia. Manuál pre popis pôdneho profilu by mal preto obsahovať jednoznačné klasifikácie prvkov morfologického popisu a aj kódy pre tieto triedy, ktoré sa zapíšu do digitálnej databázy (napr. Schoeneberger *et al*., 2002). Existujúci manuál pre popis pôdy (Čurlík a Šurina 1998) nezabezpečuje v plnej miere tieto požiadavky.

Moderné nástroje vytvárajú tiež určitý tlak na ich vhodnú integráciu do pôdneho prieskumu. Digitálne fotoaparáty umožňujú v dostatočnom obrazovom rozlíšení na pamäťovom médiu zaznamenať ľubovoľné množstvo digitálnych fotografií krajiny alebo pôdy. Pomocou systému GPS je možné zamerať polohu pozorovania alebo sa navigovať na vopred stanovené miesto pôdnej sondy. Dostupnosť nástrojov analýzy digitálnych podkladov o topografii resp. aj georeliéfe (digitálny model georeliéfu) či výstupov diaľkového prieskumu zeme umožňujú kvalitnejšiu prípravu podkladov do terénu. Priamo v teréne je možné pomocou počítača vytvoriť digitálny záznam práve vykonávaného morfologického pozorovania pôdy.

3.2 METODIKA

Ako základ pre návrh nového pôdneho zápisníka bol použitý pôdny zápisník spracovaný Čurlíkom a Šurinom (1998). Niektoré položky inovovaného pôdneho zápisníka boli spracované podľa celosvetovo akceptovaných manuálov pôdneho prieskumu (Schoeneberger *et al*., 2002, FAO, 2006). Pre výber položiek alebo ich klasifikáciu boli vo viacerých prípadoch použité číselníky existujúcej databázy výberových sond KPP (AISOP, Linkeš *et al*,. 1988), ktoré dobre korelujú s triedami čiastkových klasifikácii príručky Němečka *et al*. (1967).

V prípade, že nebola nájdená existujúca klasifikácia/štandardizácia, ktorá by vhodne odrážala potreby rekognoskačného pôdneho prieskumu (napr. popis hydromorfných znakov pôdy), boli pre položky zápisníka existujúce klasifikácie/štandardizácie upravené alebo doplnené, ojedinele boli navrhnuté aj úplne nové. Pri tvorbe upravených alebo úplne nových klasifikácií sa kládol dôraz na to, aby použité triedy a ich kritériá boli čo najlepšie porovnateľné s existujúcimi klasifikačnými systémami.

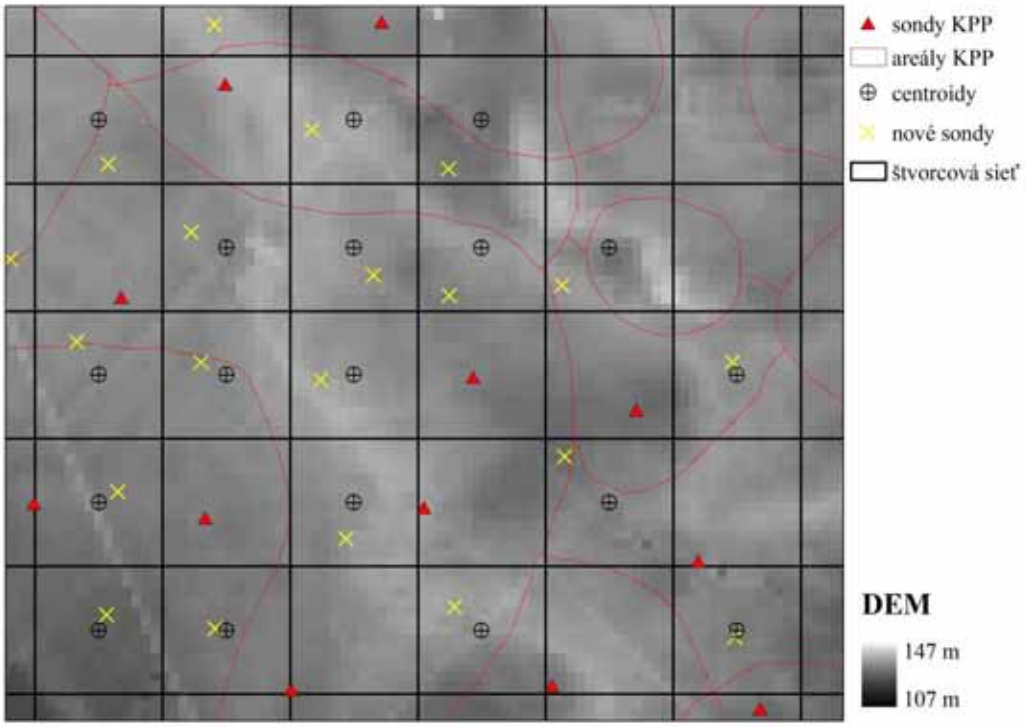
Fotodokumentácia miesta prieskumu a dokumentácia polohy pôdnej sondy pomocou GPS sú inšpirované metodikou európskeho prieskumu krajinnej pokrývky a využívania krajiny LUCAS (http://www.lucas-europa.info/NewsBASE/content_eftas_lucas01/frame_deutsch.php). Klasifikácia údajov o krajinnej pokrývke a využívaní krajiny (nie je podrobne popísaná v tejto kapitole) ideovo vychádza z konceptu použitého v prieskume LUCAS.

3.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.3.1 Návrh siete pozorovaní

Cieľom pôdneho prieskumu pre potreby aktualizácie máp KPP je zahustiť sieť pôvodných sond KPP. Tým sa získa súbor nezávislých pozorovaní, ktoré predstavujú prostriedok pre spoznanie pôdno-krajinných podmienok územia, a zároveň, vo vzťahu k výstupom KPP, predstavujú súbor nezávislých údajov na hodnotenie správnosti mapovania KPP (hodnotenie správnosti obsahu a vedenia hraníc pôdnych mapovacích jednotiek).

Pre výber miesta sondáže slúži štvorcová sieť, ktorá pokrýva celé záujmové územie (hospodársky obvod, katastrálne územie, iné). Každý štvorec je označený jednoznačným identifikátorom. Rozloha štvorca predstavuje približne polovicu priemernej hustoty sondáže KPP v území, pričom do úvahy sa berie iba poľnohospodársky využívaná pôda. Pre sondáž sa vyberajú iba tie štvorce, v rámci ktorých sa nenachádza žiadna pôvodná sonda KPP (obr. 1). Zabezpečí sa tým rovnomerné preskúmanie celého územia a aj minimálna úroveň reprezentatívnosti súboru nových pozorovaní pôdy.

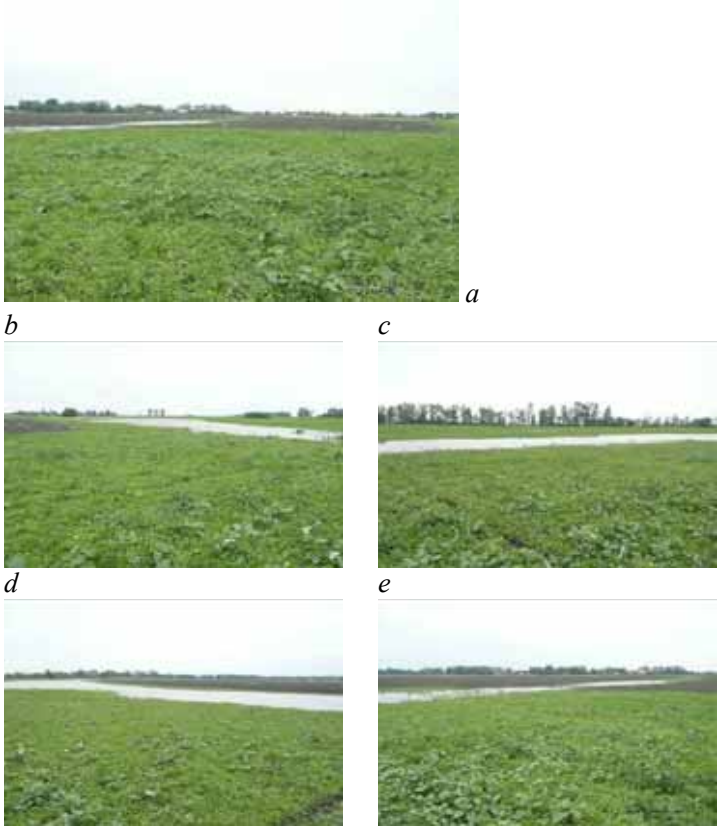


Obr. 1 Sieť pozorovaní pri rekognoskačnom pôdnom prieskume a výber miesta pre sondáž

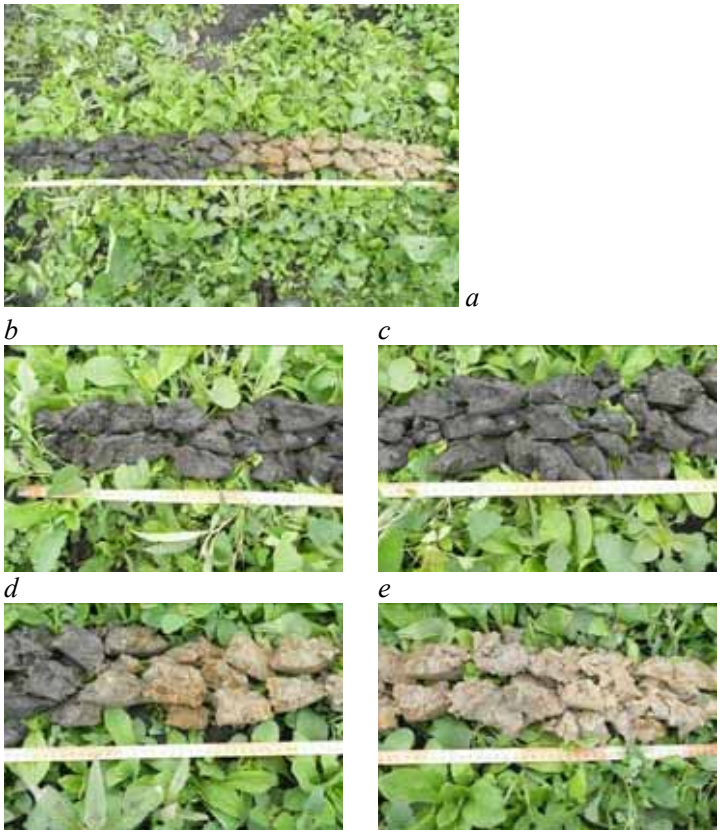
Miesto sondáže sa určí ešte pred tým, ako sa začnú terénne práce. Miestom sondáže je centroid daného štvorca (obr. 1). V prípade, že je to vhodné, môže výber miesta sondáže v rámci štvorca zohľadňovať typické prírodné podmienky v rámci záujmového územia. V príklade na obr. 1 je pre lokalizáciu sondy využitý digitálny model georeliéfu. Miesta pre sondy sú vyberané tak, aby v rámci územia v aluviálnej oblasti reprezentovali depresné, vyvýšené miesta a miesta na úrovni nivy. Miesta pre sondy by nemali vyberané na extrémnych pozíciách, vyhýbať by sa malo aj miestam s možným antropogénnym ovplyvnením pôdy (blízkosť ciest, hrádzí, kanálov, hnojísk, rumovísk). Vhodné je ak miesto výberu novej sondy rešpektuje aj areály na mapách KPP.

3.3.2 Fotodokumentácia

Pre každé miesto pozorovania pôdy musí byť zabezpečená riadna fotodokumentácia. Tá pozostáva z fotodokumentácie pozície pôdnej sondy v krajine, fotodokumentácie okolitej krajiny a fotodokumentácie pôdneho profilu (obr. 2 a obr. 3). Fotodokumentácia sa vykonáva pomocou digitálneho fotoaparátu.



Obr. 2 Fotodokumentácia lokalizácie pôdnej sondy a krajiny (a – lokalizácia sondy, b – pohľad na sever, c – pohľad na východ, d – pohľad na juh, e – pohľad na západ)



Obr. 3 Fotodokumentácia pôdneho profilu (a – pôdny profil, b – detail hĺbky 0 – 30 cm, c – detail hĺbky 30 – 60 cm, d – detail hĺbky 60 – 90 cm, e – detail hĺbky 90 – 120 cm)

Pozícia pôdnej sondy v okolitej krajine sa dokumentuje tak, že do miesta sondy sa umiestni dobre viditeľný predmet (napr. vrták, výtyčka, farebná podložka). Z dostatočnej vzdialenosti sa miesto pôdnej sondy odfotí oproti stabilnému krajinnému prvku (vysoké budovy, televízne vysielače, mosty či iné cestné konštrukcie, vodojemy, intravilány obcí a tiež výrazné geomorfologické a terénne prvky). Ak sa v okolí nenachádza vhodný stabilný krajinný prvok, umiestnenie sondy sa odfotí smerom na sever. Vo všeobecnosti je výhodou, ak je možné zabezpečiť fotodokumentáciu pozície čo najväčšieho počtu pôdnych sond v záujmovom území pomocou jedného dominantného krajinného prvku. Fotodokumentácia okolitej krajiny sa robí tak, že sa z miesta vŕtanej sondy alebo jeho bezprostrednej blízkosti (1 – 2 m) v smere hodinových ručičiek postupne fotografuje krajina na sever, východ, juh a nakoniec na západ. Pre určenie smeru sa použije buzola. Fotodokumentácia krajiny sa robí aj v prípade, že pôdna sonda je lokalizovaná na mieste zo zlým výhľadom (les, poloha v terénnej depresii, pri hrádzi, okraji lesa či krovísk a pod.).

Fotodokumentácia pôdneho profilu sa robí tak, že popri horizontálne uloženej pôde z vrtu sa uloží meracie pásmo a profil sa odfotí zhora ako celok a následne jeho detaily. Pôda s pásmom by sa mali nachádzať v strede snímky, mal by byť zachytený celý profil od povrchu až po 120 cm. Detaily pôdy sa fotia z výšky asi 60 – 70 cm tak aby na každej snímke bola zachytená asi 30 – 40 cm vrstva pôdy. Fotia sa celkom 4 detaily. Úlohou pôdoznalca je pri fotodokumentácii zabezpečiť, aby bola celá sekvencia fotografií (bod, sever, východ, juh, západ, profil, detail 1, detail 2, detail 3 a detail 4) odfotená ako jeden uzavretý celok. Vždy, pri každej dokumentovanej sonde (riadna aj zjednodušená dokumentácia) sa fotia všetky pohľady (celkom 10). Výnimkou, pri ktorej sa nefotia všetky detaily pôdneho profilu je situácia, keď hĺbka sondy je menej ako 120 cm. S ohľadom na hĺbku sondy sa potom zníži počet fotených detailov.

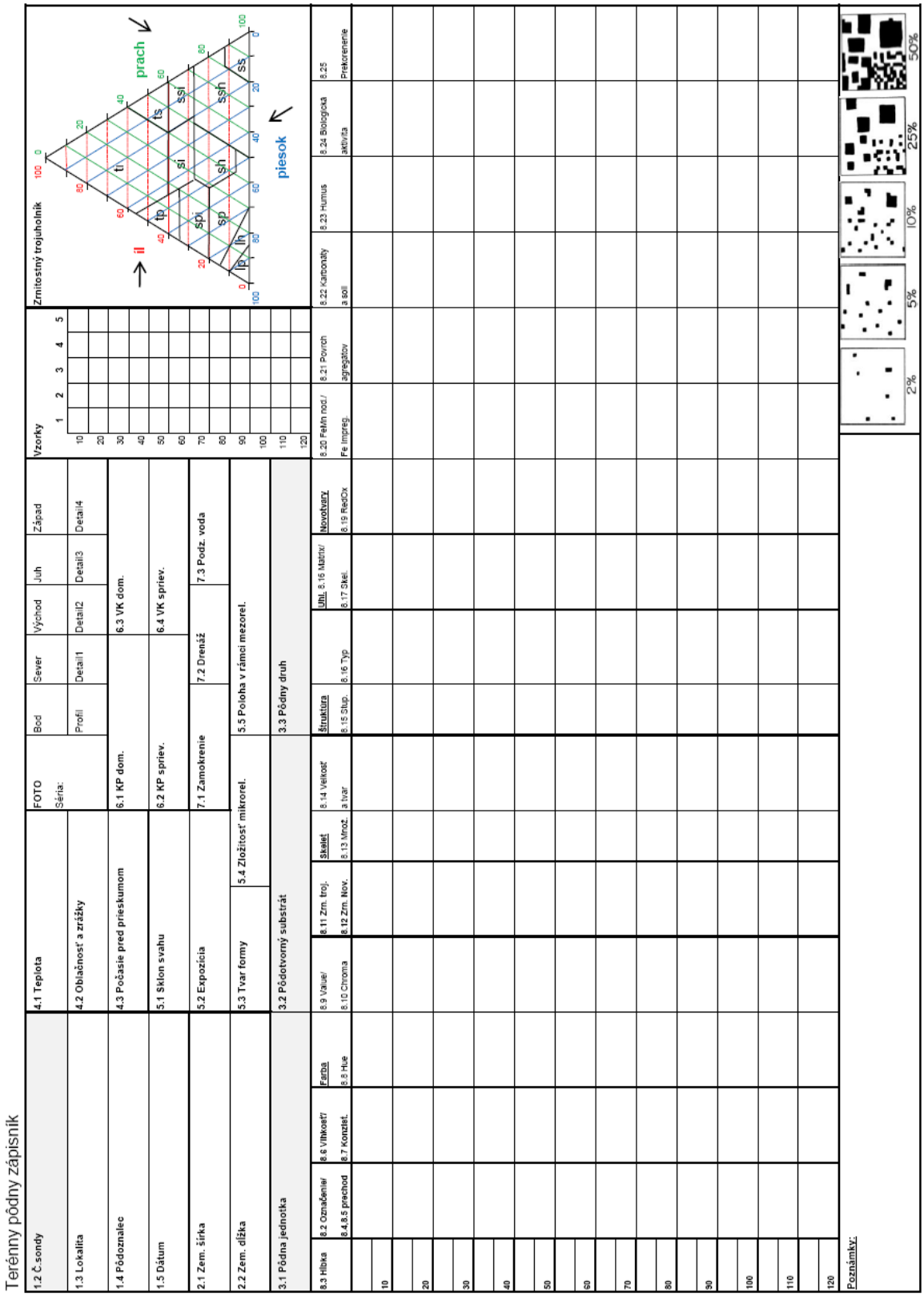
3.3.3 Pôdny zápisník

Morfologickému popisu pôdneho profilu je potrebné venovať zvýšenú pozornosť. Morfologický popis je špeciálnym spôsobom merania vlastností pôdy a malo by byť čo najobjektívnejšie a najvernejšie. Pre dosiahnutie dostatočnej kvalitatívnej úrovne výsledkov terénneho prieskumu je preto potrebné pri popise morfologických vlastností pôdy postupovať presne v zmysle predpísaných postupov a klasifikácií. Na obr. 4 je vyobrazený pôdny zápisník, ktorý slúži na záznam pozorovaní stanovištných podmienok, pôdy a morfologických vlastností pôdneho profilu. Položky pôdneho zápisníka sú členené do viacerých tematických skupín:

1. **základné údaje o sonde** – popíšu sa rôzne identifikačné a doplnkové údaje (číslo sondy, lokalita, meno pôdoznalca, dátum popisu);
2. **údaje o polohe** – popíšu sa súradnice polohy sondy (zemepisná šírka, zemepisná dĺžka);
3. **údaje o klasifikácii pôdy** – uvedie sa klasifikácia pôdy podľa zvoleného klasifikačného systému (pôdna jednotka, pôdotvorný substrát, pôdny druh);
4. **údaje o počasí počas prieskumu** – popíše sa ráz počasia v období prieskumu a pred ním (teplota, oblačnosť a zrážky, počasie pred prieskumom);
5. **údaje o georeliéfe** – popíšu sa vybrané morfologické a morfogenetické vlastnosti georeliéfu (sklon, expozícia, geometrický tvar, zložitosť mikroreliéfu, poloha v rámci formy mezoreliéfu);
6. **údaje o krajinnej pokrývke a využívaní krajiny** – popíše sa aktuálna krajinná pokrývka a využívanie krajiny (dominantná krajinná pokrývka, sprievodná krajinná pokrývka, dominantné využívanie krajiny, sprievodné využívanie krajiny);
7. **údaje o zamokrení stanovišťa** – popíšu sa vybrané hydrologické charakteristiky stanovišťa (zamokrenie podzemnou alebo povrchovou vodou, charakter drenáže pôdy, hĺbka hladiny podzemnej vody);
8. **údaje o morfologickej stavbe pôdneho profilu** – postupne, pre jednotlivé genetické a substrátové horizonty a horizonty podložnej horniny sa popíšu morfologické vlastnosti pôdy (signatúra horizontu, hĺbka horizontu, charakter prechodu, topografia prechodu*, vlhkosť pôdy, konzistencia, farba – odtieň$^{+}$, farba – svetlosť$^{+}$, farba – sýtosť$^{+}$, zrnitosť podľa trojuholníka, zrnitosť podľa Nováka, množstvo skeletu^{+}, veľkosť a tvar skeletu^{+}, stupeň vývoja pôdnej štruktúry*, typ pôdnej štruktúry*, obsah uhličitanov v jemnozemi^{+}, obsah uhličitanov v skelete^{+}, prítomnosť hydromorfných novotvarov^{+}, zastúpenie oxidačných novotvarov z celkového množstva hydromorfných novotvarov^{+}, novotvary na povrchu agregátov*, karbonátove novotvary

a výkvety iných solí[+], prítomnosť humózneho materiálu v nehumusových horizontoch[+], znaky biologickej aktivity edafónu v pôde*, prekorenenie pôdy*).
Položky označené * sa popisujú iba pre kopané sondy, položky označené [+] sa popisujú pre vŕtané sondy iba v prípade priaznivých podmienok pre vŕtanie sondy.

Obr. 4 Pôdny zápisník.



Položky pôdneho zápisníka sú štandardizované. Pre každú položku je určený formát záznamu alebo aj rozsah možných hodnôt, prípadne je položka upravená číselníkom, ktorý obsahuje kód triedy, názov triedy a klasifikačné kritériá. Príklad číselníka je uvedený v tab. 1. Okrem položiek samotného popisu pôdy sú súčasťou pôdneho zápisníka aj niektoré doplňujúce prvky:

- ✓ **zoznam fotografií** – slúži na zaznamenanie čísla príslušnej fotografie vo fotoaparáte, tak aby sa dala fotografia pri digitalizácii priradiť príslušnému pôdnemu profilu;
- ✓ **zoznam odobratých vzoriek** – zaznamená sa hĺbka, z ktorej boli robené otery pôdy, prípadne odobratá vzorka na analýzy alebo doplnkové pozorovanie (sypaná vzorka, valček);
- ✓ **doplnkové grafické prvky** – sú reprezentované obrázkom zrnitostného trojuholníka pre potreby odhadu zrnitosti pôdy v teréne a jeho spresnenia (označenie polohy vzorky v diagrame) a diagramy pre plošný odhad farebnej škvrnitosti pôdy alebo obsahu skeletu;
- ✓ **poznámky** – zaznamenajú sa rôzne skutočnosti týkajúce sa pôdneho profilu ako celku alebo jeho jednotlivých horizontov, ktoré sa nepopísali v existujúcich poliach pôdneho zápisníka alebo sa zdôvodní odchýlka od stanovenej metodiky prieskumu.

3.3.4 Terénny odhad zrnitosti pôdy

Trieda zrnitosti podľa trojuholníkového diagramu sa určuje vždy, z kopanej aj vŕtanej sondy, pre každý pôdny horizont s výnimkou horizontu rozpadu pevnej horniny. Terénny odhad zrnitosti pôdy je založený na odhade jednotlivých zrnitostných frakcií – piesku, prachu a ílu – vo vzorke pôdy podľa zrnitostného trojuholníka (napr. Kolektív, 2000).

Odhad zrnitosti minerálnej pôdy sa robí z navlhčenej a dobre premiešanej vzorky pôdy. Vzorka pôdy (asi 0,3 – 0,5 cm^3) z daného pôdneho horizontu sa opakovane navlhčí a rozmieša až pokiaľ nie je plastická (vzorka na podložke necháva mokrú stopu, ale nezostávajú zvyšky pôdy).

Prvým krokom je odhad obsahu ílu vo vzorke (t.j. poloha vzorky na trojuholníkovom diagrame vo vertikálnom smere). Zo vzorky pôdy sa postupne šúľajú valčeky rôznych priemerov (obr. 5) a určí plasticita pôdy podľa tab. 1. Trieda plasticity pôdy nepriamo naznačuje obsah ílu vo vzorke. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že neplastické pôdy obsahujú okolo 10 % ílu, slabo plastické okolo 10 – 25 % ílu, plastické pôdy 25 – 40 % ílu a silno plastické pôdy viac ako 40 % ílu. Vysoký obsah piesku alebo prachu vo vzorke, môže tento odhad mierne modifikovať.

Tab. 1 Klasifikácia plasticity pôdy (podľa: Schoeneberger *et al.,* 2002)

Symbol	Popis	Vysvetlivky
0	neplastická	nie je možné vyvaľkať valček s priemerom 6 mm a dĺžkou 4 cm a ak áno rozpadá sa pod vlastnou váhou pri pokuse o jeho zdvihnutie z podložky za niektorý z koncov
1	slabo plastická	valček s priemerom 6 mm a dĺžkou 4 cm sa pod vlastnou váhou nerozpadne, valček s priemerom 4 mm a dĺžkou 4 cm áno
2	plastická	valček s priemerom 4 mm sa pod vlastnou váhou nerozpadne, valček s priemerom 2 mm a dĺžkou 4 cm áno
3	silno plastická	valček s priemerom 2 mm a dĺžkou 4 cm sa pod vlastnou váhou nerozpadne)

V druhom kroku sa odhadne poloha vzorky na trojuholníkovom diagrame vo vodorovnom smere a s použitím odhadu obsahu ílu z kroku 1 sa odhadne trieda zrnitosti pôdy podľa trojuholníkového diagramu. Zo vzorky pôdy sa na kartičku pevného papiera urobí oter pôdy. Pozorovanie správania sa vzorky pôdy pri robení oteru pomáha odhadnúť relatívne množstvo piesku, prachu a ílu vo vzorke.

- Vzorky pôdy, ktoré obsahujú veľa piesku a málo ílu alebo prachu sa po navlhčení vodou veľmi dobre rozpadávajú, ale nedajú sa rovnomerne rozotrieť. Zrná piesku je dobre cítiť na bruškách prstov. Piesok je v otere pozorovateľný aj voľným okom, vhodnejšie je však pozorovanie pod lupou. Problém je však rozlíšiť veľmi jemný piesok od hrubého prachu.
- Vzorky pôdy s vyšším obsahom prachu sa po navlhčení vodou vo všeobecnosti veľmi dobre rozpadajú a veľmi rovnomerne a dobre rozotierajú a na podložke nechávajú rovnomerne rozptýlené otery.

- Vzorky s vyšším obsahom ílu (viac ako 35 %) sa relatívne ťažko rozmazávajú (vzorka zostáva prilepená v strede oteru a len pomaly sa „rozpúšťa“). Po vysušení sa otery výrazne ílovitých pôd (najmä pod lupou) javia akoby bol ich povrch povoskovaný.

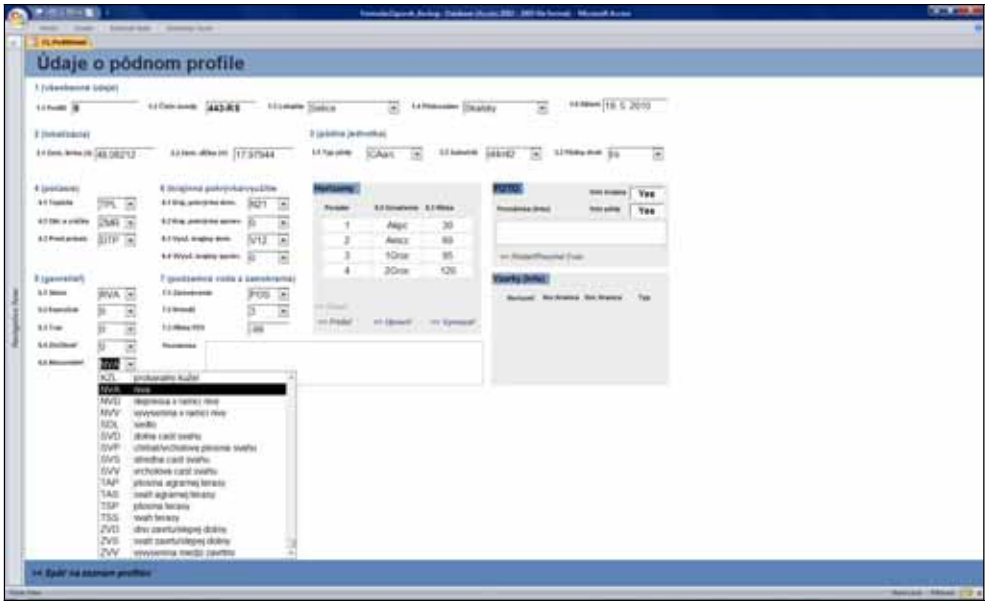
a *b*

Obr. 5 Poľný odhad zrnitosti pôdy (a – skúška plasticity pomocou valčekov, b – oter pôdy)

3.3.5 Digitálny formulár

Pre potreby archivácie zaznamenaných údajov o pôdnej sonde bola navrhnutá digitálna databáza, ktorá obsahuje tabuľky pre ukladanie údajov o sondách, údajov o pôdnych horizontoch, údajov o odobratých vzorkách a údajov o fotodokumentácii pôdneho profilu. Súčasťou databázy je súbor číselníkových tabuliek, ktoré obsahujú zoznam kódov a popis jednotlivých tried použitých klasifikácií a súbor databázových pravidiel, ktoré určujú povolené hodnoty polí tabuľkách. Tabuľky pre popis sondy a pôdnych horizontov sú navrhnuté tak, aby ich polia presne korešpondovali s položkami pôdneho zápisníka.

Pre potreby digitalizácie údajov pôdneho zápisníka bolo vytvorené užívateľské rozhranie v prostredí databázového systému MS Access 2003. Toto užívateľské rozhranie v podobe formulárov umožňuje pridávať a odoberať záznamy, zadávať údaje, prezerať si zaznamenané údaje alebo ich editovať. Polia formulárov, pre ktoré to má význam, sú prepojené s číselníkmi a umožňujú tak priamo zadávať štandardizované kódy hodnoty (obr. 6).



Obr. 6 Užívateľské rozhranie pre zadávanie údajov z pôdneho prieskumu do digitálnej databázy – formulár pre údaje o pôdnom profile

Boli vytvorené nasledovné formuláre:

- **formulár pre správu profilov** – umožňuje pridávať alebo odoberať pôdne profily do databázy, umožňuje vstup do ďalších formulárov;
- **formulár pre údaje o sonde** (obr. 6) – umožňuje zadávať, prehliadať alebo editovať údaje o pôdnej sonde (položky pôdneho zápisníka 1 – 7) a prehliadať zoznam pôdnych horizontov, zoznam vzoriek a zoznam fotografií, umožňuje prístup k formuláru popisu pôdnych horizontov a formuláru správy fotografií;
- **formulár popisu pôdnych horizontov** – skladá sa s troch samostatných podformulárov, umožňuje zaznamenať, prehliadať alebo editovať údaje o pôdnom horizonte (položka pôdneho zápisníka 8), umožňuje prístup k formuláru pôdnych vzoriek;
- **formulár pôdnych vzoriek** – slúži na záznam údajov o odobratých vzorkách, vzťahuje sa na konkrétny pôdny horizont;
- **formulár správy fotografií** – slúži na správu informácií o fotografiách a správu súborov fotografií, umožňuje priradiť digitalizovaným záznamom príslušné fotografie sondy, krajiny a pôdneho profilu a uložiť snímky v štandardizovanej podobe do zvoleného adresára.

3.4 ZÁVER

Načrtnutý metodický postup je prvým pokusom o systematické riešenie doplnkového terénneho prieskumu pre potrebu aktualizácie máp KPP na Slovensku. Predstavuje pracovný materiál pre ďalšie testovanie a overovanie v praxi. Určite nie je konečným a záväzným postupom, ktorý by jednoznačne predpisoval spôsob, akým treba realizovať terénny pôdny prieskum pre potrebu aktualizácie máp KPP. Ústredným prvkom vytvoreného metodického postupu je systém zaznamenávania terénnych pozorovaní. Pre potreby zaznamenávania stanovištných podmienok a vlastností pôdneho profilu bol vytvorený poľný pôdny zápisník a jeho digitálna verzia. Vytvorenie nového poľného pôdneho zápisníka je odozva na skutočnosť, že v súčasnosti na Slovensku chýba vhodný a moderný nástroj pre podporu mapovania v podrobnej a strednej mierke, ktorý by v štandardizovanej podobe umožňoval zaznamenávať terénne pozorovania pôdy.

Poľný pôdny zápisník, ktorý bol vytvorený pre potreby aktualizácie máp KPP je akýmsi „kompilátom“, ktorý sa snaží využívať výhody už existujúcich systémov (domácich aj niektorých zahraničných) a zároveň eliminovať ich nedostatky. Prísne účelovo však sleduje svoj konkrétny účel, ktorým je rekognoskačný pôdny prieskum a mapovanie pomocou (predovšetkým) vŕtaných sond. Aj keď aktualizácia máp KPP je problematika, ktorá primárne vyžaduje pôdny prieskum na poľnohospodárskych pôdach, metodika a aj pôdny zápisník bol navrhnutý tak, aby mohol slúžiť pre akýkoľvek pôdny prieskum, ktorý je realizovaný aj na lesných pôdach alebo v urbanizovaných územiach a to tak z vŕtaných ako aj kopaných pôdnych sond.

Literatúra

ČURLÍK J., ŠURINA B., 1998. *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*. Bratislava, Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 134 s., ISBN 80-85361-37-X

FAO 2006. *Guidelines for soil description. Fourth edition*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 97 s., ISBN 92-5-105521-1.

HRAŠKO J., BEDRNA Z. 1970. Soil mapping on the territory of Slovakia. In: Hraško, J., (ed.) *Vedecké práce výskumného ústavu pôdoznalectva a výživy rastlín v Bratislave č. 4*, Bratislava, PRÍRODA, 13-19.

HRAŠKO J., LINKEŠ V., NĚMEČEK J., ŠÁLY, R., ŠURINA, B. 1973. *Pôdna mapa ČSSR 1:500 000*. Bratislava, Slovenská kartografia a Výskumný ústav pôdoznalectva a výživy rastlín.

HRAŠKO J., LINKEŠ V., NĚMEČEK J., NOVÁK P., ŠÁLY R., ŠURINA B. 1991. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd ČSSR. MKSP – Bazálna referenčná taxonómia, Klasifikácia pôdotvorných substrátov*. Bratislava, Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 106 p.

HRAŠKO J., LINKEŠ V., ŠÁLY R., ŠURINA B. 1993. *Soil Map of Slovakia – 1:400 000*. Bratislava, VUPU&UGKK

LINKEŠ V., GROMOVÁ A., LUPTÁK D., PESTÚN V., POLIAK P. 1988. *Informačný systém o pôde*. Bratislava, Príroda, 198 p.

NĚMEČEK J., DAMAŠKA J., HRAŠKO J., BEDRNA Z., ZUSKA V., TOMÁŠEK M., KALENDA M. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR (Souborná metodika) 1. Díl, Metodika terénního průzkumu,*

sestavování půdních map a geneticko-agronomické klasifikace půd. Praha, Ministerstvo zemědělství a výživy, 246 p.

SAKSA M., SKALSKÝ R. 2007. História a prehľad výstupov prieskumu a mapovania pôd na Slovensku. *Geografia,* Roč. 15, č. 2/2007, 62-67.

SAKSA M., SKALSKÝ R., ČURDOVÁ K., PIVARČEKOVÁ E., BARTOŠOVIČOVÁ I. 2009. Súčasný stav budovania Georeferencovanej databázy poľnohospodárskych pôd Slovenska. In Bujnovský, R. (ed.). *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 31*, Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 144-150, ISBN 978-80-89128-51-8.

SCHOENEBERGER P.J., WYSOCKI D.A., BENHAM E.C., BRODERSON W.D. (Eds.) 2002. *Field book for describing and sampling soils. Version 2.0*. Lincoln, NE : USDA-NRCS, 105 s.

SKALSKÝ R. 2005. Georeferenced Database of Agricultural Soils of Slovakia. In: Bujnovský R., Tekeľová Z., (Eds.*), Vedecké práce* č. 27, Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 97-110, ISBN 80-89128-17-3.

SKALSKÝ R. 2010. *Metodika pôdneho prieskumu pre potreby aktualizácie pôdnych máp KPP 1: 10 000.* Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 80 s. (Manuskript).

SKALSKÝ R., SAKSA M., BLEHO S., KOVÁČIKOVÁ I., 2008. Informatizácia údajov komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska. In: Sobocká J., Kulhavý J., (Eds.). *Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov 1. Konferencie Českej pedologickej spoločnosti a Societas pedologica slovaca* (Rožnov pod Radhoštěm 20 – 23.8 2007), 100-107, ISBN 978-80-89128-44-0.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska, Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 76 p. ISBN 80-85361-70-1.

ŠURINA B., JURÁNI B. 1997. Mapovanie pôd a pôdne mapy na Slovensku. *Kartografické listy*, Roč. 1997, č. 5, 99-104.

4. VYUŽITIE DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU PRI OPTIMALIZÁCII ROZMIESTNENIA PÔDNYCH SOND

4 Use of digital terrain model for an optimal spatial pattering of soil probes

Marián Jenčo, Peter Pišút*

ABSTRAKT
Význam vplyvu geometrických foriem reliéfu na detailnú diferenciáciu pedosféry je zohľadňovaný pri väčšine pedogeografických prác. Tento vplyv sa výrazne prejavuje i pri fluviálnom reliéfe. Poznanie vzťahu medzi reliéfom a pôdnymi vlastnosťami je možné využiť už pri samotnom pôdnom mapovaní. Optimalizácia rozmiestnenia pôdnych sond na základe priebehu foriem reliéfu umožňuje znižovať ich počet v mapovanom území bez dôsledkov na kvalitu mapovania. V prípade pôdneho mapovania oblastí s fluviálnym reliéfom môžeme naraziť na problém absencie reprezentatívnych informácií o nadmorských výškach územia, potrebných pre tvorbu digitálneho modelu reliéfu. Tento problém však nie je neriešiteľný. V príspevku uvádzame prístup, dokumentovaný na území Opatovského paleomeandra Dunaja ležiaceho východne od obce Medveďov. Mapované územie je charakteristické výskytom fluvizemí až glejových pôd v najnižších častiach depresií. Menšiu zložitosť štruktúry pôdnej pokrývky, než by sa dala predpokladať na základe zložitosti reliéfu vytváranej striedaním väčšieho množstva konvexných a konkávnych geometrických foriem reliéfu, je možné vysvetliť predpokladaným nedávnym poklesom hladiny podzemnej vody v celej oblasti okolo Medveďova. Taktiež sa domnievame, že agrotechnika používaná v posledných dekádach pri obrábaní ťažších pôd, ktorá sa prejavuje zvyšovaním mocnosti povrchového horizontu a zmenou jeho vlastností spôsobenou intenzívnym premiešavaním pôdnych častíc do väčších hĺbok, zapríčinila oproti nedávnej minulosti u týchto pôd zníženie obsahu najjemnejšej zrnitostnej frakcie v povrchovom horizonte.
Kľúčové slová: mapovanie pôd, DMR, kostra terénu, paleomeander, Dunaj

ABSTRACT
Detailed structure of the pedosphere, as being substantially affected by geometrical land surface forms is respected in majority of pedogeographical studies. This influence is also markedly felt in alluvial soils. The knowledge of the relation between the land surface and soil properties can be used in soil mapping. Optimal spatial pattering of the soil probes based on land surface forms enables reducing of their number in the area surveyed, without consequences on the quality of mapping. By mapping of soils in the alluvial areas we can encounter the problem of the absence of representative information on elevations needed to establish a DTM. Nevertheless, this is not an insoluble problem. In this paper we apply this approach to the model territory of the Danube medieval palaeo-meander (Medveďov site, Rye Island, Slovakia). Surveyed area is characterised by variety of Fluvisols to Gleysols situated in the lowermost depressed parts of the landscape. According to field survey, local soils appear to be not such heterogeneous as might be expected from the complexity of land surface with alternating several convex and concave forms. This fact can be explained by lowering of the regional groundwater table in recent decades. There is also textural change of the topsoil humus horizon which has been probably affected by the agricultural methods used in the past decades. Current properties of the topsoil humus horizons have been affected by mixing of the original finer alluvial deposits with the coarser ones from the substrate horizons.
Key words: soil mapping, DTM, terrain skeleton, palaeomeander, Danube River

4.1 ÚVOD

Reliéf je jedným z dominantných diferenciačných faktorov toku látok a a energie v krajine. Jeho vplyv sa prejavuje už v rámci veľmi malých území. Reliéf prostredníctvom svojich foriem vplýva na diferenciáciu množstva slnečnej energie dopadajúcej na zemský povrch a taktiež ovplyvňuje väčšinu gravitačne podmienených procesov. Vplyv mikroforiem reliéfu na diferenciáciu pôdnej pokrývky,

* RNDr. Marián Jenčo, CSc., Ing. Peter Pišút, PhD., Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4, SR, e-mail: jenco@fns.uniba.sk, pisut@fns.uniba.sk

i keď ide o oveľa komplexnejší problém, je najčastejšie prezentovaný prostredníctvom vzťahu geometrických foriem reliéfu k hladine podzemnej vody. I veľmi malé výškové rozdiely môžu spôsobovať výrazné zmeny v morfológii pôdneho profilu. Rýchle striedanie konkávnych a konvexných foriem fluviálneho reliéfu by sa preto malo prejaviť i v náraste zložitosti pôdnej pokrývky. Ďalším charakteristickým znakom fluviálneho reliéfu je vznik častých uzavretých depresií a tým i možnosť akumulácie povrchovej vody. Táto jeho vlastnosť je v súlade s predchádzajúcim tvrdením. Formami reliéfu ovplyvňovaná dostupnosť vody v pôde podmieňuje zmeny reálnej vegetácie alebo spôsob využívania územia. To sa môže spätne znovu prejaviť v diferenciácii pôdnej pokrývky. Preto je pri pôdnom mapovaní vhodné vychádzať z dôsledného poznania mapovaného územia a využiť tieto poznatky pri zakladaní pôdnych sond.

Ak sa pozrieme na mapové výstupy z Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska (KPP), nie vždy zbadáme rozdiely v zložitosti pôdnej pokrývky oblastí riečnych nív a vyššie položených území. Vyplýva to z približne rovnakej hustoty aplikovaných pôdnych sond. Samozrejme, že rovnaká hustota sond vyplynula predovšetkým zo snahy dodržať pravidlá súbornej metodiky pôdneho prieskumu. Tá však pripúšťa i v tomto prípade určitú variabilitu.

Pri KPP použité topografické podklady, predovšetkým Štátna mapa odvodená mierky 1: 5 000, nielenže neobsahujú v pririečnych oblastiach dostatočne podrobný výškopis, ale navyše tento výškopis nie je veľmi dobre čitateľný. To mohlo byť príčinou, prečo nie vždy bol pri rozložení sond, resp. pri vymedzovaní hraníc medzi jednotlivými pôdnymi charakteristikami dostatočne zohľadnený aj reálny reliéf. Slabá čitateľnosť výškopisu máp štátneho mapového diela je v oblastiach riečnych nív spôsobená častým priebehom susedných vrstevníc s rovnakou nadmorskou výškou. Geometrické formy reliéfu sú v týchto miestach interpretovateľné z vrstevnicového poľa mapy len pomocou riedkych kót, prípadne spádoviek.

Tento problém sa prejavuje nielen pri vizuálnej interpretácii výškopisu, ale aj pri jeho digitálnom spracovaní. Aproximačné funkcie používané pri tvorbe digitálneho modelu reliéfu (DMR) často zlyhávajú v oblastiach vstupných bodových polí, získaných z vrstevníc s rovnakou nadmorskou výškou. V týchto oblastiach je potrebné výškopisnú informáciu doplniť nad rámec výškopisu mapy. Až následnou analýzou DMR sme potom schopní identifikovať hodnoty jednotlivých morfometrických charakteristík reliéfu s požadovanou presnosťou.

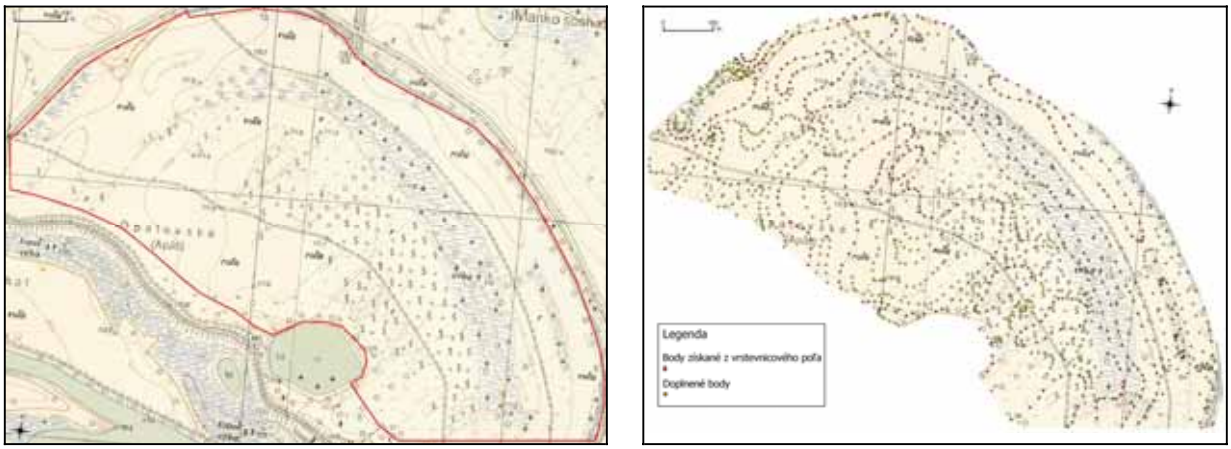
Dostatočne presné informácie a sklone, hodnotách jednotlivých krivostí, dĺžke svahu resp. veľkosti prispievajúcej plochy, ale i o kostre reliéfu alebo jeho vyvýšených a depresných formách sú vhodnými doplnkovými informáciami pri rozhodovaní o zakladaní pôdnych sond. Tieto informácie boli využité v rámci riešenia grantu VEGA 1/0362/09 pri mapovaní pôdnej pokrývky v priestore niekdajšieho Opatovského ramena Dunaja. Ide o východnejší z dvoch riečnych paleomeandrov Dunaja, ležiacich bezprostredne na východ od obce Medveďov. Rozloženie sond vychádzalo zo snahy zachytiť pôdne pomery predovšetkým na vyvýšených a depresných formách reliéfu mapovanej oblasti.

4.2 POUŽITÉ METÓDY

Mapované územie je situované na dne koryta a bývalých vnútorných (nánosových) brehoch bývalého meandra Dunaja charakteristického podkovovitého tvaru, ktorého aktivita podľa písomných prameňov skončila v období stredoveku (Marsina, 1987). Koryto ramena dosahovalo pôvodne šírku 133-225 m. Priestor paleomeandra je dnes ohraničený pätou hlavnej hrádze Dunaja, oddeľujúcej Kľúčovecké rameno, a melioračným kanálom, ležiacim južne od štátnej cesty medzi Medveďovom a Kľúčovcom.

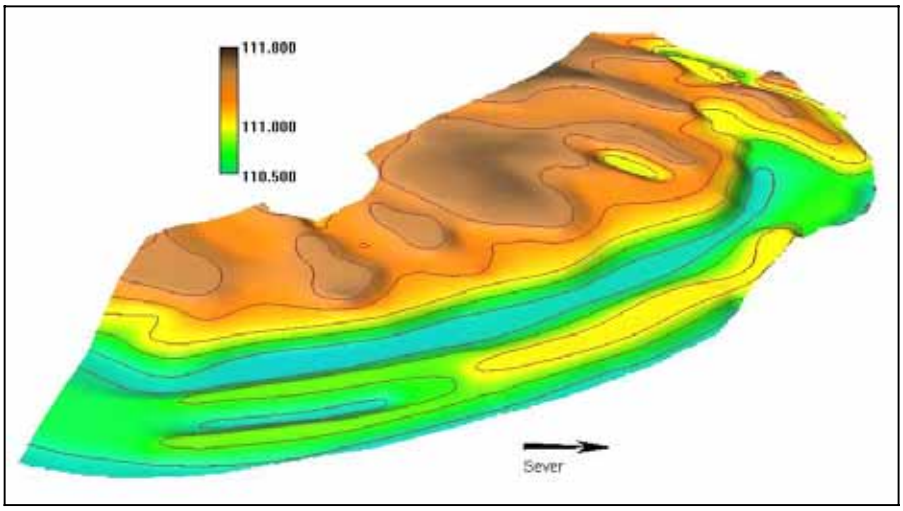
V rámci mapovania pôd paleomeandra a jeho ostrohy bolo realizovaných 10 kopaných a 14 vŕtaných pôdnych sond. Pri mapovanej ploche cca 55 ha reprezentuje jedna sonda plochu takmer 2,5 ha. Pôdne sondy boli štandardne popísané formou pôdneho zápisníka v zmysle Čurlíka a Šurinu (1998). Zrnitosť bola určená hmatovou skúškou a preto ju v prípade popisu diferenciácie pôdnej pokrývky použijeme ďalej len ako doplnkovú informáciu. V systéme bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ) je celé mapované územie začlenené do piatich areálov s štyrmi kódmi BPEJ: 0001001, 0011002, 0012003, 0028004, ktoré sa odlišujú len v dvojkóde hlavnej pôdnej jednotky (podľa Linkeš a kol., 1996) v poradí: fluvizeme typické karbonátové ľahké, fluvizeme glejové, stredne ťažké (lokálne ľahké), fluvizeme glejové, ťažké a čiernice glejové až pelické, veľmi ťažké) a ako vyplýva zo zátvorky aj v kóde zrnitosti pôdy. Pôdny prieskum sme realizovali v dvoch

etapách: na vyvýšených miestach v júni 2010 po intenzívnych dlhodobých zrážkach a v depresiách kvôli júnovej vysokej hladine podzemnej vody v auguste 2010.



Obr. 1 Topografická mapa záujmového a priľahlého územia (vľavo) a diskrétne bodové pole výšok použité pri tvorbe DMR (vpravo)

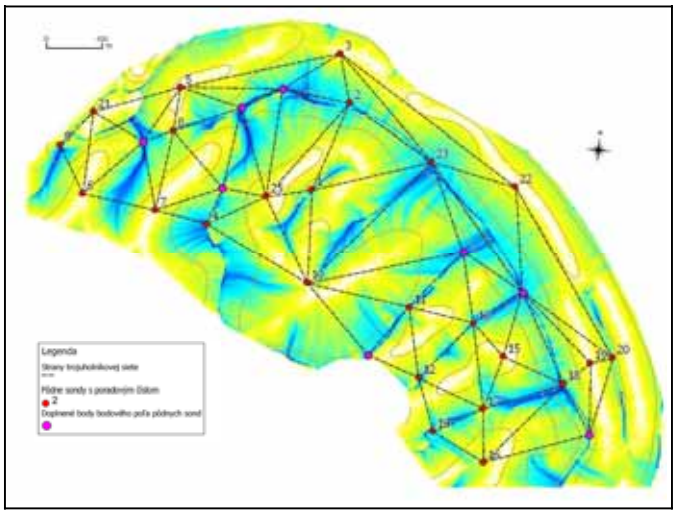
Pri tvorbe DMR bol využitý výškopis, obsiahnutý v príslušných sekciách vojenskej topografickej mapy mierky 1: 5 000. I keď spoločné základné a vojenské mapové dielo bývalého Československa využíva jednotný výškopis získaný fotogrametrickými metódami z leteckých meračských snímok, u tejto mapy sú vrstevnice vykreslené s najväčšou podrobnosťou. Hustota vrstevnicového poľa však ani v tomto prípade, v mnohých miestach, nevyhovovala požiadavkám na kvalitu z neho získaného výškového bodového poľa, potrebného na vytvorenie hodnoverného DMR. Navyše v rámci záujmového územia v použitých mapách často vedľa seba prebiehali vrstevnice s rovnakou nadmorskou výškou. Preto bolo nutné digitalizáciou získaný výškopis z týchto máp doplniť orientačnou výškopisnou informáciou (obr.1), ktorá by umožnila použitej aproximačnej funkcii (regularizovaný splajn s tenziou implementovaný v prostredí GRASS) vytvoriť DMR, ktorý by vystihoval priebeh existujúcich hlavných geometrických foriem reliéfu v predmetnom území (obr. 2).



Obr. 2 3D model územia

Ak vychádzame z predpokladu, že jednotlivé pôdne jednotky rešpektujú priebeh vyvýšených a depresných foriem reliéfu mapovaného územia, v teréne získané diskrétne bodové pole tvorené 24 pôdnymi sondami na tak rozsiahlom území nemôže byť dostatočne reprezentatívne. Nie všetky strany trojuholníkov nepravidelnej ľubovoľne vytvorenej trojuholníkovej siete s vrcholmi trojuholníkov identickými s bodmi tohto bodového poľa totiž v depresných a vyvýšených častiach územia rešpektujú

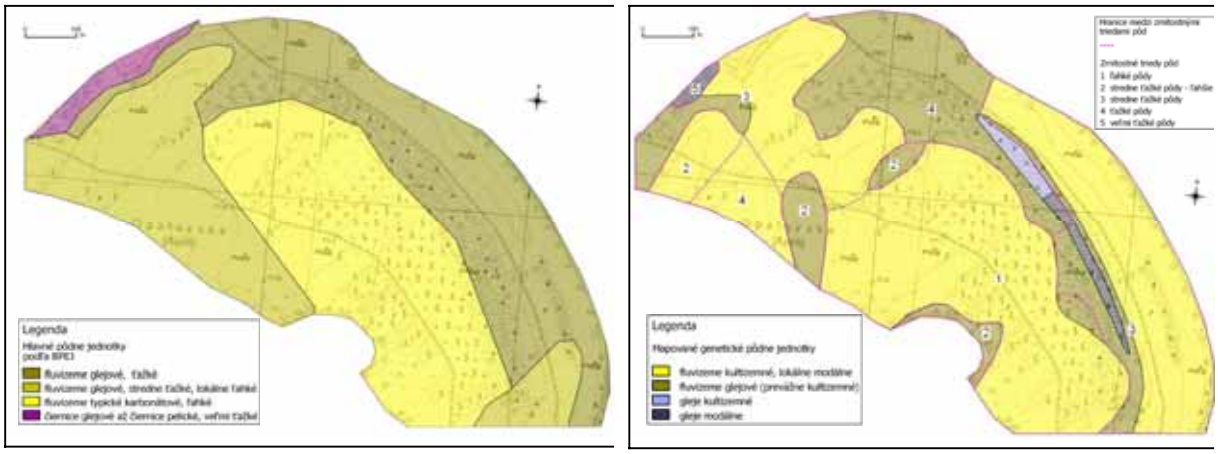
priebeh čiar kostry terénu. Tento nedostatok by sa dal odstrániť len doplnením diskrétneho bodového poľa ďalšími pôdnymi sondami. To však v podmienkach akéhokoľvek účelového pôdneho mapovania vytvára ďalšie nároky na časové a materiálne zabezpečenie, čo býva najčastejší obmedzujúci faktor pri mapovaní rozsiahlejších území. Z tohto dôvodu sme zvolili cestu doplnenia diskrétneho bodového poľa na chrbátniciach a údolniciach mapovaného územia (obr. 3) niekoľkými bodmi, u ktorých predpokladáme, že charakteristiky nimi lokalizovaných pôd sú podobné zisteným charakteristikám reálnych susedných pôdnych sond ležiacich na tej istej čiare kostry terénu. Vznikla tak nová trojuholníková sieť, ktorú sme použili ako osnovu pre vytýčenie predpokladaných hraníc medzi jednotlivými pôdnymi jednotkami mapovaného územia.



Obr. 3 Hustota spádnic (najmenšia v oblastiach priebehu chrbátnic – najsvetlejšia farba a najväčšia v oblastiach priebehu údolníc – tmavomodrá farba) a trojuholníková sieť s vrcholmi trojuholníkov v miestach reálnych a doplnených pôdnych sond.

4.3 PÔDNA POKRÝVKA MAPOVANÉHO ÚZEMIA

Keďže celé mapované územie bolo až do kompletizácie hrádzí začiatkom 19. storočia súčasťou inundačnej zóny Dunaja, je tvorené jeho aluviálnymi nánosmi a vyvinuli sa tu prevažne karbonátové fluvizeme. Na nánosovej lavici vo vnútri zákruty meandra sa nachádzajú nánosy rôznej zrnitosti s klasickou vertikálnou stratigrafiou nánosovej brehovej fácie, vyznačujúcej sa postupným ukladaním stále jemnejších sedimentov. Táto stratigrafia je však v južnej a v centrálnej časti záujmového územia narušená v dôsledku pretrhnutia hlavnej hrádze Dunaja koncom 19. storočia.



Obr. 4 Pôdne jednotky podľa BPEJ (vľavo) a detailná pôdna mapa (vpravo)

K prietrži hrádze, oslabenej predchádzajúcimi vysokými vodami v rokoch 1888, 1892 a 1893 (Gyulai, 1896), došlo podľa miestnych kroník v roku 1895 (Krátka história obce Medveďov). Podobne ako pri Čičove počas povodne v júni roku 1965 (Horný, 1995), aj tu po prietrži hrádze došlo k intenzívnemu vymývaniu štrkopieskového podložia a k rozsiahlemu prieniku záplavových vôd do vnútra Žitného ostrova. Výsledkom bol vznik tzv. Opatovského jazierka (maď. „*Apáti Gödör*"; v súčasnosti prírodná rezervácia s výmerou chráneného územia 2,36 ha), ale aj nanesenie jazykovitých nánosov pieskov až hlín, radiálne sa rozširujúcich od miesta prietrže, ktoré sú dobre identifikovateľné aj na 3D modeli reliéfu. Tieto polohy vo vnútri územia, ohraničeného paleomeandrom, sa odvtedy využívajú ako vinohrady.

Z pôdnych typov v území podľa našich zistení v súčasnosti dominujú karbonátové fluvizeme kultizemné. Vyznačujú sa charakteristickým sledom horizontov, kde pod oraným Akpc horizontom nastupuje dominantný CGroc redukčno-oxidačný horizont (prípadne aj cez prechodný A/C horizont). Príkladom je pôda, reprezentovaná sondou 11 (obr. 5). Pre jej umiestnenie bola vybraná sedlová časť reliéfu. Uvádzame zjednodušený popis pôdnej sondy 11.

Pôdna sonda 11

Medveďov, Opatovské, orná pôda, medzi výsadbami kukurice a obilnín, popis dňa 17.6.2010, hladina podzemnej vody v hĺbke 75 cm.

Horizont	Hĺbka (cm)	Morfologické vlastnosti
Akpc	0 – 34	navlhlá, súdržná, hlinito-piesočnatá, drobnohrudkovitá štruktúra, ojedinelé jemné korene, zreteľný zvlnený prechod do
C_1Groc	34 – 48	navlhlá, uľahnutá, hlinitá, malé, difúzne, slabo kontrastné hrdzavé škvrny okolo 20 %, sivé okolo 20 %, ostrý, rovný prechod do
C_2(Gr)c	48 – 50	vlhký sivý hlinitý piesok – sediment povodňovej udalosti, farba 5Y 5/2, elementárna štruktúra, postupný prechod do
C_3Groc	50 – 100	mokrá piesočnatá hlina, hrdzavé škvrny 30 %, sivé 15 %; v hĺbke 53-55 cm nezreteľná vrstvička sivého hlinitého piesku (povodňový sediment).

Pokiaľ ide o výskyt fluvizemí glejových, napriek tomu, že v čase extrémnych zrážok v júni tohto roka sa hladina podzemnej vody na lokalite vo väčšine prípadov pohybovala vyššie ako zvyčajne, v hĺbke do 1,2 m pod povrchom pôdy, nástup glejového Gr-horizontu v hĺbke do 1 m sme zistili len ojedinele, v južnejších častiach územia len v dnových častiach depresií. Zo študovaných pedónov sa preto vymykala pôda, reprezentovaná sondou 15 (obr. 5). Pedón sa vyznačoval nástupom charakteristického Gr-horizontu s rozsahom sivej farby v pôdnej matrici nad 90 % (cf. Kolektív, 2000) už v hĺbke 43 cm, išlo by teda o charakteristický glej kultizemný. Predpokladáme však, že aj v tomto prípade ide už o znaky redukčných procesov z minulosti (fosílne resp. subrecentné znaky). Pre súčasné pomery je totiž nepochybne rozhodujúca skôr priemerná úroveň hladiny podzemných vôd. A keďže hladina podzemnej vody aj v období kulminácie zrážok v júni 2010 sa nachádzala až v hĺbke 95 cm, dnešné pomery zodpovedajú skôr suchšiemu taxónu fluvizem glejová, kultizemná. O dobrej drenáži pôdy svedčí aj skutočnosť, že stanovište je dlhodobo využívané ako orná pôda. Uvádzame zjednodušený popis pôdnej sondy 15.

Pôdna sonda 15

Medveďov, Opatovské, orná pôda, rastlinný kryt: výsadba kukurice, popis dňa 17.6.2010. Hladina podzemnej vody v hĺbke 95 cm.

Horizont	Hĺbka (cm)	Morfologické vlastnosti
Akpc	0 – 24	navlhlý, kyprý, piesočnatý, zrnitá štruktúra, farba 2,5 Y 3/2, zreteľný, zvlnený prechod do
CGorc	24 – 43	navlhlý, súdržný, hlinitý, drobnohrudkovitá štruktúra, 70 % sivej farby; 30 % slabo kontrastných, zreteľných, stredne veľkých hrdzavých škvŕn, zreteľný, jazykovitý prechod do
Grc	43 – 100	sivý mokrý piesok (v dolnej časti opadáva do sondy), farba 2,5 Y 5/2, elementárna štruktúra, obsah slabo kontrastných hrdzavých škvŕn do 10 %.

Obr. 5 Ukážky profilov dvoch vybraných pôd mapovaného územia: vľavo fluvizem kultizemná, sonda 11 – v hĺbkach 48 – 50 cm a 53 – 55 cm sú badateľné sivé vrstvy piesčitých hlín po dvoch povodňových udalostiach; vpravo obrábaná pôda (sonda 15) s veľmi dobre zachovaným Gr-horizontom, nastupujúcim v hĺbke 43 cm, ide o pôvodný glej modálny; v súčasnosti už pôdny typ zodpovedá suchšiemu taxónu fluvizem glejová, kultizemná

Samozrejme, iná situácia je v dnových častiach bývalého meandra, kde okrem glejových fluvizemí, v jeho najhlbších miestach sa stále nachádzajú, v závislosti od využitia územia, aj modálne a kultizemné glejové pôdy. Výskyt týchto pôd je dnes obmedzený na malý areál dnovej depresie meandra, zarastenej tŕstím pri štátnej ceste v západnej časti územia a na úzky pás dna meandra v severovýchodnej časti územia. Ten sa rozširuje vo svojej severnej oranej časti vďaka oraním narušenému priebehu už neudržiavaného odvodňovacieho rigola, pokračujúceho zalesnenou časťou meandra, kde v rámci sondy 18 bol popísaný pedón reprezentujúci modálny glej s dobre vyvinutým humolitovým horizontom.

4.4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri tvorbe DMR z bodových polí získaných z vrstevníc topografických máp, predovšetkým v prípade jeho použitia pri modelovaní povrchového odtoku, pri ktorom je veľmi dôležité poznanie priebehu kostry terénu, je potrebné doplniť výškopisnú informáciu nad rámec týchto máp (Cebecauer a kol.). O to viac to platí v prípade nížinného alebo fluviálneho reliéfu s nevýraznou disekciou. V tomto prípade nejde ani tak o absolútnu presnosť nadmorských výšok, priraďovaných dopĺňaným bodom výškového bodového poľa, ale o ich schopnosť v danom mieste výškového poľa predpísať trend pre aproximačnú, resp. interpolačnú funkciu použitú pri tvorbe DMR. Takto chápaná reprezentatívnosť diskrétneho bodového poľa výšok je dosiahnuteľná len na základe poznania správania sa týchto funkcií a zohľadnenia tohto správania pri vytváraní bodového poľa.

Tvorbe DMR je preto potrebné venovať náležitú pozornosť. Nie vždy postačí spoľahnúť sa na získané výškopisné údaje a školácku aplikáciu programového vybavenia. Vynaložená námaha sa vráti v podobe DMR schopného generovať morfometrické parametre reliéfu s presnosťou potrebnou pre danú aplikáciu. Očakávaný vyšší stupeň zložitosti mapovanej detailnej diferenciácie pôdnej pokrývky, pri aplikácii uvedených postupov a množstve pôdnych sond, oproti zložitosti pôdnej pokrývky zachytenej v mapových výstupoch z KPP nie je príliš výrazný (obr. 4). Príčinu je treba hľadať vo veľmi malom prevýšení územia neprekračujúcom hranicu 1,5 m. Toto malé prevýšenie je nevyhnutnou, avšak nie dostačujúcou podmienkou určujúcou vývoj pôd v danom území, ktorý sa

odráža v dosiahnutom stupni zložitosti pôdnej pokrývky. Nevyhnutné je spolupôsobenie ďalších špecifických pôdotvorných faktorov.

Domnievame sa, že v súčasnosti je sukcesné štádium fluvizemí ovplyvňované hlavne poklesom hladiny podzemnej vody. V dôsledku postupného znižovania prísunu splavenín z vyššie položeného úseku Dunaja a následného zahlbovania koryta Dunaja, sa v období rokov 1962 – 1991 aj v tejto oblasti prejavil trend poklesu hladín podzemných vôd v rozpätí od 0,8 do1,2 m (Hlavatý, Banský 2006). V dôsledku toho sa vrchné časti Gr-horizontov pôvodných glejov a glejových fluvizemí postupne pretransformovali na dnešné Gor až Gro-horizonty v zóne kapilárnej obruby podzemných vôd. Toto tvrdenie môže podporiť pedón reprezentovaný pôdnou sondou 15. V severnej, ale i v západnej a východnej časti mapovaného územia sa dlhodobo aplikuje hlboká orba obvyklá pri obrábaní ťažších pôd. Tá sa prejavuje zvyšovaním mocnosti povrchového horizontu a možnou zmenou jeho vlastností spôsobenou intenzívnym premiešavaním pôdnych častíc do väčších hĺbok. Strata jemnejšej pôdnej frakcie v povrchovom horizonte pri našich zisteniach v týchto oblastiach (i keď neboli použité fyzikálne metódy na stanovenie zrnitosti) oproti zisteniam KPP sa dá čiastočne vysvetliť aplikovaním uvedenej agrotechniky. V centrálnej časti, kde prevládajú poľnohospodársky využívané malé parcely so striedaním ornej pôdy, vinohradov a sadov, ani v južnej časti územia tento trend nie je taký výrazný. Tento fakt vo vzťahu k nášmu tvrdeniu však treba interpretovať s určitou dávkou neurčitosti, keďže v centrálnej časti územia prevládali už predtým ľahké pôdy.

4.5 ZÁVER

Detailná diferenciácia pôdnej pokrývky v územiach tvorených aluviálnymi nánosmi citlivo reaguje na vzdialenosť hladiny podzemnej vody od povrchu pôdy. V závislosti od hĺbky hladiny podzemnej vody sa v týchto oblastiach vyskytujú rôzne typy čiernic, fluvizemí a glejových pôd. Fluviálny reliéf je charakteristický rýchlym striedaním konkávnych, t.j. depresných a konvexných, t.j. vyvýšených geometrických foriem. Zohľadnenie rozmiestnenia týchto foriem je dôležité i pri rozvrhnutí pôdnych sond, na základe ktorých je možné pri mapovaní pôd zachytiť ich detailnú priestorovú diferenciáciu.

V príspevku sú uvádzané výsledky pôdneho mapovania územia Opatovského paleomeandra Dunaja, zohľadňujúceho vplyv geometrických foriem reliéfu na diferenciáciu pôdnej pokrývky. I keď dosiahnuté výsledky sú porovnávané s mapovými výstupmi z KPP a existujú určité rozdiely medzi nimi, autori si neželajú, aby príspevok bol chápaný ako kritika KPP. Skôr naopak, sú náchylní konštatovať, že dosiahnuté výsledky, odhliadnuc od časových zmien vo vývoji pôd mapovaného územia a rôznych úrovní mapovania, sú si až na niekoľko výnimiek, napr. malý areál v rámci KPP mapovaných čiernic v severovýchodnej časti územia, veľmi blízke.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu č. 1/0362/09, podporovaného Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA). Terénne práce sa uskutočnili v rámci cvičení študentov Prírodovedeckej fakulty, ktorým taktiež patrí naša vďaka.

Literatúra

CEBECAUER T., HOFIERKA J., ŠÚRI M. *Vplyv kvality údajov na modelovanie povrchového toku vody*. Dostupné na internete http://www.geomodel.sk/vyskum/dmr/model-kvalita_dat.pdf

ČURLÍK J., ŠURINA B. 1998. *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd.* VÚPOP, Bratislava, 134 s.

GYULAI R. 1896. *Az Alsó-csallóközi és Csilizközi Egyesült Ármentesítő és Alsó-csallóközi Belvízlevezető Társulat története.* Bratislava (Kalligram), reedícia 2003, 585 s.

HLAVATÝ Z., BANSKÝ Ľ. 2006. Ground water levels and soil moisture. In: Mucha I., Lisický M.J.L. (Eds.): *Slovak-Hungarian Environmental monitoring on the Danube*. Ground Water Consulting Ltd., Bratislava, 85-88.

HORNÝ P. 1995. Čičovská prietrž a organizácia práce pri uzatváraní. *Vodohospodársky spravodajca,* 38 (6): 12-14.

Krátka história obce Medveďov. Dostupné na internete http://www.medvedov.sk/hu/tortenelem

LINKEŠ V., PESTÚN V., DŽATKO M. 1996. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek.* Tretie upravené vydanie. VÚPU, Bratislava, 103 s.

MARSINA R. 1987. *Codex diplomaticus et epistoralis Slovaciae* 2. Obzor, Bratislava.

KOLEKTÍV 2000. Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 74 s.

5. VYHODNOCENÍ SORPCÍ VYBRANÝCH PESTICIDŮ V PŮDÁCH ČR A JEJICH APLIKACE PRO KONSTRUKCI MAP SPECIFICKÉ ZRANITELNOSTI POZEMNÍCH VOD

5 Evaluation of selected pesticides sorption in soils of Czech Republic and their application for groundwater vulnerability maps compilation

Radka Kodešová, Martin Kočárek, Vít Kodeš, Lukáš Brodský, Ondřej Drábek, Josef Kozák*

ABSTRAKT
Studie byla zaměřena na vyhodnocení možné kontaminace podzemních vod pesticidy, které jsou běžně užívány v zemědělství. Pro 11 vybraných pesticidů a 13 reprezentativních půd ČR byly provedeny sorpční testy. Adsorpční izotermy byly vyjádřeny Freundlichovou rovnicí. Pomocí vícenásobné lineární regrese byly předpovězeny Freundlichovy adsorpční koeficienty z měřených půdních vlastností. Vyhodnocené funkce a půdní mapa ČR byly využity pro konstrukci map adsorpčních koeficientů. Tyto mapy byly dále aplikovány při hodnocení zranitelnosti podzemních pod pesticidy modifikovanou metodou DRASTIC. Rovněž byly vytvořeny mapy pravděpodobné aplikace studovaných pesticidů pomocí prostředků DPZ.Výsledné mapy zranitelnosti podzemních vod a mapy pravděpodobné aplikace pesticidů budou využity při optimalizaci monitoringu kvality podzemních vod, který na území ČR provádí Český hydrometeorologický ústav.
Klíčová slova: pesticidy, sorpce, pedotransferová pravidla, databáze půdních vlastností, zranitelnost podzemních vod

ABSTRACT
Study was focused on the evaluation of possible groundwater contamination caused by pesticides commonly used in agriculture. Batch sorption tests were performed for 11 selected pesticides and 13 representative soils of the Czech Republic. The Freundlich equations were used to describe adsorption isotherms. Multiple-linear regressions were used to predict the Freundlich adsorption coefficients from measured soil properties. Resulting functions and a soil map of the Czech Republic were used to generate maps of the adsorption coefficients. These maps were considered when evaluating pesticides groundwater vulnerability using modified DRASTIC methodology. The maps of probable pesticides application were also evaluated using remote sensing. Resulting groundwater vulnerability maps and maps of probable pesticides application will be used for optimizing groundwater quality monitoring, which is carried out by the Czech Hydrometeorological Institute.
Key words: pesticides, sorption, pedotransfer rules, soil properties database, groundwater vulnerability

5.1 ÚVOD

Jedním z velmi důležitých úkolů v oblasti mapování půd je vytvoření databází vlastností charakterizujících transport kontaminantů v půdě, které jsou provázány s půdními mapami. Pesticidy, které jsou široce používány v zemědělství jsou významnými kontaminanty podzemních vod. Databáze vlastností popisujících chování pesticidních látek v půdním prostředí jsou proto velmi potřebné podklady nejen pro predikci zranitelnosti podzemních vod těmito látkami ale i při řízení nakládání s těmito látkami ve zranitelných oblastech.

Důležitou charakteristikou pesticidů je jejich sorbce na půdní částice. Jak bylo ukázáno v řadě studií, sorpce organických látek závisí na fyzikálněchemických vlastnostech sorbentu, jako je pH, kationtová výměnná kapacita, plocha povrchu sorbentu atd. (Delle Sita, 2001). Obyčejně se předpokládá, že největší vliv na sorpci má organická hmota. Proto je často sorpce daného pesticidu hodnocena jen pomocí distribučního koeficientu K_D, který je vypočítán jako násobek frakce organického uhlíku v půdě a distribučního koeficientu K_{oc} (který vyjadřuje adsorpci látky na organický

* doc. Ing. Radka Kodešová, CSc., Ing. Martin Kočárek, PhD., Ing. Vít Kodeš, Ing. Lukáš Brodský, PhD., Ing. Ondřej Drábek, PhD., prof. Ing. Josef Kozák, DrSc., Katedra pedologie a ochrany půd FAPPZ, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha 6, ČR, e-mail: kodesova@af.czu.scz

uhlík) (Jorgensen *et al.*, 2001). Sorpce je však ovlivněna řadou dalších faktorů. Několik různých vztahů pro výpočet koeficientu K_D na základě znalosti obsahu organického uhlíku a pH uvádí Richter *et al.* (1996). Kozák a Vacek (1996, 2000) využili vícenásobnou lineární regresi a vyhodnotili vztah mezi koeficientem K_D a obsahem organické hmoty, pH, obsahem jílu a kationtovou výměnnou kapacitou. Kah a Brown (2007) ukázali, že sorpce kyselých a zásaditých pesticidů v půdě se významně liší. Jejich chování navíc závisí na disociační konstantě daného pesticidu (Hornsby *et al.*, 1996).

Cílem této studie bylo vyhodnotit parametry charakterizující schopnost různých půdních typů adsorbovat vybrané pesticidy. Pesticidy byly vybrány tak, aby nejen pokryly rozdílný charakter pesticidů, ale i rozdílný potenciál ohrožení podzemních vod těmito látkami. Dalším úkolem pak bylo popsat vztah mezi těmito parametry a běžnými půdními fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Vyhodnocené vztahy sloužily pro odhad adsorpčních vlastností půd ČR. Výsledné mapy pak byly užity při konstrukci map specifické zranitelnosti podzemních vod ČR pro studované pesticidy pomocí modifikované metody DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). Do analýzy byly rovněž zahrnuty mapy pravděpodobné aplikace studovaných pesticidů, které byly vypracovány na základě distribuce zemědělských plodin vyhodnocených pomocí prostředků DPZ.

5.2 MATERIÁL A METODY

Pro 13 půdních vzorků byly změřeny a vyhodnoceny adsorpční izotermy 11 pesticidů. Půdy byly vybrány tak, aby vystihly variabilitu půdních vlastností zemědělsky využívaných půd na území ČR. Půdy byly detailně analyzovány. Byly vyhodnoceny tyto vlastnosti: pH_{KCl}, pH_{H2O}, výměnná acidita, kationtová výměnná kapacita (KVK), hydrolitická acidita, nasycenost bazickými kationty, nasycenost sorpčního komplexu, obsahu organické hmoty, obsah $CaCO_3$, salinita, specifická hmotnost půdních částic a zrnitost. Podrobný popis zkoumaných půd byl prezentován Rohoškovou a kol. (2007). Zde jsou uvedeny pouze ty vlastnosti, které rovněž obsahuje půdní informační systém PUGIS (Kozák a kol., 1996) a byly tedy dále využity při tvorbě map parametrů popisujících sorpci studovaných pesticidů v půdách ČR.

Tab. 1 Půdní typy použité pro experimenty a jejich půdní vlastnosti, na kterých byla sledována závislost sorpce pesticidů (Rohošková *et. al.*, 2007).

Číslo	Půda	Lokalita	OH (%)	pH_{KCl} (-)	KVK (mmol+ kg^{-1})	Jíl (%)
1	Černice modální	Milčice	5,03	7,43	403,8	15,8
2	Černozem modální	Ivanovice na Hané	3,05	6,28	271,3	11,4
3	Černozem modální	Praha Suchdol	3,47	7,21	263,8	19,3
4	Černozem arenická	Velké Chvalovice	1,59	6,94	141,3	6,4
5	Šedozem modální	Čáslav	2,33	6,53	297,5	13,4
6	Hnědozem modální	Hněvčeves	1,78	5,63	240,0	13,9
7	Kambizem modální	Humpolec	2,82	4,37	260,0	9,9
8	Kambizem modální	Předbořice	2,95	5,03	228,8	4,8
9	Kambizem modální	Jince	2,78	4,99	236,3	20,3
10	Kambizem dystrická	Vysoké nad Jizerou	3,99	4,79	284,2	16,9
11	Regozem modální	Semice	1,14	5,74	91,3	3,5
12	spraš	Praha Suchdol	0,76	7,4	241,3	24,5
13	písek	Písková Lhota	0,04	8,11	56,3	3,3

Na těchto půdních vzorcích byly standardní metodou stanoveny body adsorpčních izoterem pro vybrané pesticidy: terbuthylazin, prometryn, metribuzin, hexazinon, metolachlor, chlorotoluron, trifluralin, azoxystrobin, fipronil, thiacloprid, chlormequat chloride. Pesticidy byly vybrány tak, aby zastupovali jednotlivé definované skupiny pesticidů. Rozdělení bylo provedeno na základě rozpustnosti pesticidů ve vodě a koeficientu GUS (*Groundwater Ubiquity Score*) (Gustafson, 1989) tak, aby vystihovalo rozdílné potenciální nebezpečí kontaminace podzemních vod pesticidy. Pro všechny pesticidy bylo pro vyhodnocení adsorpčních izoterem použito vždy 5 roztoků o různé počáteční koncentraci. Pokusy byly provedeny vždy ve 3 opakováních následujícím způsobem. K 10 g

zeminy bylo přidáno 20 ml roztoku. Suspenze byla 24 hodin třepána, následně odstředěna a byla stanovena konečná koncentrace látky v roztoku. Koncentrace látky nasorbované na půdních částicích byla vypočítána bilančně na základě znalosti počáteční a konečné koncentrace látky v roztoku. Pro měření koncentrací studovaných látek v roztoku byla použita metoda HPLC (terbuthylazin, prometryn, metribuzin, hexazinon, metolachlor, chlorotoluron, azoxystrobin, fipronil, thiacloprid), HPLC/MS (chlormequat chloride) a GC-ECD (trifluralin). Výsledné body adsorpčních izoterem byly proloženy Freundlichovou analytickou funkcí:

$$s = K_F c^{\frac{1}{n}} \tag{1}$$

kde s je koncentrace nasorbovaná na pevné fázi (vypočtená bilančně), c je koncentrace v půdním roztoku (konečná koncentrace), K_F a n , jsou parametry adsorpční izotermy.

Aby mohla být definována pedotransferová pravidla a mapy charakterizující rozdílné sorpční vlastnosti půd ČR, byly adsorpční izotermy vyjádřeny také následujícím způsobem. Z výsledných hodnot parametrů n byly pro každý pesticid vypočteny průměrné hodnoty n. Freundlichova rovnice pak byla opět použita pro proložení měřených bodů adsorpčních izoterem a vyhodnocení parametru K_F při konstantní hodnotě n. Pomocí regresní analýzy pak byla pro jednotlivé pesticidy vyhodnocena pedotransferová pravidla (Kozák a Vacek, 1996, 2000) pro odhad parametrů K_F při konstantní hodnotě parametru n, která vyjadřují vztah parametru K_F a půdních charakteristik: obsahu organické hmoty (OH), pH_{KCl}, KVK a obsahu jílu.

$$Y = b_0 + b_1 OH) + b_2 (pH_{KCl}) + b_3 (KVK) + b_4 (jíl) \tag{2}$$

kde b_0, b_1, b_2, b_3 a b_4, jsou regresní koeficienty. Následně byly rovněž vyhodnoceny regresní vztahy pro všechny naměřené půdní vlastnosti.

Na základě stanovených regresních vztahů (t.j. pedotransferových pravidel), půdního informačního systému PUGIS (Kozák a kol., 1996) a půdní mapy ČR (Němeček a kol., 2001) byly vytvořeny tématické mapy parametru K_F na území ČR jako jednoho z parametrů ovlivňujících chování studovaných pesticidů v půdě. Výsledné mapy pak byly užity při konstrukci map specifické zranitelnosti podzemních vod ČR pro studované pesticidy pomocí modifikované metody DRASTIC (Aller *et al.,*1987). Tato metoda standardně zohledňuje pouze hydrologické, obecné půdní a hydrogeologické podmínky a jejím výsledkem jsou obecné mapy zranitelnosti podzemních vod, které nezahrnují specifické chování pesticidních látek v půdním prostředí a předpokládají konzervativní transport látek půdním prostředím neovlivněný sorpcí. K vytvoření map byl použit software ArcGIS a jeho nástroje pro gridovou analýzu a mapovou algebru. Rovněž byly vyhodnoceny mapy pravděpodobné aplikace studovaných pesticidů pomocí prostředků DPZ. Pro konstrukci byly užity snímky ESA Envisat MERIS FR a IRS AWiFS. Pomocí těchto multitemporálních snímků bylo vyhodnoceno rozložení plodin na zemědělské půdě v tříletém období mezi roky 2007 a 2009. Dále bylo vyhodnoceno procentuální zastoupení definovaných skupin plodin v jednotlivých buňkách gridu 1x1 km za dané období. Pravděpodobnost distribuce pesticidů na území ČR pak byla vyhodnocena na základě vazby mezi jednotlivými pesticidy a plodinami, na které se aplikují. Předpokladem bylo, že existuje přímo úměrný vztah mezi dlouhodobě prokázaným výskytem plodiny a aplikací pesticidů na danou plodinu používaných. V oblastech, kde se klasifikované plodiny vyskytují na velkém procentu plochy území je i větší pravděpodobnost použití pesticidů, které se na danou plodinu aplikují. Velmi vysoká pravděpodobnost aplikace daného pesticidu byla stanovena tam, kde se v buňce gridu v analyzovaném období vyskytly příslušné plodiny na ploše větší než 80% celkové výměry orné půdy v buňce. Naopak velmi nízká pravděpodobnost byla stanovena tam, kde se v buňce gridu v analyzovaném období vyskytly příslušné plodiny na ploše menší než 20 % celkové výměry orné půdy. Ostatní kategorie pravděpodobnosti byly stanoveny pro výskyty příslušných plodin na 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80% celkové výměry orné půdy. K vytvoření map byl opět užit program ArcGIS a funkce pro agregaci atributových dat v rámci jednotlivých buněk gridu.

5.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledné parametry KF při konstantní hodnotě parametru n (rovnice 1) jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Parametry KF (cm3/n µg1-1/n g-1) Freundlichovy izotermy zjištěné pro jednotlivé půdy a pesticidy

Číslo	Terbuthylazin n = 1.21	Prometryn n = 1.17	Metribuzin n= 1.31	Hexazinon n =1.64	Metolachlor n=1.06	Chlorotoluron n = 1.20
1	4,78	6,51	1,31	0,74	4,12	11,89
2	3,12	4,14	0,90	1,05	2,51	4,07
3	3,53	4,27	1,03	0,31	2,72	4,64
4	2,51	2,54	0,42	0,69	1,38	2,17
5	2,95	3,67	0,78	0,74	1,94	3,34
6	2,91	3,88	0,64	0,76	1,90	2,71
7	3,47	5,78	0,81	0,40	3,49	3,73
8	4,79	8,03	2,52	1,33	3,37	4,41
9	3,97	6,92	1,96	0,15	2,88	3,91
10	6,35	11,38	1,55	0,59	6,10	7,50
11	2,70	3,87	0,36	0,64	2,43	2,19
12	0,91	1,08	0,17	0,44	0,77	0,85
13	1,21	1,20	0,09	0,98	0,30	0,46
Číslo	**Trifluralin n =1**	**Azoxystrobin n =1**	**Fipronil n =1.54**	**Thiacloprid. n =1.30**	**Chlormequat chlorid n =1**	
1	-	18,50	10,60	9,96	9,88	
2	413,12	10,36	6,31	6,74	10,51	
	423,98	11,51	4,97	8,25	8,96	
4	263,91	6,05	3,92	3,28	4,49	
5	345,13	7,00	5,87	4,76	7,15	
6	356,24	11,55	3,99	4,20	7,07	
7	641,52	9,09	5,54	4,52	6,50	
8	537,54	10,71	6,63	5,44	4,12	
9	709,42	8,75	5,64	4,56	5,30	
10	743,30	16,17	8,23	8,45	4,31	
11	338,11	4,92	4,92	2,33	2,20	
12	179,72	7,35	2,38	1,15	9,80	
13	126,98	2,36	2,30	0,25	2,21	

Tab. 3 Pedotransferová pravidla pro předpověď koeficientu K_F ($cm^{3/n}$ $\mu g^{1-1/n}$ g^{-1}) pro zkoumané pesticidy vyjádřená podle Kozáka a Vacka (1996, 2000): obsah organické hmoty (OH) (%), pH_{KCl}, kationtova výměnná kapacita (KVK) (mmol+ kg^{-1}) a obsah jílu (%)

Pesticid	Regresní rovnice	R^2	p
Terbuthylazin	K_F = 4.36 + 1.16 OH - 0.38 pH_{KCl} - 0.0064 KVK	0.893	0.0001
Prometryn	K_F = 9.51 + 1.24 OH - 1.24 pH_{KCl}	0.804	0.0003
Metribuzin	K_F = 1.74 + 0.28 OH - 0.24 pH_{KCl}	0.588	0.0118
Hexazinon	K_F = 0.83 - 0.119 OH + 0.0033 KVK - 0.050 jíl	0.576	0.0441
Metolachlor	K_F = 3.76 + 0.79 OH - 0.50 pH_{KCl}	0.837	0.0001
Chlorotoluron	K_F = -0.91 + 2.01 OH	0.856	0.0000
Trifluralin	K_F = 839.7 + 80.6 OH – 97.9 pH_{KCl}	0.904	0.0000
Azoxystrobin	K_F = 2.51 + 2.89 OH	0.812	0.0001
Fipronil	K_F = 2.40 + 1.62 OH - 0.070 jíl	0.883	0.0000
Thiacloprid	K_F = -1.92 + 2.11 OH + 0.273 pH_{KCl}	0.957	0.0000
Chlormequat chlorid	K_F = -4.168 - 0.957 OH + 0.693 pH_{KCl} + 0.037 KVK	0.752	0.0044

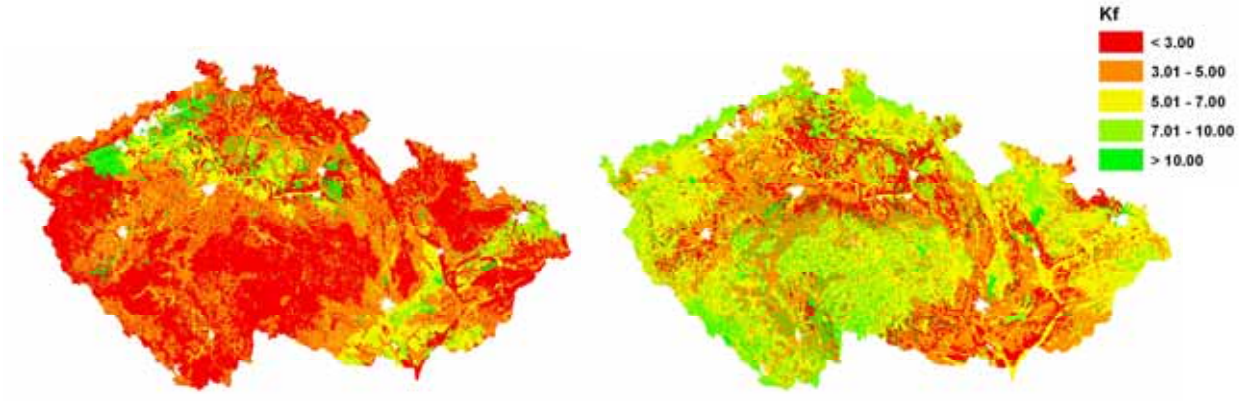
Protože se vliv některých vlastností ukázal jako statisticky nevýznamný, byly z regrese vypuštěny. Regresní rovnice pro rozšířený soubor půdních vlastností jsou ukázány v tab. 4. Pro trifluralin, azoxystrobin a fipronil nebyly nové vztahy statisticky potvrzeny

Pomocí vícenásobné lineární regrese bylo zjištěno, že Freundlichův koeficient K_F (koeficient vystupující v rovnici popisující adsorpční izotermu) závisí: a) na obsahu organické hmoty (OH), pH_{KCL} a kationtové výměnné kapacitě (KVK), nebo na OH, nasycenosti sorpčního komplexu (V) a salinitě (pro terbuthylazin), b) na OH a pH_{KCL}, nebo na OH, V a salinitě (pro prometryn), c) na OH a pH_{KCL}, nebo na OH a ř $_z$ (pro metribuzin), d) na OH, KVK a obsahu jílu, nebo na obsahu jílu, KVK a salinitě (pro hexazinone), e) na OH a pH_{KCL}, nebo na OH a V (pro metolachlor), f) na OH nebo na OH a $CaCO_3$ (pro chlorotoluron), g) na OH (pro azoxystrobin), h) na OH a pH_{KCL} (pro trifluralin), i) na OH a obsahu jílu (pro fipronil), j) na OH a pH_{KCL}, nebo OH, pH_{KCL} a $CaCO_3$ (pro thiacloprid), k) na OH, pH_{KCL} a KVK, nebo obsahu písku, pH_{KCL} a salinitě (pro chlormequat chlorid).

Tab. 4 Pedotransferová pravidla pro předpověď koeficientu K_F ($cm^{3/n}$ $\mu g^{1-1/n}$ g^{-1}) pro zkoumané pesticidy vyjádřená pro rozšířený soubor půdních vlastností: obsah organické hmoty (OH) (%), pH_{KCl}, kationtova výměnná kapacita (KVK) (mmol+ kg^{-1}) a obsah jílu (%), salinita (μS cm^{-1}), specifická hmotnost půdních částic (ρ_z) (g cm^{-3}), nasycenost sorpčního komplexu (V) (%), obsah $CaCO_3$ (%), obsah písku (%)

Pesticid	Regresní rovnice	R^2	p
Terbuthylazin	K_F = 5.00 + 1.21 OH - 0.46 pH_{KCl} - 0.0095 salinita - 0.0060 KVK	0.956	0.0000
	K_F = 19.15 + 0.92 OH - 0.19 V - 0.0075 salinita	0.972	0.0000
Prometryn	K_F = 48.77 + 1.54 OH - 0.50 V - 0.0159 salinita	0.983	0.0000
Metribuzin	K_F = -7.41 + 0.49 OH + 2.81 ř $_z$	0.789	0.0004
Hexazinone	K_F = 0.95 - 0.054 jíl + 0.0025 KVK - 0.0044 salinita	0.772	0.0030
Metolachlor	K_F = 19.91 + 0.85 OH - 0.20 V	0.933	0.0000
Chlorotoluron	K_F = -0.68 + 1.74 OH + 0.11 $CaCO_3$	0.924	0.0000
Thiacloprid	K_F = -4.57 + 2.39 OH + 0.636 pH_{KCl} - 0.075 $CaCO_3$	0.973	0.0000
Chlormequat chlorid	K_F = 1.81 - 0.083 písek + 1.100 pH_{KCl} + 0.0289 salinita	0.869	0.0003

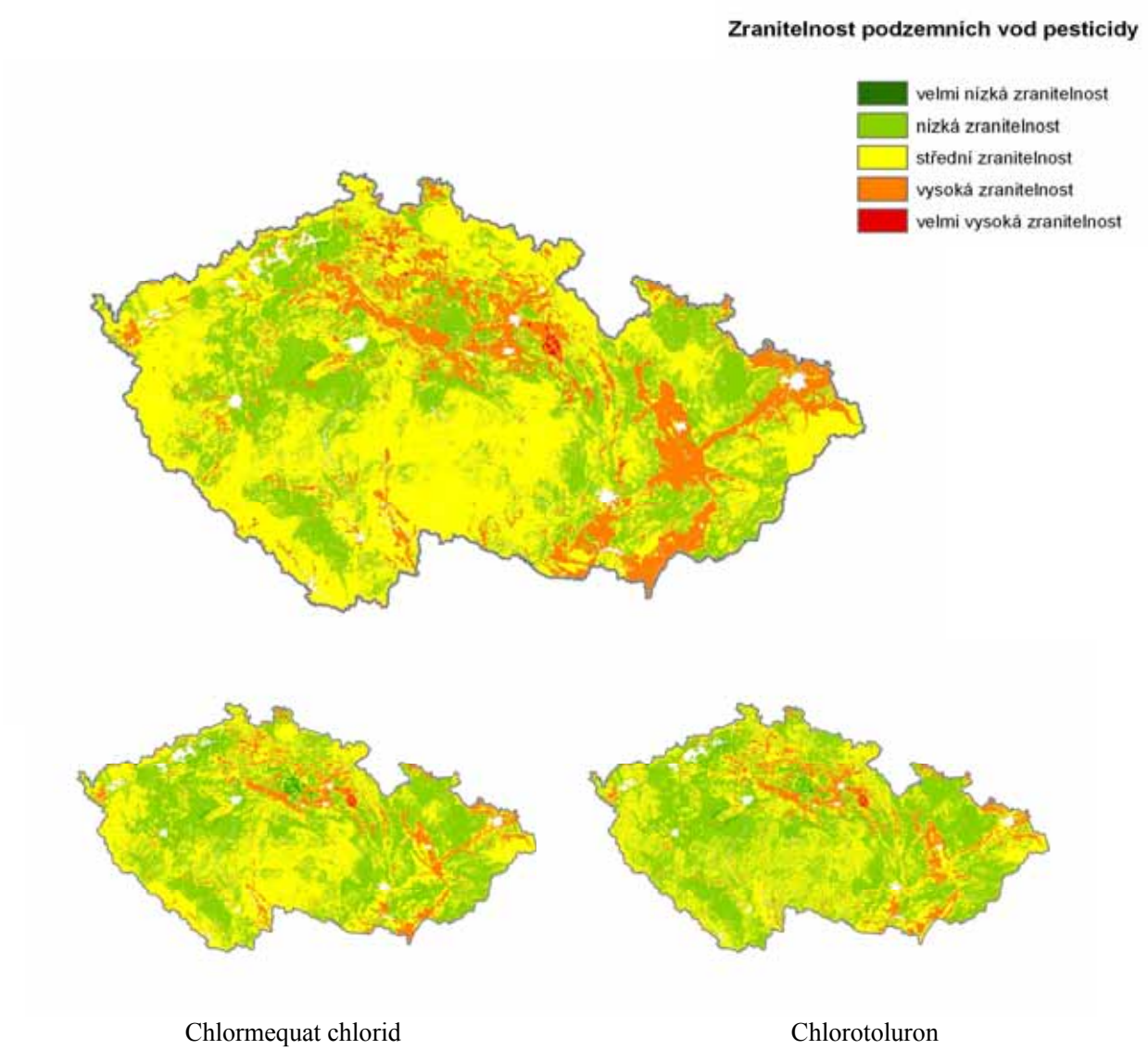
Příklad tématických map parametru K_F na území ČR, který byl vytvořen na základě stanovených pedotransferových pravidel (tab. 3), půdního informačního systému PUGIS (Kozák a kol., 1996) a půdní mapy ČR (Němeček a kol., 2001) je ukázán na obr. 1. Se zvyšující se hodnotou parametru K_F se snižuje mobilita pesticidu v půdě a snižuje se pravděpodobnost kontaminace podzemní vody.



Chlormequat chlorid Chlorotoluron

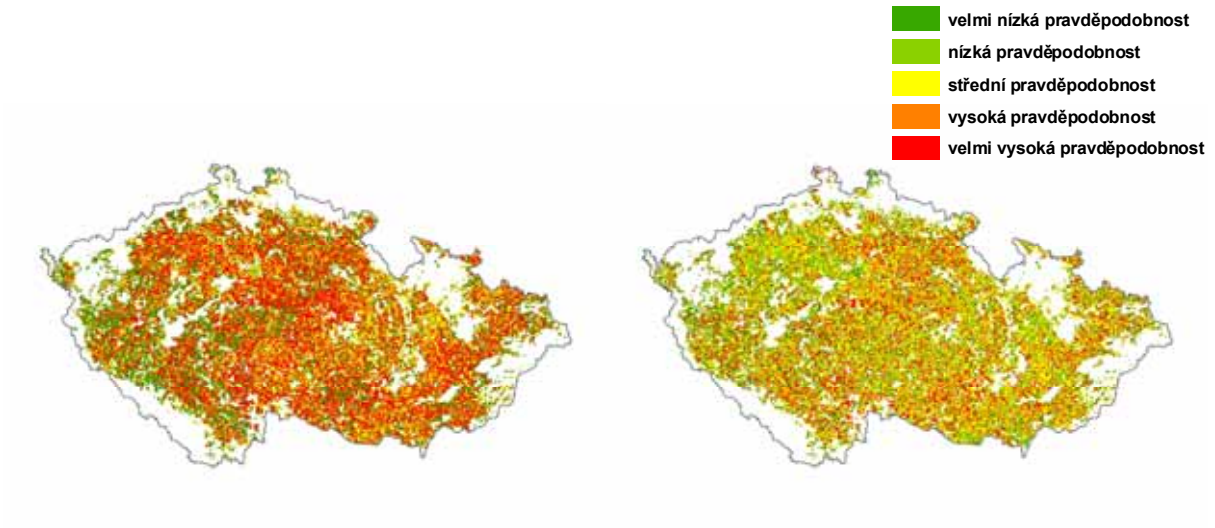
Obr. 1 Mapy koeficientů K_F [$cm^{3/n}$ $\mu g^{1-1/n}$ g^{-1}] vypočtených pro půdy ČR pomocí regresních rovnic v tab. 3.

Mapa zranitelnosti podzemních vod vyhodnocená původní metodou DRASTIC a příklad specifických map zranitelnosti vyhodnocených pro vybrané pesticidy modifikovanou metodou DRASTIC jsou ukázány na obr. 2. Je zřejmé, že nebezpečí kontaminace podzemních vod daným pesticidem se snižuje v oblastech, kde byly vyhodnoceny vyšší hodnoty parametru K_F.



Chlormequat chlorid Chlorotoluron

Obr. 2 Mapa zranitelnosti podzemních vod základní (nezahrnující půdní sorpci) (nahoře) a specifické mapy zranitelnosti pro zkoumané pesticidy (dole)



Chlormequat chlorid Chlorotoluron

Obr. 3 Mapa pravděpodobné distribuce pesticidů vycházející z analýzy výskytu plodin v % plochy buňky gridu 1x1 km v období 2007-2009, na které se tyto pesticidy aplikují

Příklad map pravděpodobné distribuce výskytu dané skupiny plodin a tím i pravděpodobné aplikace studovaných pesticidů je ukázán na obr. 3. Odhad pravděpodobnosti aplikace pesticidu je ovlivněn počtem plodin, na které se daný pesticid může aplikovat. U látek, které se aplikují pouze na určitou plodinu je odhad jejich distribuce přesnější, než u látek které se aplikují na široké spektrum plodin. Dále dochází k určitému nadhodnocení plošné distribuce u látek, které se aplikují na více plodin. Upřesnění plošné distribuce pesticidů bude provedeno zohledněním informací o aplikaci studovaných pesticidů na konkrétní plodiny nebo skupiny plodin v jednotlivých okresech v období 2007 – 2009 (údaje Státní rostlinolékařské správy). Tímto krokem budou eliminovány chyby vzniklé prostým přiřazením zkoumaných pesticidů k plodinám, na které se mohou potencionálně aplikovat.

5.4 ZÁVĚR

Studie ukázala, že adsorpce pesticidů na půdní částice nezávisí pouze na obsahu organické hmoty, pH, a obsahu jílu (jak je obyčejně předpokládáno), ale i na dalších půdních vlastnostech jako je obsah $CaCO_3$, salinitě, nasycenosti sorpčního komplexu,atd. Získaná pedotransferová pravidla (charakterizující schopnost půd adsorbovat studované pesticidy) mohou být použita pro předpověď Freundlichových adsorpčních koeficientů K_F pro půdy v oblastech s podobnými půdními podmínkami jako jsou v ČR. Na základě výsledných pedotransferových pravidel, půdní mapy ČR a půdní databáze PUGIS byly vygenerovány mapy Freundlichových adsorpčních koeficientů K_F. Vytvořené mapy byly dále použity pro vygenerování specifických map zranitelnosti podzemních vod. Byly vyhodnoceny mapy pravděpodobné distribuce daných pesticidů na území ČR z map distribuce plodin získaných pomocí prostředků DPZ. Výsledné mapy budou využity při optimalizaci monitoringu kvality podzemních vod, který na území ČR provádí Český hydrometeorologický ústav.

Poděkování

Autoři děkují za finanční podporu Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy ČR (grant č. 2B06095 a MSM 6046070901). Poděkování patří kolegům Vítu Penížkovi a Marcele Mühlhanselové za pomoc při výběru půd, studentům Heleně Pijálkové, Tomáši Tykalovi, Romanu Božekovi a Táňě Jonáškové za pomoc při některých sorpčních experimentech a Kateřině Hejtmánkové za pomoc při měření HPLC/MS metodou.

Literatura

ALLER L., BENNET T., LEHER J.H., PETTY R.J., HACKETT G. 1987. *DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. EPA 600/2-87-035, 622 pp.

DELLE SITA A. 2001. Factor affecting sorption of organic compound in natural sorbent/water systems and sorption coefficients for selected pollutants. *A review. J. Phys. Chem*. Ref. Data 30 87-439.

GUSTAFSON D.I. 1989. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.,* 8, 339-357.

HORNSBY A.G., WAUCHOPE R.D., HERNER A.E. 1996. *Pesticide Properties in the Environment,* Springer-Verlag, New York, Inc.

JORGENSEN S.E., BENDORICHIO G. 2001. *Fundamentals of Ecological Modeling*, Elsevier Science Ltd, Oxford, 530 p.

KAHN M., BROWN C.D. 2007. Prediction of adsorption of ionizable pesticides in soils. *J. Agric. Food. Chem*. 55(6) 2312-2322.

KOZÁK J., NĚMEČEK J., JETMAR M. 1996. The database of soil information system - PUGIS, *Rostlinná výroba,* 42(12): 529-534.

KOZÁK J., VACEK O. 1996. The mathematical model (BPS) for prediction of pesticide behaviour in soil. Rostl *Rostlinná výroba*, 42(12): 551-558.

KOZÁK J., VACEK O. 2000. Pedotransfer functions as a tool for estimation of pesticides behaviour in soils. *Rostlinná výroba*, 46 (2): 69-76.

NĚMEČEK J., KOZÁK J. a kol. 2001. Půdní mapa ČR 1:250 000, ČZU v Praze, Praha.

RICHTER O., DIEKKRÜGER B., NÖRTERSHEUSER P. 1996. *Environmental fate modelling of pesticides,* VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 281 p.

ROHOŠKOVÁ M., KODEŠOVÁ R., PENÍŽEK V. 2007. Výběr reprezentativních půd pro hodnocení mobility pesticidních látek, *15th International Poster Day, Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere System*, Eds. Čelková A., Matejka F., Institute of Hydrology SAS, Bratislava, Slovak Republic, Proceedings CD, ISNB 978-80-89139-13-2, 550-553.

6. PRÍSPEVOK K POZNANIU GENÉZY PÔD A ŠTRUKTÚRY PÔDNEJ POKRÝVKY NA ŽITNOM OSTROVE (PALEOMEANDER DUNAJA, NEKYJE)

6 A contribution to the knowledge of soil genesis and soil pattern on Rye Island (palaeomeander of Danube River, Nekyje)

Peter Pišút, Juraj Procházka*

ABSTRAKT
V príspevku prezentujeme predbežné výsledky detailného mapovania pôd starej riečnej formy na Žitnom ostrove. Súčasné pôdy paleomeandra Dunaja (lokalita Vrakúň) sa vyvinuli jednak z 1) pôvodných karbonátových fluvizemí vo vnútri meandra – dnešné čiernice černozemné (kultizemné) a černozeme modálne (kultizemné), jednak 2) subhydrickou akumuláciou rastlinných zvyškov vodných a močiarnych rastlín v bývalom jazere odstaveného ramena. Tieto pôdy zazemneného koryta dnes reprezentuje komplex organozeme slatinnej, gleja organozemného a čiernice organozemnej. Viažu sa naň ekologicky hodnotné zvyšky pôvodných slatinných biotopov a periodicky podmáčané kosené lúky. Základný rámec diferenciácie pôdneho krytu bol daný morfologickým vývojom pôvodnej riečnej formy a charakterom georeliéfu (odlišnosti mikroreliéfu, výška hladiny podzemnej vody, zrnitostná skladba substrátu), ako aj postupným nerovnomerným zanášaním a zarastaním vodnej plochy odstaveného ramena. V posledných storočiach sa zmenami využívania krajiny a hladinového režimu výrazne uplatnil aj vplyv človeka. Časť dnešných čiernic vznikla pravdepodobne až v 19. – 20. storočí v súvislosti s postupným odvodnením územia. Odvtedy sa periodicky prejavuje aj mierne zasoľovanie pôd. V posledných desaťročiach sa v skúmanom území paradoxne v menšej miere uplatňujú aj svahové procesy. Grafickým výstupom terénneho výskumu je mapa pôdnej pokrývky paleomeandra.
Kľúčové slová: mapovanie pôd, paleomeander, Dunaj, organozem, glej, čiernica, černozem

ABSTRACT
In this paper we present preliminary results of detailed soil survey of the Danube River palaeomeander in Rye Island, SW Slovakia (Vrakúň site). Local soils have been developed from 1) original Calcaric Fluvisols inside the meander – resulting in current Mollic Fluvisols and Haplic Chernozem, and by 2) sub-hydric accumulation of aquatics and swamp plant remnants in the former oxbow lake of cut-off palaeomeander. These soils of terrestrialized channel are currently represented by the complex of fen Histosols, Histic Gleysols and Histic Mollic Gleysols. Ecologically precious remnants of original fen grasslands and periodically waterlogged mowed meadows are bound to these soils. Variability of soil types has been determined by morphological development of the original fluvial landform, by differences in microrelief, groundwater level and by change in substrate textural composition. Differences have also been given by uneven siltation and overgrowing of the oxbow lake. In past centuries, the development of soils has also been largely induced by direct and indirect action of man (change of land use and water regime, both). A part of current Mollic Fluvisols and Gleysols probably originated as late as in the 19th and 20th century following gradual drainage of the area. Since then, also a slight soil salinization periodically appears. In recent decades, in the studied area, paradoxically, to a lesser extent also slope processes are recognized. Local soil map of palaeomeander is the graphical output of the soil survey.
Key words: soil mapping, palaeomeander, Danube River, Histosol, Gleysols, Mollic Fluvisol, Chernozem

6.1 ÚVOD

V rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0362/09 prebieha od r. 2009 interdisciplinárne zameraný výskum zaniknutého dunajského ramena v katastri obce Vrakúň na Žitnom ostrove (Podunajská rovina). Jeho cieľom je okrem datovania veku ramena a priľahlej časti dunajského alúvia aj paleoekologický výskum vrstiev slatinnej rašeliny, ktorá vypĺňa väčšiu časť bývalého koryta.

* Ing. Peter Pišút, PhD., Juraj Procházka, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4, SR, e-mail: pisut@fns.uniba.sk, jurajprochazka@azet.sk

Podobne ako iné staré riečne formy v tejto oblasti, uvedený paleomeander predstavuje cenné refúgium pôvodných, vzácnych druhov a mokraďových spoločenstiev v okolitej intenzívne obhospodarovanej poľnohospodárskej krajine. Predmetom výskumu sú preto aj inventarizácia súčasnej flóry a recentných mäkkýšov (*Mollusca*), mapovanie biotopov, podrobný prieskum pôd a mapovanie pôdnej pokrývky v detailnej mierke. Všetky údaje budú slúžiť aj ako podklad pre interpretáciu paleobotanických dát a rekonštrukciu vývoja krajiny pod vplyvom človeka.

6.2 MATERIÁL A METÓDY

Študovaný paleomeander bol v minulosti súčasťou geograficky významného, niekoľko desiatok kilometrov dlhého bočného ramena Dunaja, známeho pod menom Barč (maď. *Barcs*). Od hlavného toku Dunaja sa odpájalo v okolí Hamuliakova a tieklo popri Kvetoslavove, Malej a Veľkej Pake, Blatnej na Ostrove, Veľkej Budafe, Beketfe, Lúči na Ostrove a Kračanoch smerom na Vrakúň, kde sa spájalo s ďalšími ramennými systémami a jeho stopa sa stráca. Rameno bolo ešte v stredoveku aspoň periodicky polopriеtočné, vodou sa plnilo za vyšších vodných stavov a po povodniach. Z hľadiska charakteru koryta (Brierley, Fryirs, 2005) bol Barč charakteristickým nížinným meandrujúcim tokom. Študovaný meander podkovovitého pôdorysu (dĺžka 1 470 m) je typickým príkladom meandrovej slučky, ktorá bola od materského ramena Barč prirodzenou cestou odstavená ešte v období jeho plnej prietočnosti niekedy v strednom až mladom holocéne. Toto predbežné datovanie podporujú nálezy semien jelše lepkavej (*Alnus glutinosa*), získané zo vzorky dna ramena. Slatinné jelšiny s jelšou lepkavou boli bežným typom lesnej vegetácie pri Dunaji až do subatlantika (cf. Krippelová, 1967, Pišút a kol., *in press*).

Paleomeander sa nachádza v rovinatej nížinnej krajine v nadmorskej výške 114 – 115 m n.m. (súradnice stredu územia 47º 56´54“ N, 17 º 34´38“ E). Geomorfologicky je súčasťou mocnejšie agradovanej staroholocénnej depresie (Lukniš, Mazúr, 1959). Klimaticky ide o veľmi teplý, veľmi suchý región (Linkeš a kol., 1996). Bývalé koryto dnes pokrýva pás periodicky podmáčaných kosených lúk o šírke 18 až 54 m. Vyskytujú sa tu aj fragmenty spoločenstiev trstín, krovín s bazou čiernou, lužného lesa a menšia vodná plocha sekundárneho pôvodu.

V systéme BPEJ je celé územie začlenené do dvoch areálov: vlastná plocha paleomeandra figuruje ako BPEJ s kódom 0095002 (organozem), vnútorná časť ako BPEJ 0019002 (čiernice typické, prevažne karbonátové, stredne ťažké až ľahké). Od r. 2009 tu prebieha sledovanie slatinnej vegetácie a mapovanie pôdneho krytu. Pôdy sme doposiaľ charakterizovali 25 vŕtanými a štyrmi kopanými sondami, rastlinný kryt bol popísaný v mieste sond aj fytocenologickými záznamami vegetácie. Hĺbku a charakter sedimentárnej organickej výplne paleomeandra sme skúmali aj rašelinovým vrtákom (*Russian peat corer*; tri vrty na transekte naprieč korytom). V auguste tohto roku sme pomocou neho odobrali vzorky na peľovú analýzu (E. Břízová, Česká geologická služba) a rozbor rastlinných a živočíšnych makrozvyškov. Okrem toho vek biologického materiálu zo štyroch vrstiev výplne ramena sa v súčasnosti zisťuje rádiokarbónovým datovaním (centrum CAIS, Athens, Georgia, USA).

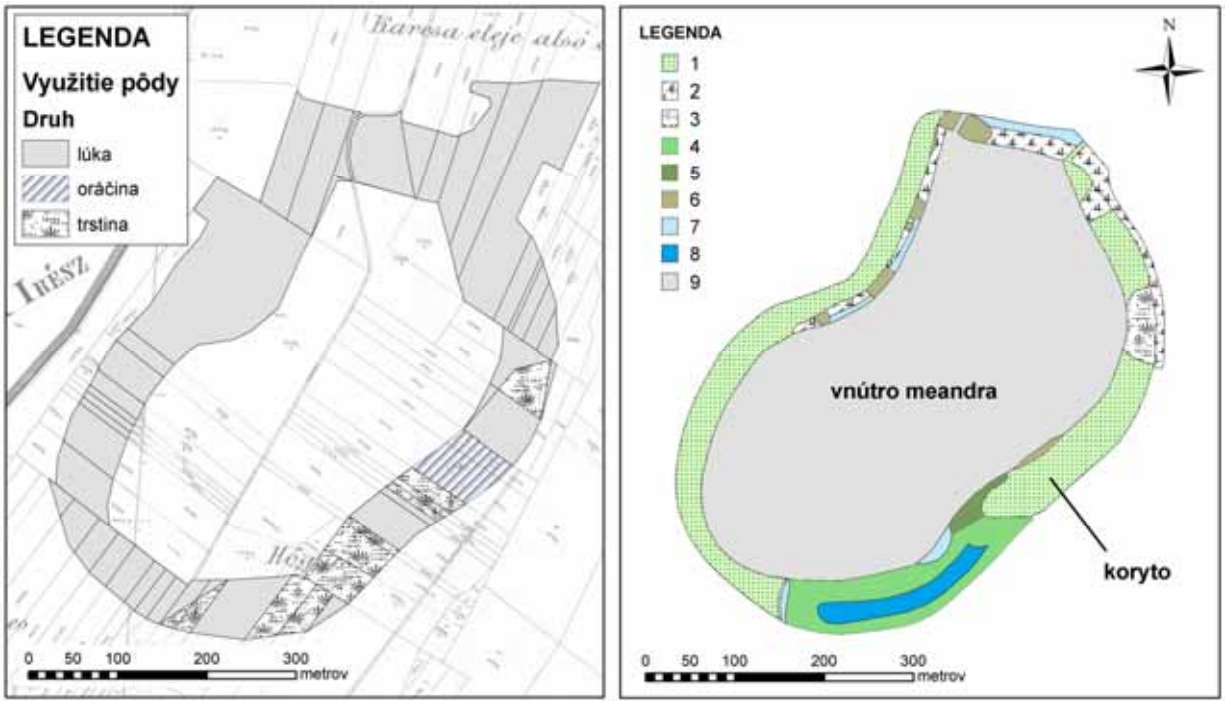
Morfologické vlastnosti pôdnych profilov sme popisovali v zmysle Čurlíka a Šurinu (1999), farbu pôdy podľa Munsella (2000) a sondy dokumentovali aj fotograficky. Pôdne vzorky boli analyzované na Výskumnom ústave pôdnej úrodnosti a ochrany pôdy v Bratislave štandardnými metódami (zrnitosť pipetovacou metódou, pH v H_2O aj KCl potenciometricky, obsah karbonátov titráciou, celkový uhlík a dusík C, N analyzátorom, elektrická konduktivita, odparok gravimetrickou metódou).

6.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

6.3.1 Analýza využívania krajiny podľa historických máp

Analýza využívania krajiny podľa historických máp od r. 1782 (Procházka, 2010) a zmien hladinového režimu ukazujú, že územie vo vnútri slučky meandra sa kontinuálne využíva ako orná pôda prinajmenšom od roku 1825. Slatinné mokrade na dne ramena pôvodne zaberali výrazne väčšiu rozlohu, čo súvisí s vyššie položenou hladinou podzemnej vody v minulosti. Hladinový režim v tejto oblasti prvý raz ovplyvnila výstavba odvodňovacích kanálov po r. 1839, no ešte v roku 1893 (katastrálna mapa) siahali hranice mokradí výrazne ďalej za dnešné línie jeho okrajov (obr. 1). Systém kanálov dobudovali v päťdesiatych rokoch, kedy časť vôd z bývalých slatín v paleomeandri zachytil a odviedol úzky odvodňovací kanál. Pred výstavbou vodného diela Gabčíkovo sa aj v tejto oblasti

prejavoval dlhodobý trend poklesu priemerných hladín podzemných vôd, v rozpätí -0,5 – 1 m za obdobie rokov 1962 – 1992 (Hlavatý, Banský, 2006).



Obr. 1 Rozsah trvale podmáčaných plôch v priestore paleomeandra Vrakúň, využívaných ako lúky resp. s porastmi trste podľa katastrálnej mapy v roku 1893. Vpravo mapa súčasných biotopov, odzrkadľujúca rozšírenie oráčin na úkor mokradí po čiastočnom odvodnení územia (vysvetlivky: 1 – vlhké lúky, 2 – trstinové spoločenstvá, 3 – spoločenstvá vysokých ostríc, 4 – vŕbovo-topoľové lužné lesy, 5 – dubovo-brestovo-jaseňové nížinné lužné lesy, 6 – porasty nepôvodných drevín, 7 – kroviny s bazou (*Sambucus nigra*), 8 – pionierske spoločenstvá vodných rastlín, 9 – intenzívne obhospodarované polia)

6.3.2 Charakteristika pôd a pôdneho krytu

6.3 2.1 Koryto bývalého ramena

Koryto bývalého ramena súvisle pokrývajú periodicky podmáčané lúky na seno na mieste niekdajších močiarov. Výnimkou je stredný úsek, kde sa po vyťažení rašeliny v súčasnosti nachádza fragment lužného lesa okolo umelej vodnej plochy. Bylinno-trávnu vegetáciu tvoria homogénne aj mozaikovite sa striedajúce porasty tráv, vysokých ostríc a nižšej močiarnej vegetácie. Súvislé porasty vysokých ostríc tvorí najmä ostrica dvojradová (*Carex disticha*), o. pobrežná (*C. riparia*) a ostrica ostrá (*C. acutiformis*). Významne sú zastúpené lúčne porasty s dominanciou kostravy trsteníkovitej (*Festuca arundinacea*). Nižšiu močiarnu vegetáciu tvoria nízke ostrice (*Carex panicea, C. hirta*), bahničky (*Eleocharis palustris, E. acicularis*), sitiny (*Juncus* sp.) s psinčekom (*Agrostis stolonifera*) a ostricou Otrubovou (*C. otrubae*), ktoré sa súvisle vyskytujú najmä v západnej časti ramena. Prevládajúcim pôdnym typom je organozem slatinná, s charakteristickou sekvenciou sedimentov Oh-Om-(Grc)-C. Podľa doterajších zistení slatinná rašelina (Otl až Otm horizont) na mnohých miestach tvorí súvislú výplň ramena až po vrstvu sivej ílovitej hliny resp. štrkopiesok fácie dna do hĺbky 2,6 – 2,8 m (pôda 1, obr. 2). Veľmi podobná mocnosť (2,7 m) slatinnej zeminy sa v minulosti zistila aj v mŕtvom ramene Dunaja pri obci Blahová (Zahradníková-Rošetzká, 1965). Tieto stanovištia vznikli postupným zarastaním a zanášaním vodných plôch ramena organickým materiálom s občasným prísunom povodňových kalov. Rašelina má rôzny charakter, konzistenciu aj sfarbenie a mietami prechádza až do sedimentu typu gyttja (Aaby, Berglund 1986).

Pozdĺžna aj priečna (= naprieč ramenom) zonálnosť vo forme pôdnych katén, podmienených výškou hladiny podzemnej vody a meniacou sa hĺbkou ramena je badateľná najmä smerom k bývalým ústiam ramena. Na transektoch naprieč korytom tu možno pozorovať sled pôd od slatinnej

organozeme s pásom trste (*Phragmites australis*) pri bývalom nárazovom brehu, cez porasty vysokých ostríc a škripinca dvojbliznového (*Schoenoplectus tabernaemontani*) až do užšieho pásu glejových až modálnych karbonátových čiernic smerom k vnútornému brehu ramena, kde nachádzame porasty nízkych ostríc s bahničkami a kostravou (*Festuca arundinacea*). Smerom k bývalému dolnému ústiu možno identifikovať aj pozdĺžny sled pôd: od 1. slatinnej organozeme s ostricami a škripincom, cez 2. súvislý porast trste na gleji organozemnom až po 3. suchšiu mezofilnú lúku s ovsíkom vyvýšeným (*Arrhenatherum elatius*) a stoklasom vzpriameným (*Bromus erectus*) na čiernici glejovej až modálnej, na relatívne vyvýšenej (o 50 – 80 cm) bývalej ílovito-hlinitej lavici.

Obr. 2 Stopy jednotlivých prehistorických povodňových udalostí – vrstvičky ílovitej hliny v slatinnej rašeline v hĺbkach 1,77 a 1,84 m (vľavo); vpravo kontakt slatinnej rašeliny s vrstvou sivej ílovitej hliny na dne ramena (v hĺbke 2,05 m)

Menšie pedotopy kultiváciou neporušených pôd z dna ramena sme našli aj v páse lužného lesa pri umelej vodnej ploche. Uvádzame príklad typickej čiernice, zachovanej pod fragmentom prechodného až tvrdého lužného lesa *Fraxino-Populetum* až *Ulmo-Fraxinetum hederetosum* (Jurko, 1958) s lieskou a brečtanom v bylinnej etáži. Sonda je lokalizovaná na mierne sa zvažujúcom bývalom brehu ramena (pedón 2). Zjednodušený popis pôdy 2 dňa 6. 8. 2009:

Horizont	**Hĺbka (cm)**	**Morfologické vlastnosti**
Ool	0 – 1	opad drevín, zvyšky listov, vetvičiek
Amč	0 – 40	tmavý, štruktúrny horizont, farba za vlhka 10 YR 2,5/1,5, hlinitý, drobnohrudkovitá štruktúra, ojedinelé schránky mokraďových mäkkýšov (*Bithynia* sp.),
A/C	40 – 53	prechodný horizont, v 40 – 45 cm krotovina alebo výplň dutiny po vyhnitom koreni priemeru 6 cm; postupný, zvlnený prechod do
CGoc	53 – 70	navlhlý, neplastický, hlinito-piesočnatý, karbonátový, s hrdzavohnedými slabo kontrastnými, zreteľnými škvrnami do 15 %, ojedinelé tmavosivé škvrny (Mn), elementárna zrnitá štruktúra, postupný prechod do
CGroc	70 – 110	navlhlý, piesočnato-hlinitý, slabo plastický, zreteľné, stredne kontrastné až výrazné, stredné až veľké hrdzavé škvrny (7.5 YR 4,5/6), zvyšok sivé sfarbenie
Grc	110 – 120	mokrý sivý piesok, farba grey 4,5/10Y; hladina podzemnej vody v hĺbke 115 cm.

Príkladom pôdy na bývalej náplavovej lavici v hornom ústí ramena je pôda 3, klasifikovaná v zmysle súčasného systému (Kolektív, 2000) ako glej organozemný, karbonátový. Vegetačným krytom je vlhká kosená lúka s kostravou trsteníkovitou (*Festuca arundinacea*), ostricami (*Carex panicea*), kostihojom (*Symphytum officinale*), pichliačom sivým (*Cirsium canum*) a i. Popis pôdy 3 dňa 28. 4. 2010, nadmorská výška terénu je 114 m n.m.:

Horizont	Hĺbka (cm)	Morfologické vlastnosti
Omm	0 – 1	staré stonky prevažne kostravy (*Festuca arundinacea*), mach
Oh_1(Sc)	0 – 25	farba 10 YR 2,5/1,5, ílovito-hlinitá zemina, drobnohrudkovitá štruktúra, stredne karbonátový, zreteľný prechod do
Oh_2	25 – 36	tmavý humózny horizont, farba 10 YR 3/1, ílovito-hlinitý s prímesou piesku, slabo karbonátový, bohatý na subfosílne ulity mokraďových slimákov, zreteľný prechod do
C(Oh)c	36 – 49	ílovito-hlinitý; zreteľný, zvlnený prechod do
Grc	> 49	uniformne sivý glejový ílovitý horizont, farba 10 YR 5/1, nevýrazne karbonátový, 15 % zvyškov pletív šachorovitých rastlín, hladina podzemnej vody v hĺbke 49 cm

Pôda je ílovito-hlinitá, v spodine ílovitá. Hodnoty konduktivity, ako aj odparok, zvýšený obsah karbonátov a pH v jej epipedóne (tab. 1) svedčia o tom, že vzhľadom na vysokú hladinu podzemných vôd a výparný režim sa v skúmanej lokalite uplatňuje aj pôdotvorný proces mierneho zasolenia. Indikuje ho aj výskyt viacerých rastlinných druhov. Horizont Oh_2 evidentne predstavuje sčasti už mineralizovanú vrstvu pôvodnej rašeliny, ktorá dnes spĺňa kritériá pre organicko-minerálny humolitový horizont (spáliteľný podiel 44,3 %). V prípade vrchného horizontu (Oh_1) pomer humusových kyselín a fulvokyselín = 1,52 (farebný kvocient Q4/6 = 5,18) a obsah spáliteľných látok tesne nad hranicou 30 % poukazujú na postupný proces premeny hydromorfného organicko-minerálneho horizontu na molický čiernicový horizont v dôsledku aridizácie pôdy.

Tab. 1 Glej organozemný, niektoré chemické vlastnosti

Horizont	Vzorka (cm)	Spáliteľný podiel pri 550° C (%)	$CaCO_3$ (g/100g)	Cox (g/100g)	C_{tot}	N_{tot}	pH		EC (mS/m)	Odparok pri 105°C
							H_2O	KCl		
Oh_1(Sc)	5 – 20	31,89	18,6	15,1	17,5	1,437	7,94	7,79	77,6	0,3555
Oh_2c	25 – 36	44,3	1,6	23,4	23,6	1,912	7,29	7,08	-	-
C(G)c	36 – 49	26,2	7,75	12,8	13,9	0,984	7,47	7,2	-	-
Grc	49 – 55	-	32,3	-	-	-	8,02	7,76	-	-

6.3.2.2 Centrálna časť bývalého meandra

V priestore vo vnútri bývalého meandra sa nachádzajú intenzívne obrábané čiernice černozemné (kultizemné). V blízkosti vnútorných brehov paleomeandra vzhľadom na mierne sa zvažujúci terén plynule prechádzajú do glejových (kultizemných) čiernic (v hĺbke do 100 cm sa objavuje Gr-horizont). Špecifická situácia je v severnej časti územia, kde na povrch terénu vystupujú štrkopiesky pôvodnej vyvýšenej zákrutovej lavice resp. prikorytových plytčín meandra. Dnes sa tu nachádza černozem kultizemná (pôda 5). Uvádzame zjednodušený popis profilu obrábanej pôdy (čiernica černozemná, kultizemná), vyvinutej z pôvodných náplavov vnútorného nánosového brehu zákruty dunajského ramena (pedón 4). Rastlinným krytom je cukrová repa. Popis pôdy 4 dňa 16. 9. 2009:

Horizont	Hĺbka (cm)	Morfologické vlastnosti
Akpc	0-25	suchá, veľmi tuhá, farba 10YR 4.5/2 za sucha, piesočnato-hlinitá, štruktúra zrnitá až drobnohrudkovitá, bez škvŕn, silne karbonátová zemina, ojedinele prekorenená, difúzny prechod do
(Amc)	25-35	tuhá, navlhlá, farba 10 YR 4.5/3, drobnohrudkovitá štruktúra, piesočnato-hlinitá, silne karbonátová, ojedinelý skelet, postupný prechod do
A+C	35-50	navlhlá, uľahnutá, piesočnatohlinitá zemina, nepatrné, slabo kontrastné hrdzavé škvrny do 10 %, elementárna štruktúra, postupný prechod do
CGoc	50-64	navlhlý, slabo karbonátový, sypký hlinitý piesok, 40 % difúznych, stredne kontrastných hrdzavých škvŕn. Obsahuje 2 cm hrubé, tmavé vertikálne pásy, zrejme krotoviny po medvedíkoch (*Gryllotalpa gryllotalpa*), ktoré pokračujú do
CGorc	64-100	navlhlý, sypký piesok s ojedinelými valúnmi štrku (do 10 %), slabo karbonátový, prevažujúcej sivej (10 YR 5.5/2) farby, obsahujúci 25 % stredných, zreteľných hrdzavých škvŕn (ide o niekdajší Gr-horizont).

Obr. 3 Profily niektorých pôd paleomeandra; zľava doprava čiernica modálna (2), glej organozemný (3), čiernica černozemná (4) a černozem modálna (5)

6.3.3 Vývoj pôdnej pokrývky paleomeandra

Súčasná priestorová diferenciácia pôdnej pokrývky v skúmanom území je výsledkom dvoch rozdielnych sukcesných radov. Pôdy vo vnútri meandra mali odlišnú genézu od dnešných hydromorfných pôd na dne bývalého ramena.

Dnešné pôdy na „ostrove“ vo vnútri slučky ramena sa najprv vyvíjali ako klasické aluviálne fluvizeme – laterálnou a vertikálnou akréciou riečnych sedimentov vo vnútornom brehu postupne sa vyvíjajúcej zákruty aktívneho dunajského ramena Barč. Hlavné rozdiely medzi polypedónmi boli dané zrnitostnou skladbou substrátu. Zjemňovanie nánosov smerom k povrchu pôdy (piesky v spodine, v epipedóne piesčité až ílovité hliny) sú charakteristické pre aluviálnu architektúru sedimentov vnútorných nánosových brehov. Po náhlom odstavení meandra boli azonálne pôdy aj naďalej ovplyvňované relatívne vysokou hladinou podzemnej vody a periodickými záplavami s prínosom jemného povodňového materiálu (s výnimkou menšieho areálu na mieste štrkopieskovej lavice). Pôvodnú úroveň priemernej hladiny podzemných vôd vyznačuje pomerne ostrá hranica dnešného Gro-horizontu v spodine týchto pôd, ktorý sa síce vyznačuje rozsahom oxidačných hrdzavých škvŕn nad 10 %, ale stále s dominantnou sivou farbou (= ide o fosílne znaky pôvodného Gr-horizontu). Tieto pôdy sa postupne čoraz viac vymaňovali spod vplyvu aluviálnych procesov, keďže v stredoveku rameno Barč definitívne stratilo spojenie s Dunajom. Uplatňoval sa tu aj lužný proces (vegetáciou bol pravdepodobne tvrdý lužný les). Z primárnych karbonátových fluvizemí sa tak vo vnútri meandra vyvinuli čiernice černozemné a na menšej ploche štrkopieskovej lavice černozem modálna. Po vyklčovaní lužného lesa sa postupnou kultiváciou, ktorá trvá už prinajmenšom 185 rokov (= historické mapy), tieto pôdy zmenili na dnešné kultizemné podtypy čiernic a černozemí (obr. 4).

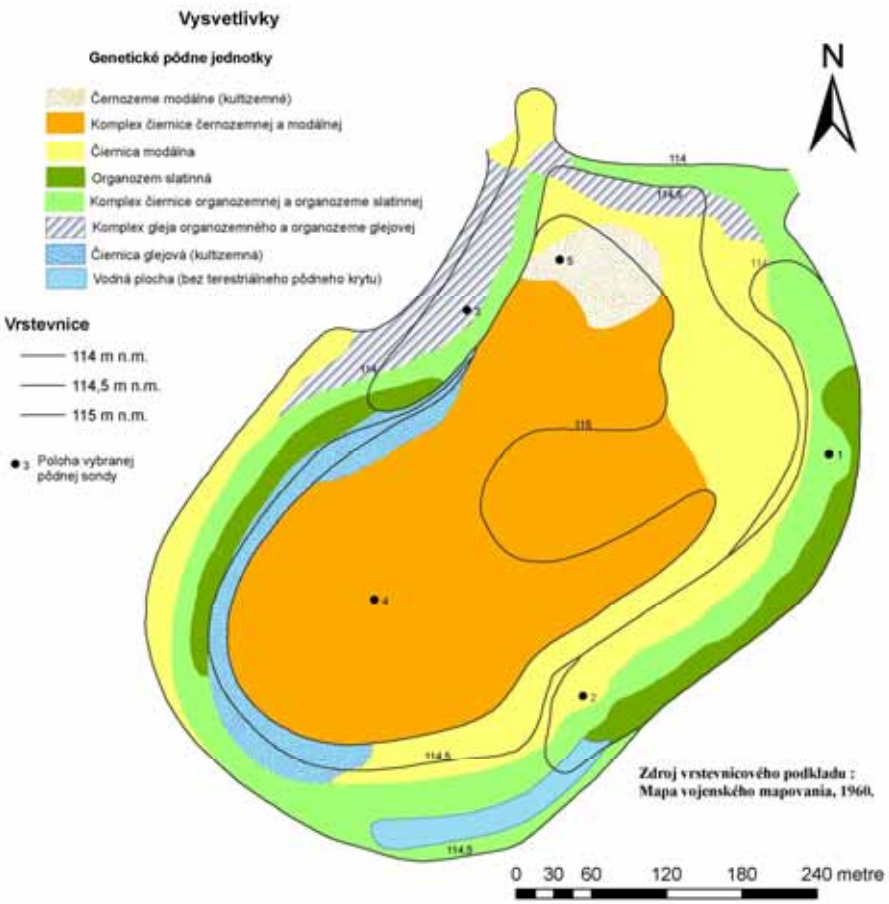
Diametrálne odlišný bol vývoj intrazonálnych pôd v opustenom koryte paleomeandra. Odstavením zákruty ramena (azda niekedy v subboreáli/atlantiku) vznikla súvislá pretiahla vodná plocha poriečneho jazera, ktoré dosahovalo hĺbku do 2,8 m. Začalo zarastať najprv riasami, neskôr vodným rastlinstvom a postupne od brehov aj porastmi trste a mokraďových bylinno-trávnych spoločenstiev. Na týchto plochách sa subhydrickou akumuláciou rastlinných zvyškov s občasným prísunom povodňových kalov (obr. 2) postupne vyvíjali slatinné organozeme. Plytké súvislé otvorené močiare existovali v koryte ramena pravdepodobne až do polovice 20. storočia.

Mierne odlišnú genézu mali pôdy v blízkosti bývalých ústí odstaveného ramena, kde pravdepodobne už krátko po jeho odstavení (rádove dni až mesiace) sedimentovali až niekoľko sto metrov dlhé lavice ílovitých hlín až pieskov („zátky“ ramena). Na nich sa pôvodne vyvíjali gleje a glejové organozeme, dnes sa tu vyskytujú gleje organozemné, čiernice glejové až modálne.

Prevažná časť dnešných čiernic organozemných a zvyšky modálnych vznikala pravdepodobne až od 19. storočia v súvislosti s miernym poklesom hladiny podzemnej vody po výstavbe prvých odvodňovacích kanálov. Podobne ako inde (cf. Koděrová 1997), časť slatinnej rašeliny vtedy zmineralizovala na dnešný humolit (Oh-horizont) a humolit sa miestami pretransformoval až na molický horizont (Amč). Močiarny pôvod jednoznačne dokumentujú aj subfosílne ulity močiarnych

mäkkýšov (*Bithynia* sp., *Planorbarius* sp. a pod.) v epipedone týchto pôd. Až v tomto období sa zrejme začalo výraznejšie uplatňovať aj periodické mierne zasoľovanie pôd. Okrem analytických hodnôt (tab. 1) ho dobre indikuje aj výskyt niektorých obligátnych slanomilných druhov rastlín.

V posledných desaťročiach sa paradoxne v skúmanom území v menšej miere uplatňujú aj svahové procesy. Postupne viedli k zotretiu pôvodne strmých nárazových brehov meandra orbou, k zúženiu dna ramena (obr. 1) ako aj k čiastočnému prekrytiu pôvodných organických sedimentov (zachytených vrtmi), resp. k vzniku akumulovaných pôdnych foriem.



Obr. 4 Pôdna mapa paleomeandra Dunaja pri obci Vrakúň

6.4 ZÁVER

V príspevku prezentujeme súčasný stav detailného veľkomierkového mapovania pôd bývalého ramena Dunaja na Žitnom ostrove pri obci Vrakúň. Napriek čiastočnému odvodneniu územia sa v priestore bývalého meandra zachovali ekologicky hodnotné zvyšky pôvodných slatinných biotopov. Sú to najmä vlhké ostricové kosené lúky na podmáčaných pôdach dna bývalého ramena s výskytom viacerých vzácnejších mokradných druhov rastlín. Grafickým výstupom nášho výskumu je predbežná mapa pôdnej pokrývky paleomeandra, ktorá spresňuje jestvujúce údaje (BPEJ) o pôdach.

Skúmaný paleomeander bol pôvodne súčasťou regionálne významného dunajského ramena Barč, ktoré bolo periodicky poloprietočné ešte v období stredoveku. Terénny výskum v kombinácii s údajmi historických máp umožňuje porozumieť detailnej diferenciácii pôdneho krytu, rekonštruovať priebeh postupného zanášania meandra po jeho odstavení a genézu pôd. Súčasné pôdy sa vyvinuli z pôvodných karbonátových fluvizemí – čiernica černozemná (kultizemná) a černozem vo vnútri meandra ako aj subhydrickou akumuláciou rastlinných zvyškov najskôr vodných a napokon močiarnych rastlín v bývalom jazere odstaveného ramena. Niekdajšie močiarne pôdy zníženiny dna ramena dnes reprezentuje komplex organozeme slatinnej, gleja organozemného a čiernice organozemnej. Diferencovaná výška hladiny podzemnej vody tiež podmienila vývoj charakteristických pôdnych katén pozdĺž dna, ako aj naprieč korytom bývalého ramena.

Mocnosť vrstiev slatinnej rašeliny pôvodne dosahovala až do 2,6 – 2,8 m. Prevažná časť dnešných organozemných čiernic vznikala pravdepodobne až od 19. storočia v súvislosti s miernym poklesom hladiny podzemnej vody po výstavbe prvých odvodňovacích kanálov. Vrchné vrstvy rašeliny odvtedy mineralizovali na dnešný humolit (Oh) až molický horizont (Amč). Na georeliéf sú úzko viazané aj čiernice glejové, lokalizované v miestach, kde po prirodzenom odstavení meandra rýchle sedimentovali hlinité až piesočnaté lavice. Z čiastkových pôdotvorných procesov sa tu v súčasnosti uplatňuje periodické zasoľovanie pôd (slaniskový proces), indikované okrem vysokej hladiny podzemnej vody aj výskytom niektorých obligátnych slanomilných druhov rastlín. V posledných desaťročiach paradoxne v skúmanom území v menšej miere pôsobia aj svahové procesy.

Výsledky pedogeografického výskumu majú nezastupiteľnú úlohu pri rekonštrukcii vývoja kultúrnej krajiny na Žitnom ostrove. Nepochybne zaujímavá bude ich konfrontácia s výsledkami paleobotanických analýz. Súčasná štruktúra pôdnej pokrývky taktiež úzko súvisí s lokalizáciou jednotlivých fytocenóz a biotopov. Doterajší výskum nastolil aj niektoré otvorené otázky (rozlíšenie Oh a Am horizontov, rozsah zasolenia pôd), ktoré budú môcť byť zodpovedané až na základe dôkladnejších analýz pôdnych vzoriek. Nakoľko pri distribúcii pôdnych taxónov v tomto území zohrávajú aj malé výškové rozdiely veľkú úlohu, ďalšia detailizácia pôdnej mapy si vyžaduje aj podrobné zameranie lokality (výškopis) s cieľom vytvorenia 3D modelu územia.

Poďakovanie

Tento výskum bol financovaný z prostriedkov grantovej agentúry VEGA v rámci projektu č. 1/0362/09.

Literatúra

AABY B., BERGLUND B.E. 1986. Characterization of peat and lake deposits. In: Berglund B.E. (Eds.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore, 231-246.

BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A. 2005. *Geomorphology and river management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford, 398 p.

ČURLÍK J., ŠURINA B. 1998. Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd. VÚPOP, Bratislava, 134 s.

HLAVATÝ Z., BANSKÝ Ľ. 2006. Ground water levels and soil moisture. In: Mucha I., Lisický M. J. L. (Eds.): *Slovak-Hungarian Environmental monitoring on the Danube*. Ground Water Consulting Ltd., Bratislava, 85-88.

JURKO A. 1958. *Pôdne ekologické pomery a lesné spoločenstvá Podunajskej nížiny*. SAV, Bratislava.

KODĚROVÁ J. 1997. *Pôdy Národnej prírodnej rezervácie Šúr a spôsoby ich ochrany a optimalizácie*. Diplomová záverečná práca, ms. depon. in PRÍFUK, Bratislava, 42 s.

KRIPPELOVÁ T. 1967. Vegetácia Žitného ostrova. Spoločenstvá pastvín a rekonštrukcia vegetácie. *Biologické práce,* 13, 2, 1-108.

LINKEŠ V., PESTÚN V., DŽATKO M. 1996. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek*. Bratislava, VÚPOP, 104 s.

LUKNIŠ M., MAZÚR E. 1959. Geomorfologické regióny Žitného ostrova. *Geografický časopis*, 11 (3): 161-195.

Munsell Soil Color Charts 2000: Revised washable edition. Gretagmacbeth, New York.

PIŠÚT P., BŘÍZOVÁ E., ČEJKA T., PIPÍK R., in press: Paleofloristic and paleofaunistic analysis of Dudváh River oxbow and its implication for Late Holocene palaeoenvironmental development of the Žitný ostrov Island (SW Slovakia). *Geologica Carpathica*, in print.

PROCHÁZKA J. 2010. Mapovanie a štruktúra pôdneho krytu vybraného územia na Podunajskej rovine (Žitný ostrov, paleomeander Nekyje). Bakalárska záverečná práca, ms. depon. in. PRÍF UK Bratislava, 74 s.

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. VÚPOP, Bratislava, 74 s.

ZAHRADNÍKOVÁ-ROŠETZKÁ K. 1965. Geobotanická charakteristika slatinných lúk a pasienkov (Molinion Koch 1926) na Žitnom ostrove. *Biologische Arbeiten* 11, 5, 5-43.

7. ALTERNATIVNÍ PŘÍSTUPY PŘI STUDIU EROZNÍCH PROCESŮ V ZEMĚDĚLSKY INTENZIVNĚ VYUŽÍVANÉ KRAJINĚ

7 Alternative approaches in the study of erosion processes in intensively farmed landscapes

Patrik Netopil, Bořivoj Šarapatka*

ABSTRAKT
Půda je velmi variabilní a heterogenní přírodní útvar měnící se v prostoru i čase, a to působením pedogenetických faktorů. Pilotním územím pro naše studium erozních procesů byla na základě předchozího výzkumu vybrána oblast v katastru obce Čejkovice (Česká republika, okres Hodonín). Studovaná lokalita se nachází v povodí vodního toku Průšánka, kde převládajícím půdním typem je černozem typická a hlavním půdně degradačním faktorem je zde zrychlená vodní eroze. Příspěvek představuje využití multitemporální interpretace a klasifikace leteckých měřických snímků v pedologii, jakožto nástroje pro detekci erozních ploch na zemědělsky intenzivně obhospodařované půdě. Terénní průzkum spojený s odběrem neporušených půdních vzorků umožnil ověření a rozšíření výsledků analýzy leteckých snímků. U půdních vzorků byl měřen obsah radionuklidu Cs^{137}, magnetická susceptibilita, barva půdy a obsah organického uhlíku. Kombinace dat dálkového průzkumu Země a terénního odběru vzorků se ukázala jako velmi efektivní pro plošné mapování erozí ohrožené orné půdy ve zkoumané oblasti. Vodní eroze je v podmínkách ČR převládajícím degradačním činitelem, proto je znalost plošného rozsahu a časového průběhu zrychlené vodní eroze základním předpokladem pro opravdu efektivní ochranu zemědělské půdy a plánování protierozních opatření.
Klíčová slova: eroze, ortofotomapa, cesium ^{137}, magnetická susceptibilita, spektrofotometrie

ABSTRACT
Soil is a very variable and heterogeneous natural system, changing in time and space, affected by forming factors. The pilot area for our erosion study was chosen on the basis of previous research in Čejkovice cadastre (Hodonín district, Czech Republic,). The study area is situated in the Průšánka river basin. The dominant soil type is typical Chernozem and the main soil degradation factor is accelerated water erosion. The paper presents the use of aerial image multitemporal interpretation and classification in soil science as a tool for the detection of areas of erosion on intensively farmed land. The field survey, in combination with the taking of undisturbed soil samples, enabled the verification and extension of results from aerial image analysis. Analysis of soil samples included measurement of ^{137}Cs content, magnetic susceptibility, soil colour and organic carbon content. The combination of remote sensing with field soil sampling proved to be very effective for surface erosion mapping of threatened arable land in the study area. Water erosion is the dominant degradation factor in Czech conditions. Therefore, knowledge of the surface extent and time-scale of accelerated erosion is a basic prerequisite for truly effective protection of agricultural land and planning of anti-erosion measures.
Key words: erosion, orthophoto-map, cesium ^{137}, magnetic susceptibility, spectrophotometry

7.1 ÚVOD

Půda je velmi variabilní a heterogenní přírodní útvar, a to jak ve všech prostorových dimenzích, tak v čase, kdy na ni působí pedogenetické faktory (Čurlík a Šurina, 1998). Pokud půda při nevhodném obhospodařování člověkem přestane plnit některou ze základních funkcí, mluvíme o její degradaci (Lal, 1998). Pomineme-li lokálně významné oblasti působení větrné eroze zejména na exponovaných zemědělských plochách v jarním a podzimním období, je právě zrychlená vodní eroze

* Mgr. Patrik Netopil, prof. Ing. Dr. Bořivoj Šarapatka, PhD., Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, tř. Svobody 26, 77146, Olomouc, ČR, e-mail: patrik.netopil@upol.cz, borivoj.sarapatka@upol.cz

hlavním činitelem mnohamiliardových škod na zemědělské půdě často té nejvyšší bonitní kvality (Bulíček a kol., 1977).

Pro studium erozních procesů byla na základě předchozího výzkumu, znalosti půdních typů a jejich charakteristických půdních horizontů vytipována oblast s převládajícím půdním typem černozem typická v katastru obce Čejkovice (Česká republika, okres Hodonín). Pilotní území se nachází v horním subpovodí vodního toku Průšánka, kde je primárním degradačním rizikem právě zrychlená vodní eroze.

Obr. 1 Lokalizace půdních sond pro odběr neporušených vzorků v zájmovém území katastru obce Čejkovice (okres Hodonín)

7.2 MATERIÁL A METODY

Příspěvek představuje využití informačního potenciálu leteckých měřických snímků (ortofotomap) v pedologii, jakožto nástroje pro detekci erozních ploch na zemědělsky intenzivně obhospodařované půdě. Využity byly poznatky a možnosti fotogrammetrie (ortorektifikace) a geoinformatiky (analýza obrazu – klasifikace). Za účelem ověření a rozšíření takto získaných výsledků byl proveden terénní průzkum spojený s odběrem neporušených půdních vzorků v transektu protínající svah postižený erozí. Vzorky získané odběrnou sondou (o délce 0,4 a 1 m) byly stratifikovány do horizontů o mocnosti 5 cm. Nadstavením metrové sondy byly odebírány i vzorky z hlubších horizontů. Následně se u nich měřil obsah umělého radionuklidu ^{137}Cs , magnetická susceptibilita, barva půdy a obsah organického uhlíku.

7.2.1 Letecké snímky a jejich obrazová klasifikace

Vyhodnocení plošného rozsahu a intenzity erozních procesů bylo založeno na klasifikaci erozních ploch s využitím leteckých měřičských snímků. Vedle aktuálních leteckých snímků byly fotogrammetricky zpracovány i historické letecké snímky z roku 1938 a 1968 do podoby bezešvé ortofotomapy. Snímky byly poté podrobeny standardní automatické neřízené klasifikaci obrazu. Klasifikace erozních je možná díky fyzikálnímu principu různé spektrální odrazivosti jednotlivých typů povrchů zachycených na snímku (Lillesand *et al.,* 2007). Spektrální reflektance černozemního A-horizontu (i degradovaného) a půdotvorného substrátu spraše je výrazně odlišná, což umožňuje identifikaci a lokalizaci erozních ploch.

Klasifikace obrazu pracuje s rastrovým snímkem jako s mřížkou obrazových bodů (pixelů), kde každý bod nabývá určité hodnoty. Použitý klasifikátor jej poté na základě daného matematického

algoritmu přiřazuje do určitého předem zadaného počtu tříd. Každá třída (barva v legendě výstupu) je vlastně souborem hodnot v rozmezí jednoho intervalu.

Všechny použité snímky, aktuální barevné i archivní černobílé, byly pořízeny ve viditelné části spektra.

7.2.2 Měření stopového množství umělého radionuklidu ^{137}Cs

Hodnocení eroze na zemědělské půdě za pomoci měření aktivity radioizotopu ^{137}Cs laboratorním gamaspektrometrem umožňuje určit plochu i objem erozí degradované půdy. Indikuje průběh eroze nejen v prostoru (ploše), ale i v čase (hloubce půdního profilu). Znalostí jeho poločasu rozpadu (30 let) a faktu, že se jedná o umělý radionuklid, umožňuje odhadovat i časový průběh eroze ve sledovaném území. Zdrojem tohoto specifického indikátoru byly v globálním měřítku atmosférické testy jaderných zbraní v 50. – 60. letech 20. století (Zapata, 2002). Evropsky významným zdrojem byla i nehoda v jaderné elektrárně Černobyl v dubnu 1986.

7.2.3 Magnetická susceptibilita

Laboratorní měření tzv. magnetické susceptibility využívá velmi malých koncentrací (v řádu ppm) feromagnetických látek (sloučeniny oxidů železa s oxidy jiných prvků) obsažených v půdě (Kapička a kol., 2000). Kromě přirozených zdrojů feromagnetik v pedosféře (geologické podloží a pedogenetické procesy), je dalším významným zdrojem průmyslová výroba, hlavně tepelné elektrárny, cementárny, železárny a ocelárny, ale i běžná doprava (Kapička a Petrovský, 2004). Stejně jako radionuklidy (^{137}Cs) se i mikroskopické magnetické částice dostávají do prostředí většinou formou atmosférického spadu (imisí). Podobně jako předchozí laboratorní metoda je i tato časově i finančně nenáročná a nedestruktivní, což umožňuje zpracování velkého množství odebraných vzorků.

7.2.4 Barva půdy a spektrální fotometrie

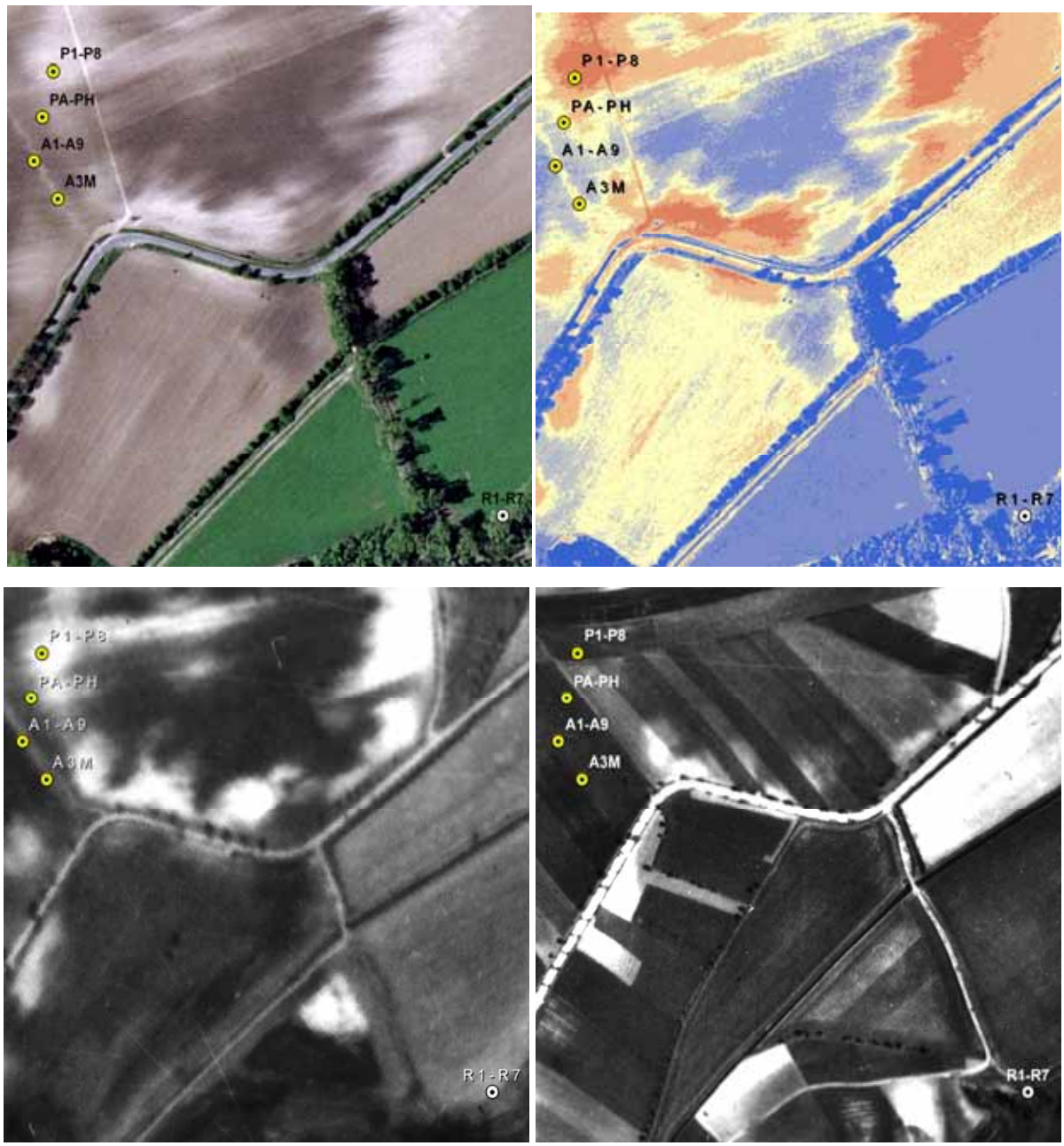
Barva půdy je jednou z důležitých půdních vlastností, i když je pro lidský zrak značně subjektivní. Bývá indikátorem fyzikálních, chemických a biologických půdních vlastností či půdních procesů (Viscarra, Rossel *et al.,* 2006). Přirozeně se mění jak v ploše, tak i s hloubkou půdního profilu. Určení barvy pomocí spektrofotometrie představuje alternativní přístup ve srovnání s klasickými metodami (Munsellovy tabulky). Pro obecné stanovení kolorimetrických vlastností vzorku, barvy půdy vyjádřené v jednom z mnoha modelů barevného (kolorimetrického) prostoru (např. Munsell HVC, RGB a CIE) využívá spektrální fotometrie pohlcování/odraz světla určité vlnové délky. Podobně jako předchozí je i tato metoda rychlá, přesná, nenákladná a nedestruktivní, což umožňuje studium velkého množství půdních vzorků a získání rozsáhlého reprezentativního souboru dat, který spolu s ostatními jmenovanými metodami výzkumu, může být přesněji interpretován (Rothwell, 2006).

7.2.5 Stanovení obsahu půdního organického uhlíku/humusu

Klasicky se půdní organický uhlík měří jako jeho koncentrace na hmotnostní jednotku vysušeného vzorku a je vyjadřovaný v procentech. Princip této standardní metody vychází z měření oxidovatelného uhlíku v konkrétním vzorku, který se oxiduje kyselinou chromovou za přítomnosti nadbytku kyseliny sírové. Nespotřebovaná kyselina chromová se stanoví titrací Mohrovou solí za použití difenylaminu jako oxidačně-redukčního indikátoru k určení konce titrace. Naměřené hodnoty koncentrace organického uhlíku je možné podle jednoduchého matematického vztahu přepočítat na celkový obsah humusu.

7.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Data dálkového průzkumu Země bylo možné v zájmové lokalitě využít jako účinný nástroj pro plošné mapování erozně degradované černozemě. Zejména díky ostrému kontrastu diagnostických černozemních horizontů - tmavého humózního A-horizontu a půdotvorného substrátu spraše, který je výrazně světlejší. Zjednodušeně lze erozně narušené lokality na leteckých snímcích detekovat v podobě výrazně světlých a různě tmavých plošek. Přechod mezi těmito ploškami je často difúzní. Světlá místa značí erozní plochy, kde eroze postoupila v půdním profilu až na půdotvorný substrát a došlo tak k odnosu celého A-horizontu, případně spraš tento horizont překryla. Místa s tmavými odstíny naopak označují plochy, kde dochází k akumulaci redistribuovaných sedimentů. Povrchový A-horizont zde má často zvětšenou mocnost, viz výsledky terénního průzkumu a analýz půdních vzorků.



Obr. 2-5 Využití aktuálního leteckého snímku a jeho zpracování pomocí neřízené klasifikace obrazu (obr. 2 a 3 – horní řada). Ortorektifikované historické letecké snímky ukazují vývoj postižení zájmového území erozí v roce 1968 (obr. 4) a 1938 (obr. 5) – dolní řada

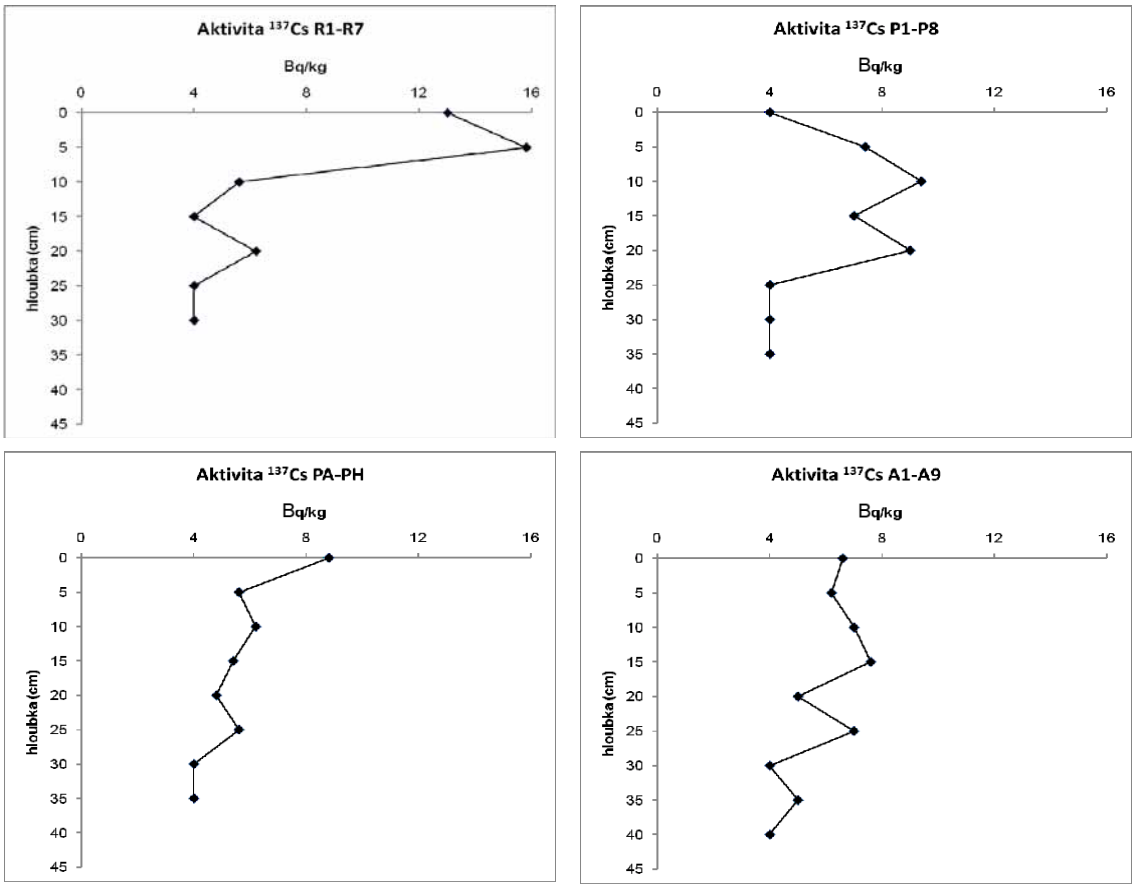
Obrazová analýza snímků pomocí neřízené klasifikace obrazu umožnila daleko přesněji vymezit erozní (na obrázku červené a oranžové) a při aplikaci digitálního modelu terénu i akumulační plochy (odstíny modré), přechodné plochy jsou vymezeny žlutě (viz obr. 3). Cílem klasifikace bylo přesné vymezení zájmových ploch a vyloučení senzorické subjektivity lidského zraku.

Ideální jsou zvláště snímky pořízené mimo vegetační období. Na všech, a to současných i historických (1938 a 1968) byly patrné erozní projevy s výraznou plošnou gradací po scelení soukromé řemenové držby půdy (1938) do velkoplošných půdních bloků zemědělských družstev (1968), obr. 4 a 5. V poslední časové řadě je díky lepší obrazové kvalitě a barevnému snímání patrný i proces koluviace, kdy jsou v akumulačních oblastech viditelné světlejší nánosy s vysokým podílem půdotvorné spraše.

Laboratorních analýzy odebraných půdních vzorků měly za cíl ověřit výsledky získané obrazovou analýzou několika časových řad leteckých snímků.

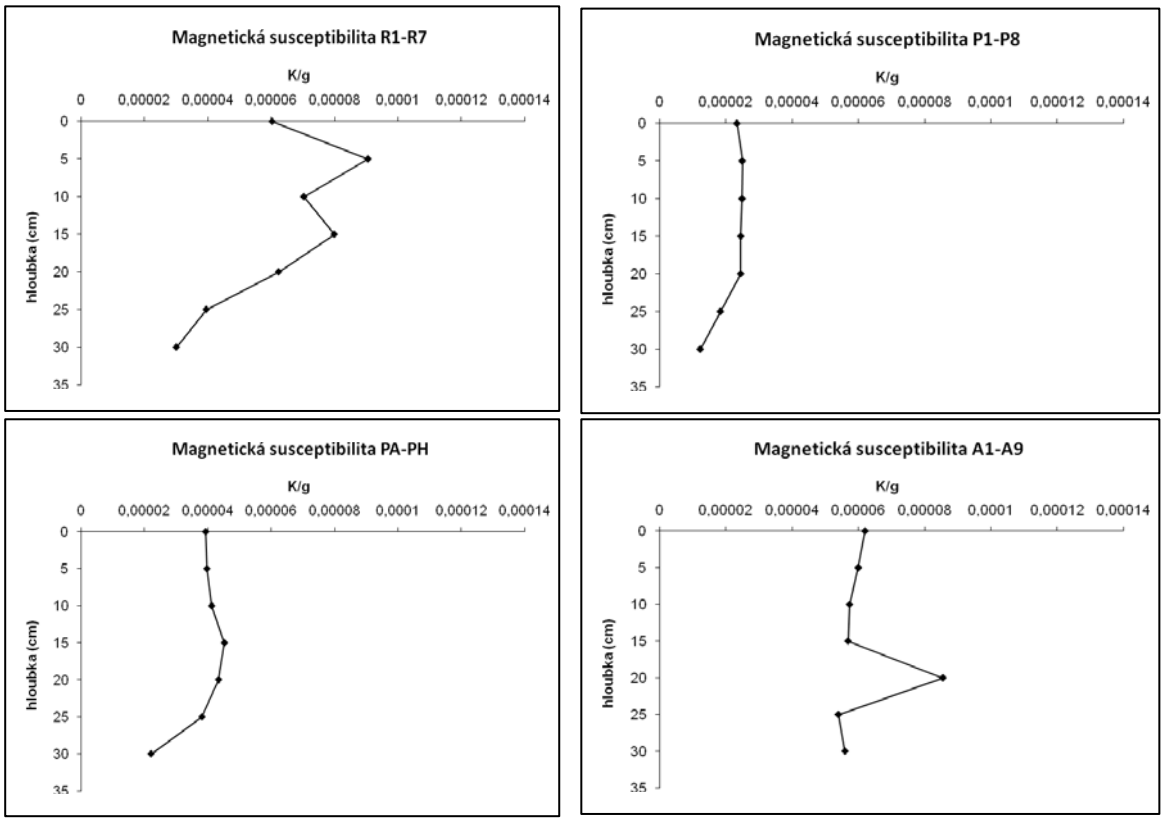
Sledování ^{137}Cs ukazuje nejvyšší hodnoty při povrchu referenční sondy s postupným poklesem k neměřitelným hodnotám pod 4 Bq/kg, což je detekční práh přístroje. Obsah sledovaného radionuklidu je výrazný v povrchovém A-horizontu, který byl vystaven atmosférickému spadu a prudce klesá k neměřitelným (rozhraní A a C-horizontu) až nulovým hodnotám (C-horizont – spraš). Odběr byl proveden v místě relativně neovlivněném zemědělskou činností, kde se také nepředpokládaly výrazné účinky vodní eroze (viz obr. 6). Naopak na intenzivně využívaném půdním bloku jsou naměřené hodnoty výrazně nižší (obr. 7 a 8) a je zde vidět akumulaci spraše na zbytcích původního A-horizontu (obr. 7), hodnoty jsou na detekčním prahu, sonda v horní části svahu. Na obr. 8 (sonda ve střední části svahu) je naopak vidět půdní redistribuce z horní části svahu i zvýšení koncentrace radioizotopu a poté její pokles v C-horizontu pod detekční rozsah.

Obr. 9, sonda v blízkosti údolnice, ukazuje oscilaci hodnot, spolu s nepřítomností C-horizontu se zde dá očekávat značná akumulace sedimentů.



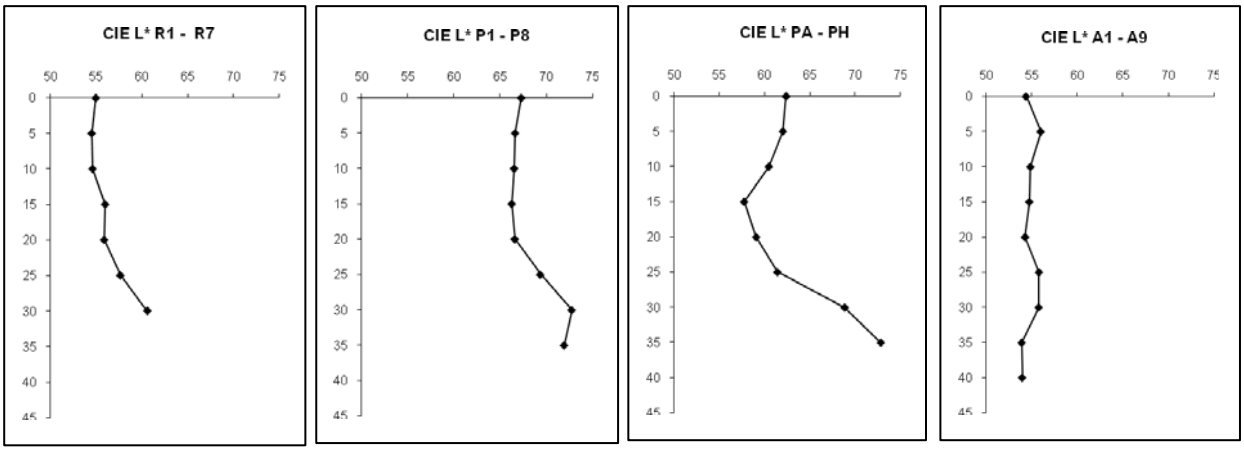
Obr. 6 – 9 Aktivita ^{137}CS v půdním profilu určená na základě neporušených půdních vzorků odebraných v horní (P1-P8), střední (PA-PH) a dolní (A1-A9) části svahu; vzorky R1-R7 značí referenční hodnoty z erozně nenarušeného stanoviště

Měření magnetické susceptibility, barvy půdy a obsahu organického uhlíku umožnilo hodnocení erozního procesu dále do hloubky více než 2,5 m, viz níže hodnocení sondy A3M. Magnetická susceptibilita se v odebraných vzorcích půdního profilu chová obdobně jako ^{137}Cs. V částech profilu s významným podílem erodované spraše či v C-horizontu dosahuje nejmenších hodnot (obr. 11 a 12), naopak v A-horizontu nejvyšších (obr. 10 a 13).



Obr. 10 – 13 Magnetická susceptibilita v půdním profilu v horní (P1-P8), střední (PA-PH) a dolní (A1-A9) části svahu; vzorky R1-R7 značí referenční hodnoty z erozně nenarušeného stanoviště.

Narušení normální stratigrafie hlavních horizontů v půdním profilu černozemě je vidět i pouhým zrakem. Tyto změny způsobené redistribucí části půdního profilu dolů po svahu vlivem eroze a následný proces koluviace se odrazil i v barvě půdy. Hodnocení půdního profilu spektrální fotometrií mělo za cíl objektivně postihnout kolorimetrické vlastnosti jednotlivých půdních vzorků. Tmavé zbarvení vzorků (horizontu) se projevilo ve vyšší absorpci a nižší reflektanci viditelného záření emitovaného spektrofotometrem (obr. 14 a 17). Čím byly vzorky světlejší (s podílem spraše, čistá spraš v C-horizontu), tím byl poměr pohlceného a odraženého světla opačný (obr. 15 a 16).

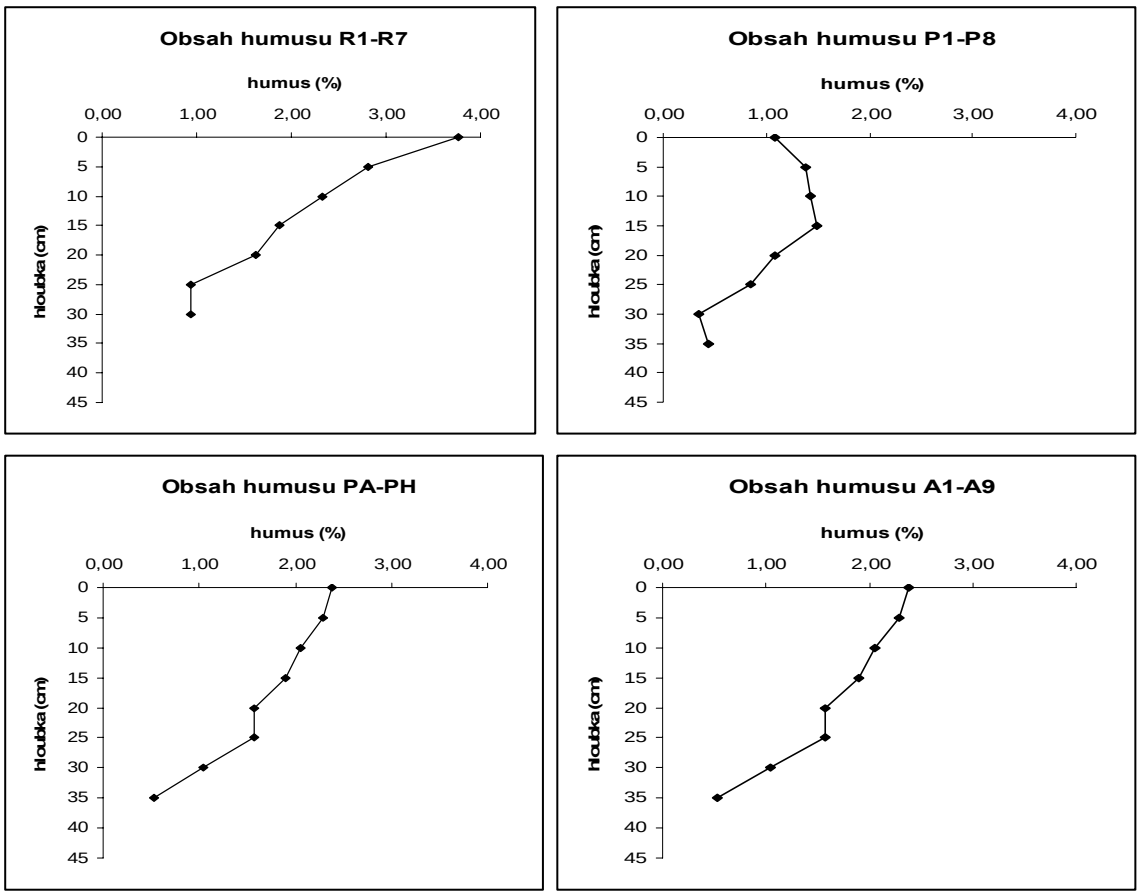


Obr. 14 – 17 Spektrální reflektance v půdním profilu v horní (P1-P8), střední (PA-PH) a dolní (A1-A9) části svahu; vzorky R1-R7 značí referenční hodnoty z erozně nenarušeného stanoviště

Obsah humusu v jednotlivých horizontech půdního profilu a barva půdy jsou obecně v těsné korelaci (Olson *et al*., 2002), což potvrdil i laboratorní rozbor vzorků. Největší podíl humusu měly vzorky z humusového A-horizontu (obr. 18 a 21). Silně (spraš na povrchu) a středně degradovaný

profil (vysoký podíl redeponované spraše) měl naopak nízký až velmi nízký podíl humusu, viz obr. 19 a 20.

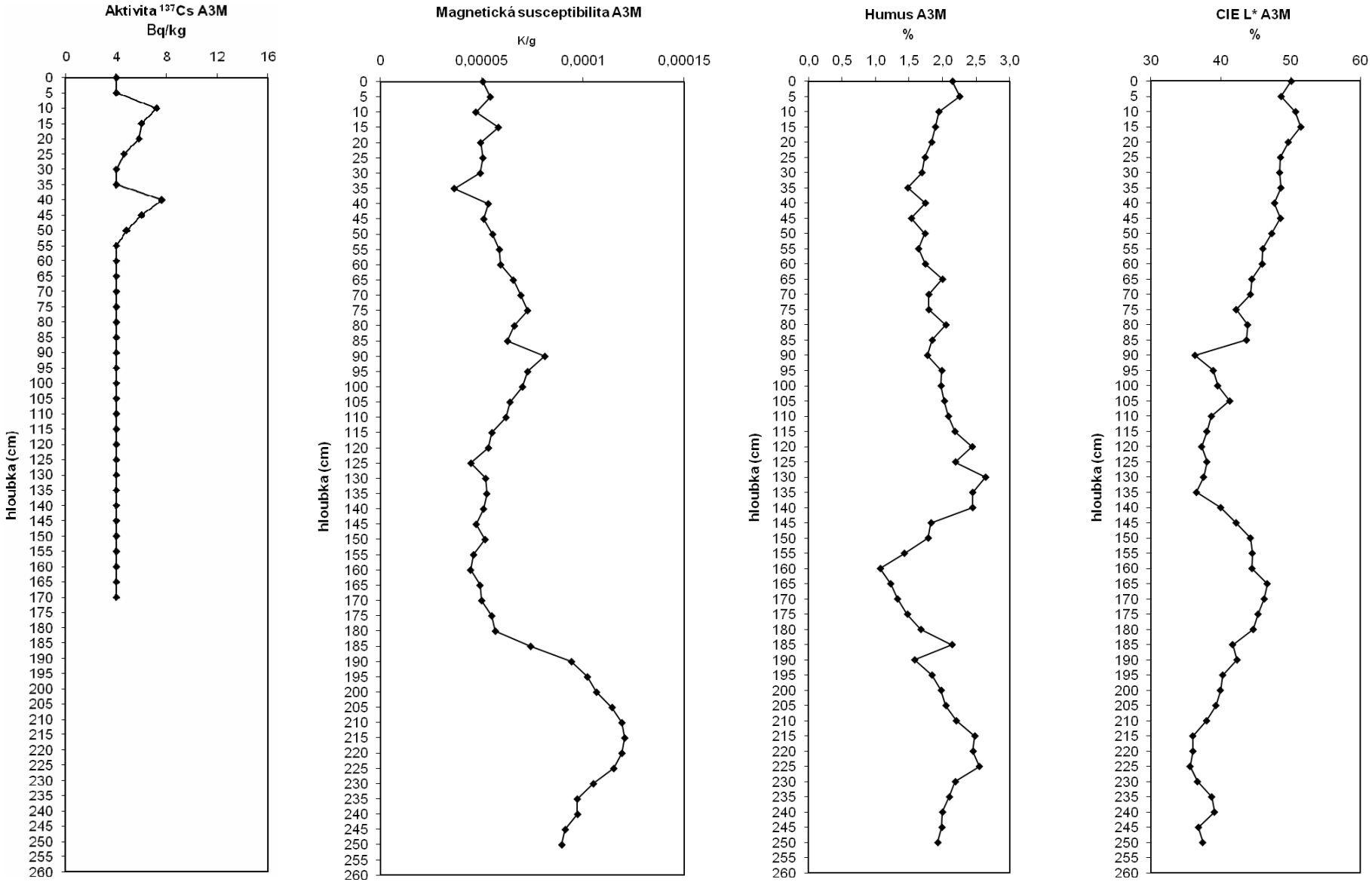
Na základě laboratorních analýz vzorků odebraných půdní sondou neodpovídal ani jeden z polních profilů (P1-P8, PA-PH, A1-A9) běžné stratigrafii černozemního profilu, kterou naplňoval jen referenční profil (R1-R7) s normálně vyvinutými diagnostickými horizonty.



Obr. 18 – 21 Obsah humusu v půdním profilu v horní (P1-P8), střední (PA-PH) a dolní (A1-A9) části svahu; vzorky R1-R7 značí referenční hodnoty z erozně nenarušeného stanoviště.

Vzhledem k absenci humusového A-horizontu v místech identifikovaných erozních ploch (horní, relativně strmé části svahu) a jeho redepozice s příměsí spraše z obnaženého C-horizontu v prostoru kolem údolnice a paty svahu byl odebrán v těchto místech profil skládající se z celkem tří segmentů, dosahující do hloubky cca 2,5 m označený jako A3M. Výsledky laboratorních analýz (obr. 22 – 25) zde potvrzují silnou akumulaci sedimentů vlivem vodní eroze a následný proces koluviace. Průběh naměřených hodnot půdním profilem poukazuje na dynamické změny jak v prostoru (hloubce), tak i v čase.

Naměřené hodnoty obsahu ^{137}Cs indikují uložení zhruba 50 cm mocné akumulace od 60. let 20. st., kdy tento radioizotop mohl kontaminovat původní povrchový horizont (obr. 22). Hodnoty nabývají dvojitého skokovitého průběhu, což může být způsobeno přimísením většího podílu spraše, případně s vlivem havárie jaderné elektrárny v Černobylu. V hlubších vrstvách již nebylo ^{137}Cs přítomno, proto se neměřilo v celém odebraném profilu. Omezení časového sledování půdní redistribuce plynoucí z výskytu ^{137}Cs až od prvních testů jaderných zbraní je zčásti možné odstranit, resp. datově posunout měřením magnetické susceptibility (obr. 23). Výrazný nárůst hodnot magnetické susceptibility v hloubce kolem 2 – 2,3 m pod současným povrchem je zajímavý fakt, který by za předpokladu potvrzení antropogenního původu obsažených feromagnetik, mohl ukazovat na původní dnes pohřbený A-horizont. Tento závěr také podporují naměřené hodnoty obsahu humusu (nárůst obsahu organického uhlíku) a spektrální charakteristiky (zvýšení sytosti barvy) a dále absence diagnostického sprašového C-horizontu v této hloubce (obr. 24 a 25).



br. 22 – 25 Grafické znázornění obsahu radionuklidu ^{137}Cs, magnetické susceptibility, obsahu humusu a spektrální reflektance na základě měření vzorků napříč půdním profilem v blízkosti údolnice, viz obr. 1 značeno A3M. Speciální sondou uzpůsobenou pro odběr neporušených jader byly odebrány celkem 3 segmenty půdního profilu s původním zvrstvením.

7.4 ZÁVĚR

Letecké snímky (aktuální barevné i archivní černobílé) poskytly uspokojivé výsledky z hlediska prostorového vymezení rozsahu a lokalizace degradovaných ploch, zejména v lokalitách, kde je nápadný kontrast mezi nadložními horizonty a půdotvorným substrátem, jako v případě černozemí. Ve spojení s digitální vrstvou vrstevnic, resp. digitálním modelem terénu je možné identifikovat i potenciálně akumulační plochy, což potvrdily i laboratorní analýzy půdních vzorků s odebraných půdních profilů. Letecké snímky byly využívány pedology již dříve, nicméně nikoli pro potřeby sledování dynamiky erozních procesů v čase. Rozvoj výpočetní techniky a geografických informačních systémů (GIS) a možností dálkového průzkumu Země umožňuje provádět relativně rychlé a přesné analýzy erozních procesů na plošně rozsáhlém území.

Výsledky měření obsahu ^{137}Cs poskytují relativně spolehlivý odhad stupně a plošného rozsahu půdní redistribuce za posledních 40 – 50 let. Limitem tohoto indikátoru je však přirozený poločas rozpadu a období vzniku, resp. uvolnění do prostředí. V případě ^{137}Cs tedy nelze datovat sedimenty za horizont 60. let 20. st. Datování erozně-akumulačních procesů lze však posunout ještě dále zpět v čase díky měření antropogenních feromagnetik – magnetické susceptibility. Hranicí se tak stává éra nástupu průmyslové revoluce spojená s masivním spalování fosilních paliv. Datové určení (odhad) nástupu člověkem zrychlené eroze, resp. identifikace původního povrhu A-horizontu, na kterém vznikl nový profil koluvizemě, je možný kombinací uvedených metod. Spektrofotometrické měření barvy půdy a obsahu organického uhlíku tak vhodně doplňuje výše zmíněné metody výzkumu eroze na intenzivně využívané zemědělské půdě. Zejména po roce 1950 došlo na našem území na scelených velkoplošných půdních blocích k 2 – 10 x (místy 20 – 100 x) akceleraci vodní eroze (Bulíček a kol., 1977), což potvrzují i archivní letecké snímky. Rozsah a dopady působení eroze však nejsou jen problémem lokálního charakteru ani několika mála posledních let, což je vidět i na uvedeném příkladu erozí degradované černozemě, která patří z produkčního hlediska mezi naše nejhodnotnější půdy vysoké kvality. Znalost plošného rozsahu, lokalizace a časového průběhu zrychlené vodní eroze je základním předpokladem pro efektivní ochranu zemědělské půdy a plánování protierozních opatření. Přitom relevantní informace o tomto degradačním procesu nejsou plošně podrobně mapovány.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy a Ministerstvu životního prostředí za podporu výzkumu prostřednictvím grantů 2B06101 a VaV SP/2d3/155/08 a doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi, CSc. a doc. Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr. za spolupráci při analýzách půdních vzorků.

Literatura

ČURLÍK J., ŠURINA B. 1998. *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*. Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 134 s.

BULÍČEK J. a kol. 1977. *Voda v zemědělství*. SZN, Praha, 295 p.

KAPIČKA A., PETROVSKÝ E. 2004. Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí. *Československý časopis pro fyziku* 4/2004.

KAPIČKA A., PETROVSKÝ E., FIALOVÁ, H., PODHÁZSKÝ, V. 2004. Využití magnetické susceptibility lesních půd pro mapování imisní zátěže v regionu KRNAP. *Opera Corcontica* 41, 55-59.

LILLESAND T. M., KIEFER R.W., CHIPMAN J.W. 2007. *Remote sensing and Image Interpretation*. Sixth Edition. Wiley, 756 p.

OLSON K.R., GENNADIYEV A.N., JONES R.L., CHERNYANSKII S. 2002. Erosion on cultivated and reforested hillslope in Moscow Region, Russia. *Soil Science Society of America Journal* 66: 193-201.

OLSON K.R., JONES R.L., GENNADIYEV A.N., CHERNYANSKIIS., WOODS, W.I., LANG J.M. 2002. Accelerated Soil Erosion of a Mississippian Mound at Cahokia Site in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1911-1921.

ROTHWELL R.G. (ed.) 2006. *New techniques in sediment core analysis*. Geological Society, London, special publications, 267 p.

VISCARRA ROSSEL R.A., MINASNY B., ROUDIER P., McBRATNEY A.B. 2006. Colour space models for soil science. *Geoderma* 133: 320-327.

LAL R. 1998. Soil quality and sustainability. In: Lal R., Blum W.H., Valentine C., Stewart B.A. (eds.): *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton, CRC Press: 547-554.

ZAPATA F. 2002. *Handbook for assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclide*, 219 p.

8. DETAILIZÁCIA INTERAKTÍVNEHO ERÓZNEHO MODELU ZA ÚČELOM OPTIMALIZÁCIE SPÔSOBU OBHOSPODAROVANIA POĽNOHOSPODÁRSKEJ PÔDY

8 Refinement of an interactive erosion model aiming the optimization of agricultural land cultivation

Ján Styk, Boris Pálka*

ABSTRAKT
V súčasnej dobe patrí erózia pôdy k najzávažnejším environmentálnym hrozbám, ktoré primárne vplývajú na znižovanie kvality poľnohospodárskych pôd a zhoršovanie celkového potenciálu eróziou postihnutého územia (*on and off-site* efekty erózie). Znižovanie úžitku z pôdy a krajiny vplyvom erózie môže ísť na vrub nedostatku informácií týkajúcich sa jej intenzity na konkrétnych plochách, ako aj nedostatočnému využívaniu vhodných protieróznych opatrení. *On-line* aplikácia erózneho modelu pre výpočet straty pôdy umiestnená na stránke pôdneho portálu (www.podnemapy.sk) umožňuje užívateľovi poľnohospodárskej pôdy prístup k relevantným informáciám, ktoré sa dotýkajú problematiky intenzity vodnej erózie a jej plošnej distribúcie na konkrétnych kultúrnych dieloch. Získané informácie sú vhodným odrazovým mostíkom pre návrh a realizáciu optimálneho manažmentu hospodárenia na pôde využívaním odporúčaných protieróznych postupov a technológií Cieľom optimalizácie spôsobu obhospodarovania poľnohospodárskej pôdy je znižovanie jej strát na hodnoty, ktoré neprekračujú limity uvedené v zákone o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (220/2004 Z.z.). Základná štruktúra *on-line* aplikácie využíva schému predikčného erózneho modelu Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE) v prostredí GIS. Pri jej tvorbe boli využité aktualizované a detailizované digitálne vrstvy eróznych faktorov vyplývajúcich zo schémy USLE (erozivita dažďa, erodibilita pôdy, vplyv reliéfu, vplyv plodiny). Výber vhodných opatrení na ochranu pôdy pred eróziou vychádza z poznania jej intenzity a priestorového rozšírenia v konkrétnych podmienkach záujmového územia. Detailizáciou erózneho modelu bola aplikácia doplnená o návrh vhodného manažmentu hospodárenia na pôde využitím odporúčaných protieróznych opatrení a postupov.
Kľúčové slová: USLE, interaktívny erózny model, intenzita erózie, protierózne opatrenia

ABSTRACT
Soil erosion is one of the most important environmental threats with primary influence on decreasing of quality of agricultural soils at present time as well as the decreasing of area potential which is affected by erosion (on- and off-site effects). The deficiency of information on soil erosion intensity and insufficient application of appropriate soil conservation measures has the main influence on decreasing of profit from the soil and the country, as well. On-line application of predictive erosion model for the soil loss calculation is possible to find on the web page of Soil portal (www.podnemapy.sk). Obtained information is significant for the application of unlimited access on water erosion intensity including its area distribution according to the concrete fields. Obtained data are suitable as a starting point for the developing and realisation of suitable soil management using measures and technologies to combat soil erosion. The main object of this optimization of land management is decline of soil loss (values have to be lower in comparison to given limits in Act 220/2004 Z.z.) in concrete soil-climatic and geomorphological conditions of monitored sites. The structure of interactive application is built up on the scheme of Universal Soil Loss Equation (USLE) in GIS. Revised and actualised digital layers of individual erosive factors were applied for the purpose of creation of this on-line application. Selection of appropriate soil conservation measures is result of the recognition of soil erosion intensity and its area distribution under concrete conditions of individual sites. Erosion model application was prepared in more details by possibility to including suitable soil management using recommended measures to combat soil erosion.
Key words: USLE, interactive erosion model, soil erosion intensity, measures to combat soil erosion

---

* Ing. Ján Styk, CSc., RNDr. Boris Pálka, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, SR, e-mail: j.styk@vupop.sk, b.palka@vupop.sk

8.1 ÚVOD

Erózia pôdy je svojou podstatou prirodzený, fyzikálny proces, ktorý je najmä v období intenzifikácie poľnohospodárstva významne urýchľovaný neuváženou činnosťou, alebo skôr povedané nečinnosťou človeka. Primárny výsledok pôsobenia eróznych faktorov na poľnohospodársku pôdu (*on-site* efekt) je strata najúrodnejšej biologicky aktívnej humusovej vrstvy pôdy a z toho prameniaci výrazný úbytok organickej hmoty a živín (organická hmota a živiny sú pomerne pevne fixované na povrchy jemného koloidného podielu pôdnej hmoty). *Off-site* efekty vplyvu erózie v poľnohospodárskej krajine sa prejavujú predovšetkým zmenami tvaru reliéfu, eutrofizáciou vodných plôch, kontamináciou pôd, zanášaním vodných zdrojov splaveninami, atď. Týmto sa pôdna erózia zaraďuje k najzávažnejším environmentálnym hrozbám, ktoré prispievajú k znižovaniu potenciálu územia a zhoršovaniu kvality života v ňom (znižovanie úžitku z pôdy a krajiny).

Dlhodobým neriešením problematiky erózie a jej vplyvu na znižovanie produkčnej schopnosti pôd sa vystavujeme riziku až ich degradácie, kedy nebudú schopné plniť základnú funkciu pôdy a to poskytovať úrodu. Zhoršovanie potenciálu poľnohospodárskej krajiny vplyvom erózie môže ísť na vrub nedostatočnému využívaniu vhodných pôdoochranných opatrení, hoci zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy je v platnosti už od roku 2004.

Účinná ochrana pôdy pred eróziou je postavená na informáciách o intenzite erózie v konkrétnych podmienkach lokality a jej priestorovom rozšírení. *On-line* aplikácia modelu pre výpočet erózie pôdy (interaktívny model) bola vytvorená pre užívateľov poľnohospodárskej pôdy s cieľom zjednodušiť spôsob získavania relevantných informácií o konkrétnom kultúrnom dieli vzťahujúcich sa k erózii (intenzita a plošné rozšírenie). Získané informácie sú dôležitým podkladom pre zorganizovanie si optimálneho spôsobu obhospodarovania pôdy (využívanie odporúčaných protieróznych postupov) s cieľom zabrániť, alebo zminimalizovať straty pôdnej hmoty do tej miery, aby neboli prekročené limity pre eróziu uvedené v zákone 220/2004 Z.z.

8.2 CIELE RIEŠENIA

Naším prioritným záujmom je umožniť prístup všetkým užívateľom poľnohospodárskej pôdy k relevantným informáciám o intenzite vodnej erózie a jej priestorovom rozšírení. Ďalej chceme poskytnúť možnosť výberu vhodných protieróznych opatrení za účelom zamedzenia vzniku nadlimitnej erózie resp. znižovanie jej intenzity. Na základe uvedeného sme si stanovili za cieľ vytvorenie *on-line* aplikácie predikčného erózneho modelu pre výpočet straty pôdy (interaktívny model). Vytvorená aplikácia bude súčasťou poradenstva o intenzite erózie, jej rizikách a spôsobe ochrany pred eróziou pôdy. Súčasťou interaktívneho modelu bude aj výber pôdoochranných opatrení, z ktorých si užívateľ bude môcť navrhnúť vhodný manažment obhospodarovania pôdy v zhode s legislatívou na ochranu poľnohospodárskej pôdy.

8.3 MATERIÁL A METÓDY

Do základnej štruktúry interaktívneho erózneho modelu je zabudovaná všeobecne známa Univerzálna rovnica straty pôdy (USLE). Model využíva dostupné dáta a vytvorené digitálne vrstvy charakterizujúce pôdno-klimatické a geomorfologické podmienky Slovenska v zhode so štruktúrou rovnice USLE (Wischmeier, Smith, 1978).

Ak pri výpočte straty pôdy nie je zohľadnený ochranný vplyv vegetačného pokryvu pôdy hovoríme o potenciálnej erózii, ktorá predstavuje možnú (teoretickú) ohrozenosť pôdy procesmi vodnej erózie“

$A = R \,.\, K \,.\, LS$

Aktuálna erózia predstavuje reálne ohrozenie pôdy procesmi vodnej erózie pri zohľadnení aktuálneho vegetačného krytu a spôsobu obhospodarovania (Šúri a iní, 2002).

$A = R \,.\, K \,.\, LS \,.\, C \,.\, P$

A – vygenerovaná digitálna vrstva priemernej ročnej straty pôdy (potenciálna erózia) v tonách z hektára (Styk a iní, 2009)

R faktor – digitálna vrstva faktora erozivity dažďa, ktorý je definovaný ako súčin energie dažďa a jeho maximálnej 30-minútovej intenzity (Styk, Pálka, 2007)

K faktor – digitálna vrstva faktora erodibility pôdy, ktorý je ovplyvnený jej základnými parametrami ako sú zrnitosť, štruktúra pôdy, obsah organickej hmoty (Styk a iní, 2008)

LS faktor – digitálna vrstva faktora vplyvu reliéfu vyjadruje efekt topografie na množstvá pretransportovanej pôdnej hmoty (Styk, Pálka, 2007)

C faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu vyjadruje vplyv vegetácie a použitej agrotechniky na intenzitu erózie (Alena, 1991)

P faktor účinnosti protieróznych opatrení, ktorý je vyjadrený pomerom straty pôdy obhospodarovanej vrstevnicovou agrotechnikou a štandardnou orbou (Stone, Hilborn, 2000)

Charakteristika záujmovej lokality z pohľadu rozšírenia vodnou eróziou ovplyvnených pôd je dôležitým krokom pri návrhu spôsobu ochrany pôdy pred eróziou. Protierózna ochrana je predovšetkým chápaná ako komplex opatrení slúžiacich na zníženie intenzity erózie do tej miery, aby sa jej negatívny vplyv neprejavil na znížení produkčnej schopnosti pôdy. Stručná charakteristika jednotlivých protieróznych opatrení, ktoré sú vhodné pre realizáciu v erózne senzitívnych oblastiach SR je uvedená na úvodnej webovej stránke vodnej erózie.

8.4 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Prostredníctvom interaktívneho erózneho modelu má užívateľ poľnohospodárskej pôdy prístup ku konkrétnym informáciám (na úrovni kultúrnych dielov), ktoré sa týkajú:

- intenzity erózie poľnohospodárskej pôdy (strata pôdy vyjadrená kategóriami erodovanosti);
- priestorového rozšírenia eróziou ovplyvnených pôd;
- odporúčaných protieróznych opatrení (postupov) a ich realizácie.

Na základe plošných výmer jednotlivých kategórií potenciálnej vodnej erózie za rok 2009 (tab. 1) môžeme konštatovať, že erózia je vážna environmentálna hrozba, ktorá sa väčšou či menšou intenzitou prejavuje na takmer 40 % výmery poľnohospodárskej pôdy (Styk, Pálka, 2010).

Tab. 1 Kategórie erodovanosti a ich výmera v SR

Kategórie erodovanosti (strata pôdy)	Výmera v ha	% z PP
Žiadna, alebo nízka (0 – 4 t/ha/rok)	1 458 014	60,3
Stredná (4 – 10 t/ha/rok)	246 629	10,2
Vysoká (10 – 30 t/ha/rok)	357 854	14,8
Extrémna (viac ako 30 t/ha/rok)	355 436	14,7
Spolu	2 417 933	100

Vhodne zvolenou protieróznou ochranou je možné významne eliminovať negatívny vplyv dažďovej vody, alebo topiaceho sa snehu na pôdu. Informácie, ktoré užívateľ pôdy získa pri práci s *on-line* aplikáciou erózneho modelu sú dôležitým podkladom pre zorganizovanie si optimálneho spôsobu obhospodarovania pôdy. Výberom a realizáciou odporúčaných protieróznych postupov sa môžu znížiť straty pôdnej hmoty do tej miery, aby neboli prekročené limity pre eróziu uvedené v zákone 220/2004 Z.z.

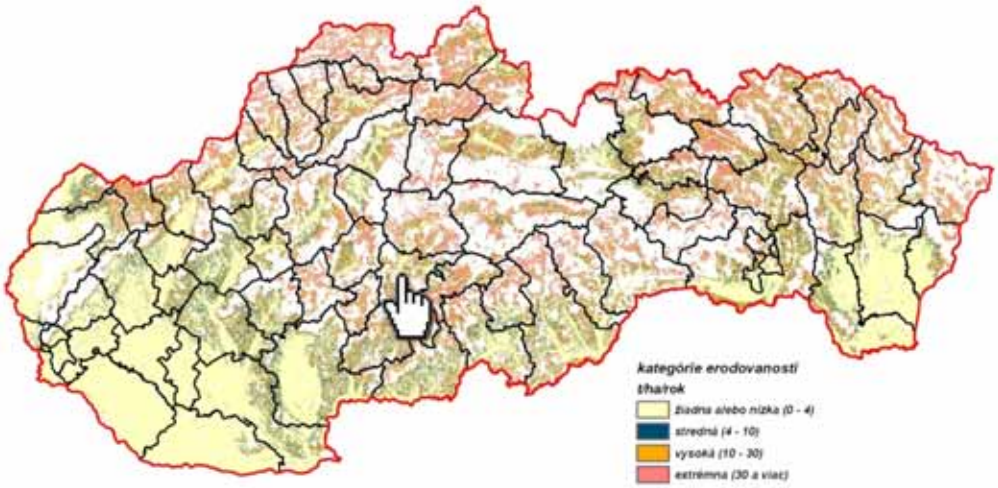
8.4.1 Práca s interaktívnym modelom

Užívateľ poľnohospodárskej pôdy, ktorý chce získať informácie o intenzite a plošnom rozšírení vodnej erózie (na obhospodarovaných parcelách) a na základe toho navrhnúť vhodný manažment obhospodarovania pôdy sa po zadaní internetovej adresy www.podnemapy.sk dostane na stránku „Pôdneho portálu“ Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy. V sekcii vytvorenej pre prístup k informáciám „Aplikácie pre verejnosť“ sa cez oddelenie „Fyzikálna degradácia pôdy“ dostane na aktívnu ikonu „Vodná erózia pôdy“. Kliknutím na túto ikonu sa zobrazí stránka, ktorej súčasťou je textová tabuľková a grafická časť (obr. 1).

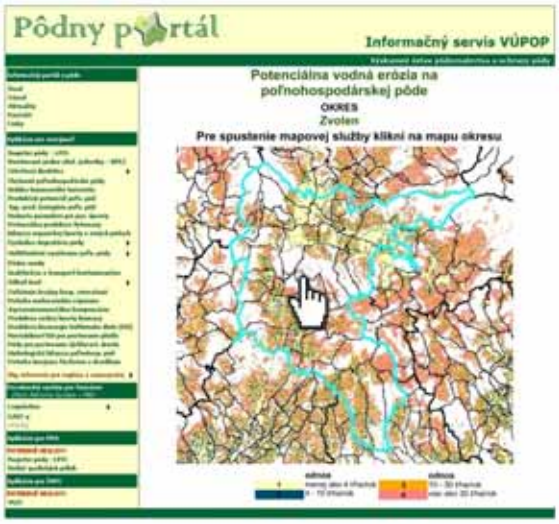
V textovej časti sa podáva stručná informácia o erózii pôdy spôsobenej vodou a o jej negatívnom vplyve na pôdu. Kladie sa dôraz na informovanosť užívateľov o hraničných limitoch straty pôdy, ktoré sú v zhode so zákonom 220/2004 o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Podstatná časť je venovaná stručnej a výstižnej charakteristike odporúčaných protieróznych opatrení a postupov.

V grafickej časti (obr. 2 a 3) je zobrazená aktívna podkladová mapa potenciálnej vodnej erózie, ktorá je základným elementom pri práci s interaktívnym eróznym modelom. Po načítaní podkladovej mapy sa záujemca, ktorý chce získať prístup k informáciám o intenzite a plošnom rozšírení erózie pôdy na svojich obhospodarovaných pozemkoch, postupným preklikávaním cez okres a kataster dostane až ku konkrétnemu kultúrnemu dielu.

Obr. 1 Pôdny portál Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy (www.podnemapy.sk)



Obr. 2. Aktívna podkladová mapa potenciálnej vodnej erózie



Obr. 3 Aktívna podkladová mapa potenciálnej vodnej erózie na úrovni okresu

S cieľom dostať sa až na záujmovú lokalitu sa pri práci s *on-line* aplikáciou využíva ikonka „lupa“, pomocou ktorej je možné postupné zväčšovanie jednotlivých mapových podkladov (okres, kataster) (obr. 4).

Obr. 4 Zväčšovanie mapových podkladov

V ďalšom bode práce s interaktívnym modelom je nutné si vybrať digitálne vrstvy, ktoré majú byť viditeľné a aktívne. V prípade záujmu o informácie týkajúce sa intenzity vodnej erózie na pôde bez rastlinného pokryvu (potenciálna erózia) na konkrétnom kultúrnom dieli si záujemca musím zadefinovať:

- kultúrny diel – ako viditeľnú a aktívnu vrstvu
- potenciálnu vodnú eróziu – ako viditeľnú vrstvu.

Zobrazí sa grafický výrez mapy potenciálnej erózie s vrstvou kultúrnych dielov (obr. 5 a 6). Na mape sú farebne rozlíšené jednotlivé kategórie erodovanosti (straty pôdy). Kliknutím na žltočervený štvorček (symbol vrstvy) sa rozbalí legenda jednotlivých kategórií erodovanosti od žiadnej alebo nízkej (0 – 4 t/ha/rok) až po extrémnu (> 30 t/ha/rok). Na základe uvedeného je možné vidieť aká priemerná ročná strata pôdy hrozí v prípade ak pôda ostane bez rastlinného pokryvu a bez realizácie protieróznych opatrení. Je to prvotná informácia o potenciáli pôdy podliehať vodnej erózii v konkrétnych pôdno-klimatických a geomorfologických podmienkach lokality.

Obr. 5 Výrez mapy s vrstvou kultúrnych dielov

Obr. 6 Výrez mapy potenciálnej vodnej erózie s vrstvou kultúrnych dielov

Získané informácie o intenzite a plošnom rozšírení potenciálnej erózie využívame pri výbere vhodných poľnohospodárskych plodín a pri návrhu a realizácii takého spôsobu obhospodarovania pôdy (využívaním odporúčaných protieróznych opatrení), aby už nedochádzalo k stratám pôdnej hmoty väčším ako sú limity pre eróziu (tab. 2).

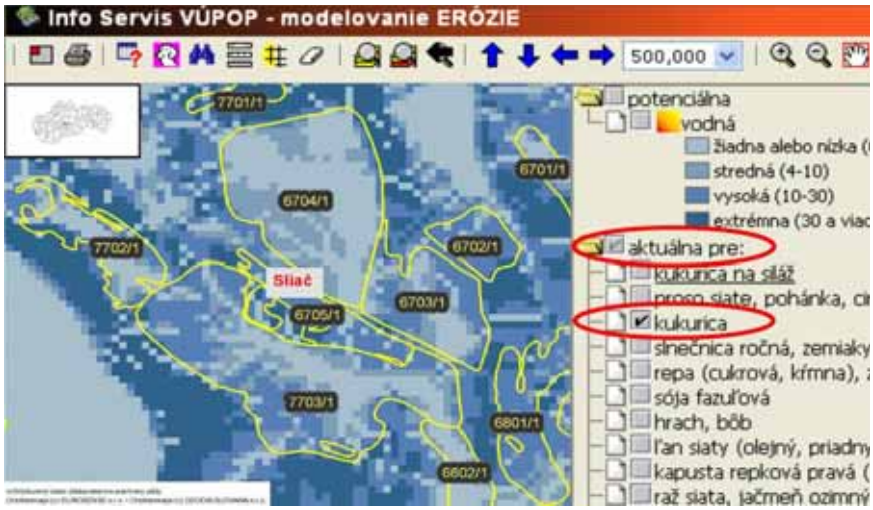
Tab. 2 Limitné hodnoty odnosu pôdy pri erózii sú podľa zákona č. 220/2004 nasledovné:

Hĺbka pôdy	Odnos pôdy (t/ha/rok)
Plytké pôdy (do 0,3 m)	4
Stredne hlboké pôdy (0,3 – 0,6 m)	10
Hlboké pôdy (0,6 – 0,9 m)	30
Veľmi hlboké pôdy (nad 0,9 m)	40

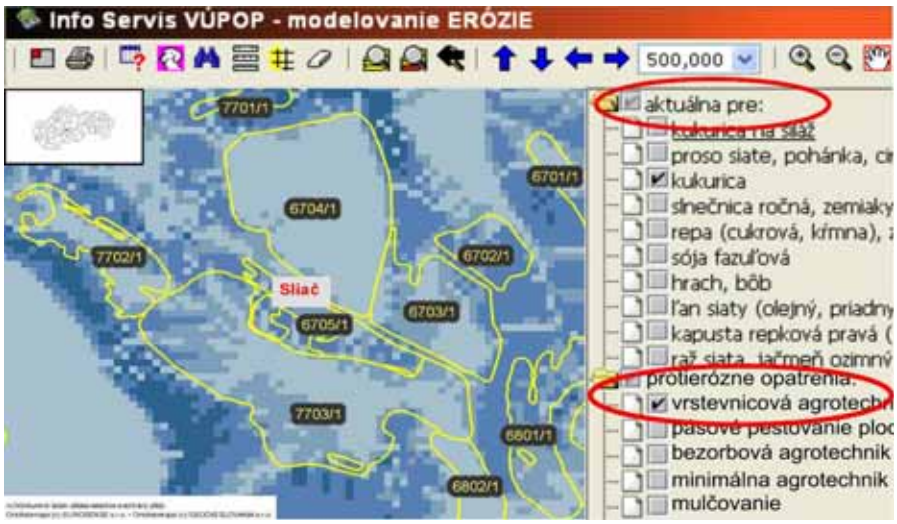
Poznámka: potenciálne hodnoty straty pôdy sa vyčíslujú pomocou modelu USLE, reálne hodnoty sa zisťujú priamym meraním odnosu zeminy

Výber vhodných poľnohospodárskych plodín a protieróznych opatrení, pri aplikácii ktorých nedochádza k prekročeniu erózneho limitu získame zadefinovaním vrstvy aktuálna erózia pre konkrétnu plodinu a následne vrstvy odporúčaných pôdoochranných opatrení. Plodiny vyhovujúce tejto požiadavke môžeme zaradiť do tzv. protierózneho osevného postupu. V konkrétnych podmienkach záujmovej lokality je možné pestovať aj rastliny, ktoré nemajú až taký významný protierózny účinok na pôdu, ale v spojení s realizáciou vhodnej (pôdoochrannej) agrotechniky nedochádza k nadlimitným stratám pôdnej hmoty. Plodiny, pri ktorých dochádza k prekročeniu limitu aj napriek realizácii protieróznych opatrení sa neodporúčajú zaraďovať do osevného postupu.

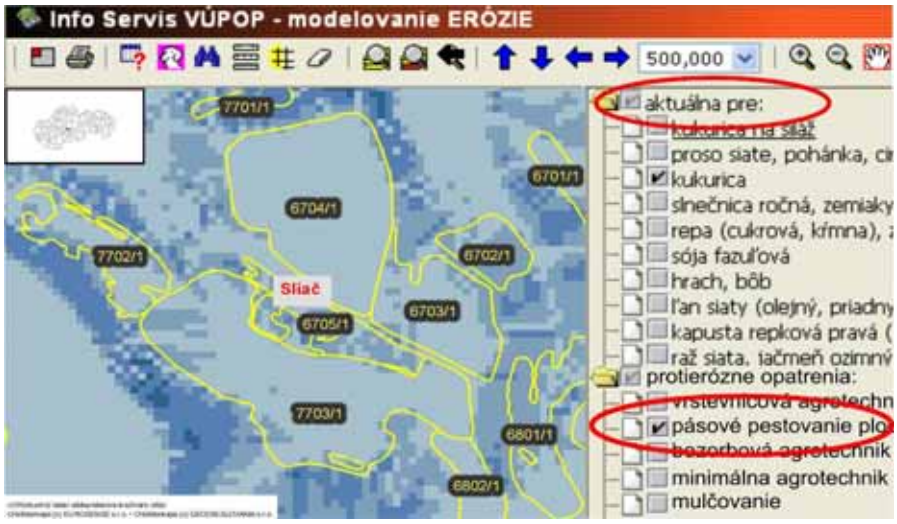
(a)



(b)



(c)



Obr. 7a, b, c Postup pri výbere vhodných poľnohospodárskych plodín a protieróznych opatrení

8.5 ZÁVER

Zhodnotiť územie z pohľadu náchylnosti pôdy podliehať erózii je pomerne náročné vzhľadom k tomu, že erózia vzniká výsledkom vzájomného spolupôsobenia viacerých faktorov. Pri získavaní údajov o intenzite erózie a jej plošnom rozšírení na poľnohospodárskych pôdach využívame *on-line* aplikáciu, ktorej základná štruktúra je tvorená predikčným eróznym modelom Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty (USLE) modifikovaným pre pôdno-klimatické a geomorfologické podmienky Slovenska.

On-line aplikácia zabezpečuje užívateľovi poľnohospodárskej pôdy neobmedzený prístup k relevantným informáciám o intenzite erózie a jej plošnom rozšírení v konkrétnych podmienkach záujmového územia a poskytuje výber odporúčaných protieróznych opatrení.

Prvotné údaje sa týkajú tzv. potenciálnej erózie, ktorá vyjadruje len potenciál pôdy byť erodovaná. V skutočnosti je reálny priebeh procesov vodnej erózie na pôde ovplyvnený súhrou viacerých faktorov ako sú napr. intenzita, výdatnosť a dĺžka trvania zrážok, vlastnosti pôdy, charakter reliéfu atď. Nie vždy na lokalite kde je identifikovaná extrémna potenciálna vodná erózia, erózia tejto intenzity v skutočnosti aj prebieha. Väčšie priblíženie realite dosiahneme v prípade tzv. aktuálnej vodnej erózie, kedy po zohľadnení konkrétnej pestovanej plodiny a protierózneho opatrenia, výmery erózie významne poklesnú (v závislosti od protierózneho účinku rastliny a vplyvu protierózneho opatrenia). Získané informácie majú len informatívny charakter, nakoľko sú výsledkom využitia predikčného erózneho modelu a nie reálnych meraní v teréne.

Na základe údajov vzťahujúcim sa ku konkrétnemu kultúrnemu dielu si užívateľ *on-line* aplikácie môže jednoduchým spôsobom namodelovať, aký budú mať vplyv pestované plodiny a virtuálne vykonané protierózne opatrenia na protieróznu ochranu pôdy. Získa okamžitý prehľad o možnosti zmiernenia erózneho ohrozenia v rámci záujmovej lokality. Výsledná podoba interaktívneho modelu môže v praxi významne prispieť pri riešení spôsobu optimalizácie využívania a obhospodarovania poľnohospodárskej pôdy.

Literatúra

ALENA F. 1991. *Protierózna ochrana na ornej pôde*. Metodická príručka. Bratislava, Štátna melioračná správa, 1991.

STONE R.P., HILBORN D. 2000. *Universal Soil Loss Equation (USLE*), Fact Sheet, Agricultural Engineering, Order no. 00-001, Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, Ontario, 2000.

STYK J., PÁLKA B. 2007. Vyjadrenie eróznej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd SR využitím modelu USLE (Assessment of soil sensitivity to water erosion using USLE model (in the scale of Slovakia)). *Vedecké práce 29*, *Proceedings*. Bratislava, VÚPOP, 2007, 152-159. ISBN 978-80-89128-40-2.

STYK J., PÁLKA B., GRANEC M. 2009. *Vodná erózia pôdy v pôdno-klimatických podmienkach Slovenska*. Dostupné na internete: <http://www.podnemapy.sk

STYK J., PÁLKA B. 2010. *Výmery kategórií potenciálnej vodnej erózie*. Dostupné na internete: <http://www.podnemapy.sk

STYK J., FULAJTÁR E., PÁLKA B., GRANEC M. 2008.Aktualizovaný výpočet faktora erodovateľnosti pôdy (K-faktor) za účelom generovania detailnejšej digitálnej vrstvy (Updated calculation of erodibility of soil factor (K-factor) for the purpose of detailed digital layer generation In: *Vedecké práce* 30, Proceedings. Bratislava, VÚPOP, 2008, 139-146. ISBN 978-80-89128-51-8.

ŠÚRI M., CEBECAUER T., HOFIERKA J., FULAJTÁR E. 2002. Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS. *Ecology (Bratislava)*, vol. 21, 2002, no. 4, 404-422.

WISCHMEIER, W.H., SMITH D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning.* Agricultural Handbook 537, USDA, 1978, 58 p.

ZÁKON Č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

9. PRIESTOROVÁ VARIABILITA OBJEMOVEJ HMOTNOSTI NA MONITOROVACEJ LOKALITE

9 Spatial variability of bulk density on monitoring locality

Miloš Širáň, Jarmila Makovníková*

ABSTRAKT
Podrobné mapovanie priestorovej variability hodnôt priameho indikátora kompakcie pôd (objemová hmotnosť redukovaná) na kľúčovej lokalite Istebné sme uskutočnili na 17 miestach umiestnených v strede a vo vzdialenosti 5 m a 10 m od stredu lokality v 8 smeroch smerovej ružice svetových strán v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm. Odchýlky hodnôt od priemernej hodnoty celého súboru sa pohybovali od -0,075 do +0,066 v hĺbke 0 – 10 cm a od -0,173 do 0,130 v hĺbke 35 – 45 cm. Priestorová variabilita objemovej hmotnosti vyjadrená variačným koeficientom bola vypočítaná 2,9 % v hĺbke 0 – 10 cm a 4,9 % v hĺbke 35 – 45 cm. V programe Surfer7 bol vytvorený priestorový model variability indikátorov kompakcie pôdy na monitorovacej lokalite v jednotlivých hodnotených hĺbkach. Rozdiely hodnôt objemovej hmotnosti pôdy medzi jednotlivými odberovými cyklami sme prekryli týmto intervalom, pričom sme získali informáciu, ktoré z týchto rozdielov môžeme považovať za preukazné. Výsledky ukazujú, že v priebehu rokov 1995 – 2009 došlo k preukazným zmenám objemovej hmotnosti v 7 prípadoch z 9 v hĺbke 0 – 10 cm a v 7 prípadoch zo 14 v hĺbke 35 – 45 cm.
Kľúčové slová: priestorová variabilita objemovej hmotnosti pôdy, indikátor kompakcie pôd, konfidenčný interval

ABSTRACT
Detail spatial variability mapping of direct indicators of soil compaction (bulk density) on key monitoring locality Istebne were realized. 17 samples were sampled in centre and in 5 m and 10 m distance from centre of locality in eight directions of cardinal points in depths 0 – 10 cm and 35 – 45 cm. Differences between individual soil sample values and arithmetic mean of data file ranged from -0,075 to +0,066 in depth 0 – 10 cm and -0,173 to +0,130 in depth 35 – 45 cm. Spatial variability of bulk density values defined by variation coefficient was 2,9 % in depth 0 – 10 cm and 4,9 % in 35 – 45 cm. Spatial variability model of soil compaction in both depths was done in Surfer7. On the base of confidence interval and uncertainly rate of bulk density measure methodology intervals of significant changes were determined. Differences of bulk density values between single sampling were overlap by the intervals of significant changes to obtain significant bulk density value changes in time. The bulk density value changes were significant in seven years within year range 1995 – 2009 in both depths. Negative changes were observed in 2004 and 2005 in topsoil and in 1997, 1998 and 2005 years within subsoil.
Key words: spatial variability of bulk density, indicator of soil compaction, confidence interval

9.1 ÚVOD

Kompakcia pôd patrí podľa zákona č. 220/2004 Z.z. k degradačným procesom. Každý vlastník poľnohospodárskej pôdy je preto povinný vykonávať vhodné agrotechnické opatrenia zamerané na zachovanie kvality pôdy a ochranu pred jej poškodením a degradáciou. Kompakcia pôdy je síce vratným procesom, no pri vynaložení nemalých nákladov. Degradačný proces kompakcie pôd je determinovaný priamymi a nepriamymi indikátormi (Kobza a kol., 2009, Borůvka *et al.*, 2004)). Priamym indikátorom stavu kompakcie pôdy je hodnota objemovej hmotnosti pôdy redukovanej. Jej hodnota ukazuje na mieru a rozsah uľahnutia pôdy. Hodnota objemovej hmotnosti pôdy je potrebná pri hodnotení produkčných i environmentálnych funkcií pôdy (Makovníková, Pálka, Širáň, 2005; Barančíková, Makovníková, Širáň, 2008). Kompakcia pôdy je sledovaná v rámci monitoringu pôd.

* Ing. Miloš Širáň, PhD., RNDr. Jarmila Makovníková, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, SR, e-mail: m.siran@vupop.sk

Systém monitorovania pôd v SR je založený na sieti monitorovacích lokalít (základnej sieti a sieti kľúčových lokalít) a zaznamenáva časové zmeny vybraných vlastností pôd. Stred monitorovacej plochy je charakterizovaný pedologickou sondou s jej morfologickým popisom a identifikačným údajmi. Monitorovacie lokality sú geodeticky zamerané v sústave JTSK (Kobza a kol, 2009). Monitoring na kľúčových lokalitách zabezpečuje podrobné kontinuálne sledovanie pôdnych parametrov so zohľadnením priestorovej variability a to na ploche kruhového tvaru o polomere 10 m a celkovej ploche 314 m^2 v 1-ročných intervaloch v jarnom období. Barrenstein, Leuchs (1991) pokladajú odberovú plochu do 400 m^2 za dostatočnú pre charakteristiku kľúčovej lokality. Odber pôdnych vzoriek sa uskutočňuje v sonde umiestnenej v strede monitorovacej lokality a okrem toho zo štyroch separátnych miest, z náhodne určených miest z plochy monitorovacej lokality. V monitoringu pôd je nevyhnutné sledovať tendencie zmien sledovaných parametrov aj so zohľadnením priestorovej heterogenity. Pri analýze časových radov a stanovení preukazných zmien je preto dôležité poznať priestorovú variabilitu konkrétneho parametra a to na konkrétnej lokalite, aby sa rozdiely v priestore nezamieňali za nevratné vývojové zmeny v čase, čím by sa vytvárali neobjektívne informácie o vývoji pôd.

9.2 MATERIÁL A METÓDY

Kambizeme patria v porovnaní s černozemou, čiernicou alebo hnedozemou, k pôdam s vyššou hodnotou priestorovej variability pôdnych parametrov. Lokalita Istebné (obr.1), kambizem pseudoglejová vyvinutá na flyši, využívaná ako orná pôda, sa nachádza vo Veličianskej doline v Stredných Beskydoch v oblasti Oravskej vrchoviny. Je to stredne ťažká, hlinitá pôda so stredným obsahom humusu a so slabo kyslou až neutrálnou pôdnou reakciou. V období monitorovania sa tu striedala obilnina s dočasnou ďatelinotrávnou miešankou (4 až 5-ročné porasty).

Mapovanie priestorovej variability hodnôt priameho indikátora kompakcie (objemová hmotnosť pôdy redukovaná) na kľúčovej lokalite Istebné sme uskutočnili na jar v roku 2009 podľa polárneho rastra (ISO/CD 10 381, 1992) na 17 odberových miestach umiestnených vo vzdialenosti 5 m a 10 m od stredu monitorovanej lokality v ôsmich smeroch smerovej ružice svetových strán v hĺbke 0 - 10 cm a 35 – 45 cm. V odobratých neporušených vzorkách o objeme 100 cm^3 bola stanovená objemová hmotnosť pôdy redukovaná gravimetrickou metódou (Fiala, 1999).

Obr. 1 Lokalita Istebné

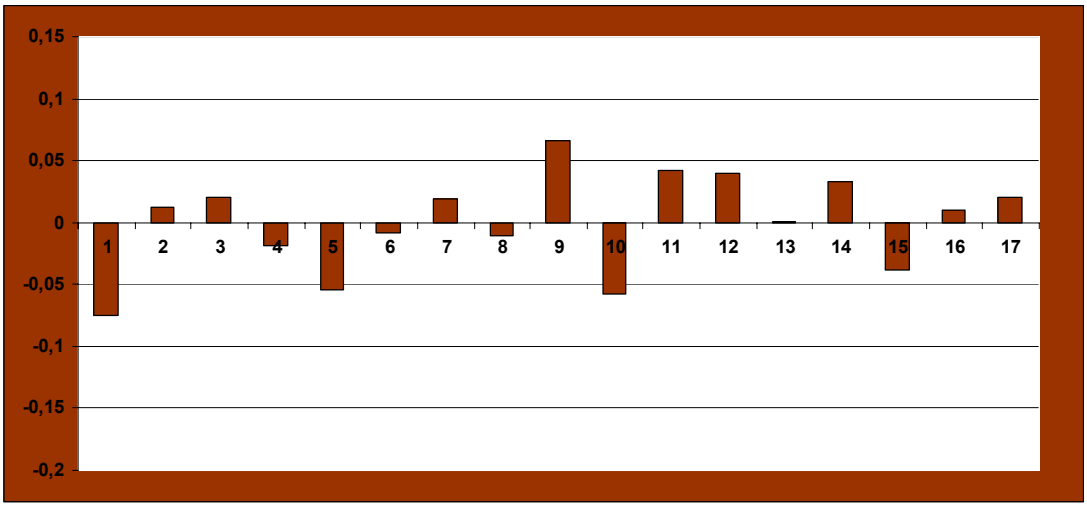
9.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Údaje objemovej hmotnosti (OH) získané podrobným odberom za účelom zistenia priestorovej variability lokality boli štatisticky spracované v rámci ornice i podornice a sú uvedené v tab.1. Z hľadiska jednotlivých častí pôdneho profilu nižšia objemová hmotnosť je v prípade kyprenej ornice, kým v podornici už i priemerná hodnota prekračuje limit zhutnenia pre tento pôdny druh. V hlbších vrstvách je i vyššia variabilita jej hodnôt (väčší rozptyl i variačný koeficient). V roku 2005 (Širáň, 2005) boli testované 2 spôsoby odberu – zo stredu lokality (plocha 1 m^2, 4 vzorky z ornice a 7 z podornice) oproti celej lokalite (náhodný výber z 314 m^2, 5 z ornice, 5 z podornice) na troch odlišných pôdnych druhoch (ľahká, stredne ťažká a ťažká pôda). Rozdiely v hodnotách OH medzi ornicou a podornicou korigovali z výsledkami podrobného odberu vo všetkých prípadoch (2 spôsoby odberu, 3 pôdne druhy). V prípade variability OH však boli zistené niektoré odlišnosti. Vyššia variabilita bola bez ohľadu na spôsob odberu a pôdny druh v ornici v porovnaní s podornicou, čo možno odôvodniť tým, že na daných lokalitách sa pestovali jednoročné plodiny, pod ktoré sa každoročne oralo na rozdiel od lokality Istebné, kde bola v čase odberu už štvrtý rok ďatelinotrávna miešanka (ustálenejší fyzikálny stav). Pozoruhodnosťou je tiež vyššia variabilita OH v rámci podornice pri odbere z centra lokality o ploche 1 m^2 v porovnaní z odberom z celej plochy z 5 miest

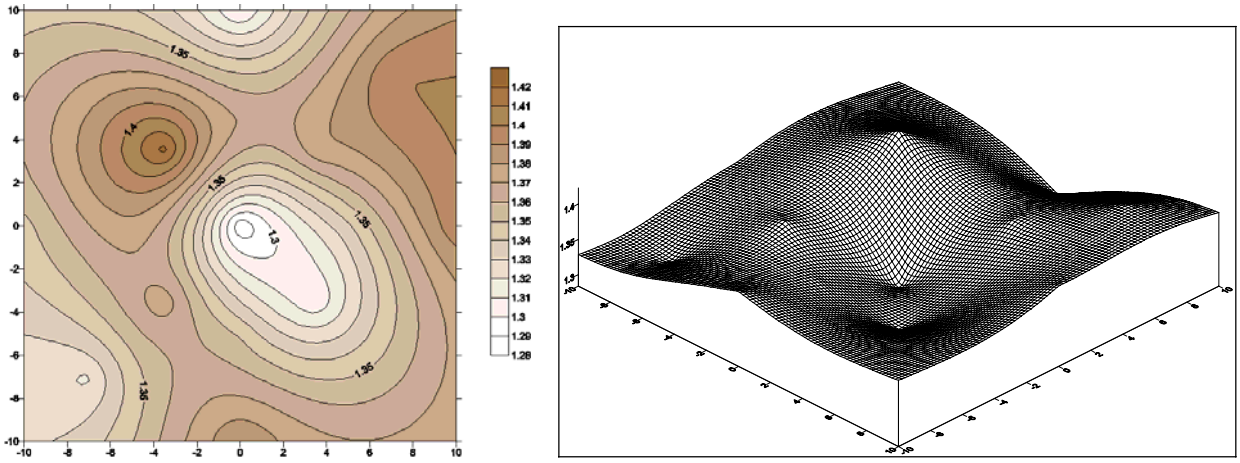
(o 1 % vyššie variačné koeficienty), pričom, ak porovnávame výsledky na úrovni stredne ťažkej pôdy, na lokalite Istebné so 17 odbermi bol variačný koeficient 4,9 %, na lokalite s 5 odbermi 3 % a pri odbere zo stredu lokality 4 %, čo ukazuje na značnú premenlivosť tohto parametra už i na malých vzdialenostiach

Tab. 1 Popisná štatistika hodnôt OH v hĺbkach 0 – 10 a 35 – 45 cm

Štatistické parametre	OH v hĺbke 0 – 10 cm	OH v hĺbke 35 – 45 cm
priemer	1,357	1,459
minimum	1,282	1,287
maximum	1,423	1,590
stredná kvadratická odchýlka	0,039	0,072
variačný koeficient v %	2,864	4,914
Shapiro-Wilksov test	0,693	0,847



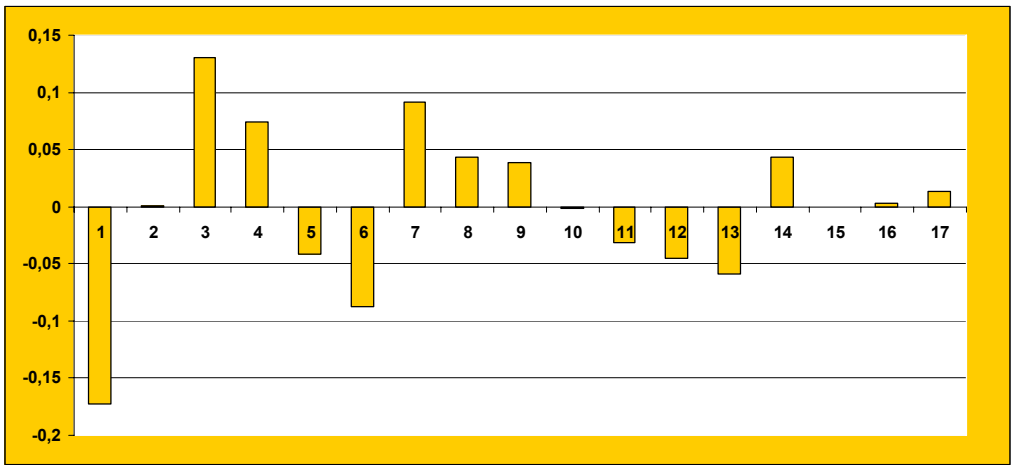
Obr. 2 Odchýlky objemovej hmotnosti pôdy od priemernej hodnoty na jednotlivých odberných miestach v rámci lokality – ornica



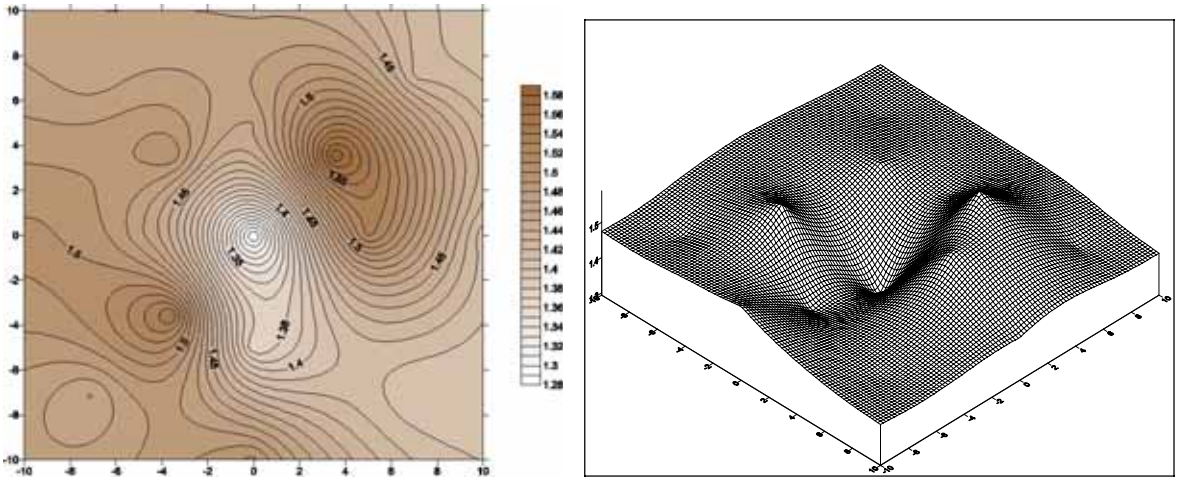
Obr. 3 Priestorový model objemovej hmotnosti pôdy na lokalite - ornica

Odchýlky objemovej hmotnosti pôdy od priemernej hodnoty celého súboru (obr. 2) sa v ornici pohybovali od -0,075 do 0,066. Na obr. 3 je zobrazený priestorový model OH pôdy (plošný aj 3D) vytvorený metódou krígingu použitím nameraných hodnôt.

Vyššie rozdiely hodnôt od priemeru boli zaznamenané v podornici (obr. 4), a to od -0,173 do 0,130 a podobne na ďalšom obrázku je vytvorený priestorový model pre túto hĺbku (obr. 5).



Obr. 4 Odchýlky objemovej hmotnosti pôdy od priemernej hodnoty na jednotlivých odberných miestach v rámci lokality – podornica



Obr. 5 Priestorový model objemovej hmotnosti pôdy na lokalite - podornica

Priestorová variabilita priameho indikátora kompakcie pôd na monitorovacej lokalite bola využitá ako podklad pre vymedzenie intervalu preukazných zmien vývojových časových radov. V programe Statgraphics 5.0 bol stanovený obojstranný konfidenčný interval pre aritmetický priemer normálneho rozdelenia na hladine pravdepodobnosti 95 % podľa vzorca:

$$\mathbf{x - 2\sigma/\sqrt{n} \leq \mu \geq x + 2\sigma/\sqrt{n}}$$

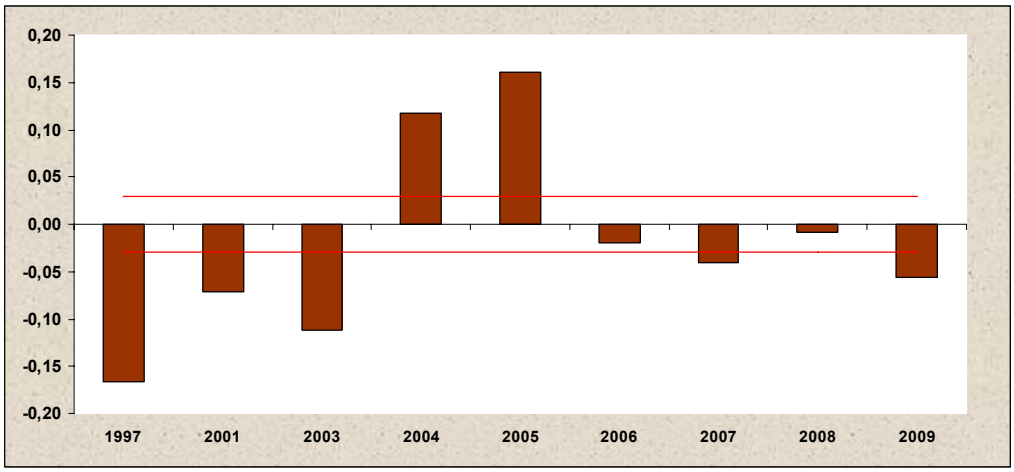
kde stredná kvadratická odchýlka odhadu **σ** je definovaná ako súčet druhej mocniny vychýlenia odhadu a disperzie odhadu a **n** je počet meraní. Konfidenčné intervaly pre jednotlivé hĺbky sú v tab.2.

Interval preukaznosti zmien objemovej hmotnosti pre časové rady sme vytvorili na základe obojstranného konfidenčného intervalu pre strednú hodnotu v daných hĺbkach (plošná variabilita) a miery neurčitosti analytického stanovenia hodnôt objemovej hmotnosti redukovanej. Tento interval je užší v ornici pravdepodobne aj v dôsledku toho, že na lokalite sa už štvrtý rok pestuje tá istá plodina bez kyprenia pôdy. Bol zachytený istý ustálený stav, ktorý ale na druhej strane vzhľadom na doterajší osevný postup je skôr dominantný. Do budúcnosti by však bolo zaujímavé vykonať merania OH v období pestovania jednoročnej plodiny, kedy dochádza k nakypreniu pôdy orbou.

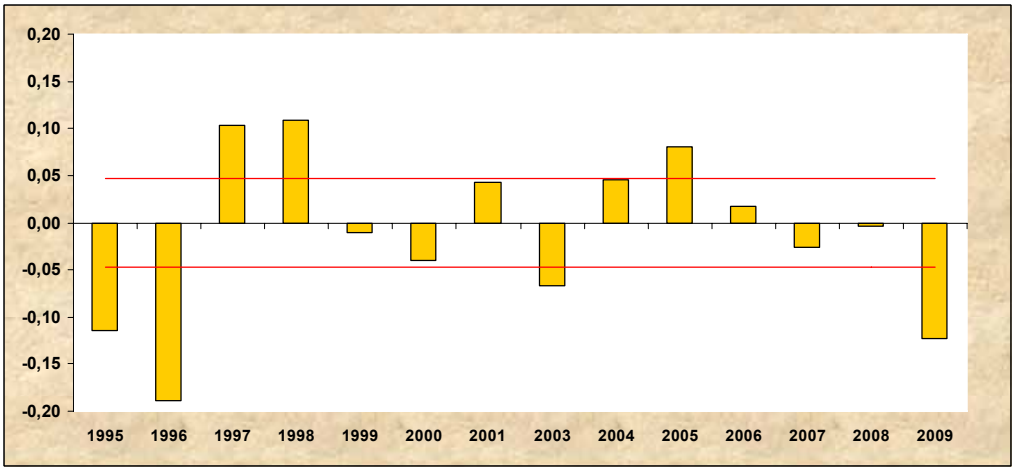
Tab. 2 Konfidenčné intervaly pre objemovú hmotnosť pôdy (OH) v hĺbkach 0 – 10 a 35 – 45 cm

Parameter	Konfidenčný interval		Interval preukazných zmien
OH v hĺbke 0 – 10 cm	1,337-1,377	1,357±0,020	±0,030
OH v hĺbke 35 – 45 cm	1,422-1,496	1,459±0,037	±0,047

Prekrytím zmien objemovej hmotnosti v časových radoch (rozdiely OH medzi odberovými cyklami) s daným intervalom preukaznosti zmien sme získali preukazné zmeny hodnôt priameho faktora kompakcie v čase na monitorovacej lokalite Istebné (obr. 6 – 7). Z uvedených grafov možno vidieť, že k preukazným zmenám častejšie dochádza v ornici (v 7 z 9 prípadov) v porovnaní s podornicou (v 7 zo 14 prípadov). Z toho negatívne zmeny (zhoršenie fyzikálneho stavu pôdy v čase – medzi odberovými cyklami) boli zaznamenané v dvoch prípadoch v rámci ornice a v troch prípadoch v rámci podornice..



Obr. 6 Priebeh zmien OH vo vzťahu k intervalu preukaznosti v hĺbke 0 – 10 cm



Obr. 7 Priebeh zmien OH vo vzťahu k intervalu preukaznosti v hĺbke 35 – 45 cm

9.4 ZÁVER

V príspevku sme sa pokúsili určiť reálne hranice preukaznosti časových zmien priameho indikátora kompakcie objemovej hmotnosti na konkrétnej lokalite i v rámci jednotlivých častí pôdneho profilu. Tieto hranice však bude nutné overiť, resp. doplniť pre prípad pestovania jednoročných plodín na lokalite predovšetkým v rámci ornice.

Literatúra

BARANČÍKOVÁ B., MAKOVNÍKOVÁ J., ŠIRÁŇ M. 2008. Identifikácia senzitívnych oblastí na základe monitorovania zmien pôdnej reakcie, obsahu organickej hmoty a kompakcie. In: *Zborník príspevkov "Pôda – národné bohatstvo". 5. pôdoznalecké dni v Sielnici,* Bratislava, 2008, s. 113-120

BARRENSTEIN A., LEUCHS W. 1991. *Strategien und Techniken zur Gewinnung von Feststoffen*. LWA Materialen 1/91, Probennahme bei Altlasten, Düsseldorf.

BORŮVKA L., PENÍŽEK V., BRODSKÝ L. 2004. Moderní metody hodnocení půdní variability. In *Pedologické dny 2004, Roztoky u Křivoklátu*, 2004, 139-148.

FIALA K. a kol. 1999. Návrh metodík chemického rozboru pôd pre účely pôdneho monitoringu. VÚPOP, Bratislava, 60 s.

KOBZA J., BARANČÍKOVÁ G., ČUMOVÁ L., DODOK R., HRIVŇÁKOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., NÁČINIAKOVÁ-BEZÁKOVÁ Z., PÁLKA B., PAVLENDA P., SCHLOSSEROVÁ J., STYK J., ŠIRÁŇ M., TOTHOVÁ G. 2009. *Monitoring pôd SR – aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie 2002 – 2006 (3. cyklus), VUPOP, Bratislava, 2009, 200 s.

MAKOVNÍKOVÁ J., PÁLKA B., ŠIRÁŇ M. 2005. Modelovanie objemovej hmotnosti s využitím údajov z databáz KPP a ČMS-P, potenciálne zhutnenie a acidifikácia v záujmovom území. In *Štvrté pôdoznalecké dni v SR. Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR* (CD ROM), Čingov, 14.-16.6.2005. VÚPOP – SPS, Bratislava, 2005, ISBN 80-89128-18-1

ŠIRÁŇ M. 2005. Spatial variability of some physical properties on arable soils of different texture with regard to soil compaction. *Vedecké práce* č. 27, VÚPOP Bratislava 2005, 139-146

10. VYUŽITÍ LESNICKÝCH TYPOLOGICKÝCH MAP PRO OPTIMALIZACI VLHKOSTNÍHO REŽIMU PŮD LUŽNÍHO LESA

10 Use of forest typological maps for soil moisture regime optimizing of floodplain forest

Vítězslav Hybler, Martin Klimánek, Miloš Kloupar, Alois Prax*

ABSTRAKT
Půdní vlhkost je přes značnou dynamiku jednou z nejdůležitějších půdních vlastností. Významnou roli hraje právě v rovinatých nivách dolních toků řek, kde je jedním ze stabilizačních faktorů vysoké produkce jak zemědělského, tak lesního půdního fondu. Na první pohled se snadno s problematikou mapování lesních půd vypořádali zpracovatelé společných půdních map (zemědělských i lesnických), ovšem pouze v mapách větších měřítek. Podstatně podrobněji mají zmapována stanoviště lesních oblastí lesníci v typologických mapách v rámci stanovištního průzkumu. Lužní les jako jeden z nejsložitějších ekosystémů roste v pestrém půdním prostředí umocněném dále značně členitým mikroreliéfem, kde prakticky na každých 20 cm výškového rozdílu připadá vlhkostně odlišný lesní typ. Naskýtá se možnost využívat typologické mapy (1:10 000) pro plošné vyjádření vlhkostních parametrů mapovaných stanovišť. Na základě dlouhodobých sledování je podchycena roční dynamika hladiny podzemní vody pro jednotlivé lesní typy. Jde tedy o reálnou šanci pro lesní hospodáře – ve spolupráci s vodohospodáři – optimalizovat vlhkostní režim půd lužního lesa a zabránit tak stále častěji se vyskytujícímu vlhkostnímu stresu.
Klíčová slova: půdní vlhkost, lesní typy, mapování, lužní les, mikroreliéf, vlhkostní stres

ABSTRACT
Soil moisture is despite its great dynamics one of the most important soil properties. It plays a significant role in the plains of the lower floodplains of rivers, where is one of the highly stabilizing factors of production on the agricultural and forest soils. At first glance, the mapping of forest land was easy in common mapping of soil maps (agricultural and forest) in larger scales. Substantially greater details of habitat areas are mapped by foresters in typological survey maps. Floodplain forest as one of the most complex ecosystems is growing in diverse soil environment raised by the very rugged microrelief, where virtually every 20 cm height difference come by moisture different forest type. The possibility is to use typological maps (1:10,000) for surface expression of moisture parameters of mapped habitats. Based on long-term monitoring the annual dynamics of groundwater level for individual forest types is captured. It is therefore a real chance for forest managers in cooperation with the water resources managers to optimize soil moisture regime of floodplain forest and avoid the increasing moisture stress.
Key words: soil moisture, forest types, mapping, floodplain forest, micro-relief, moisture stress

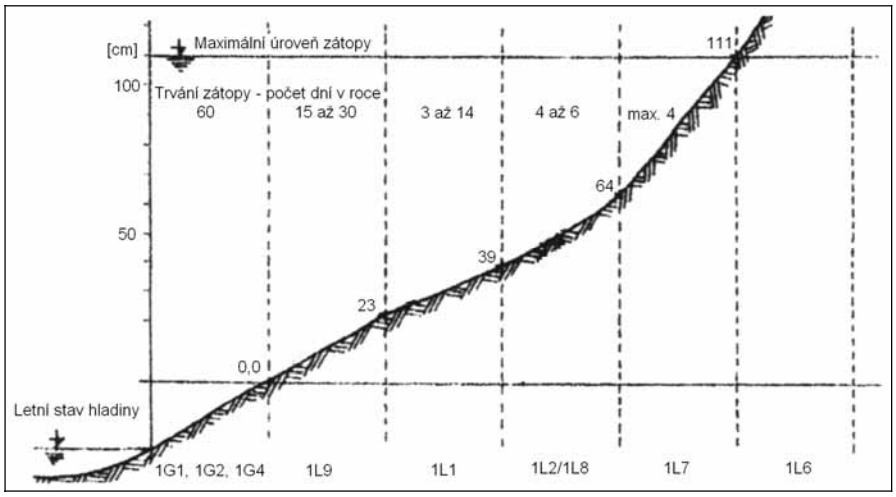
10.1 ÚVOD

Podrobná znalost půdního prostředí a to jak zemědělských, tak lesních půd, je důležitou podmínkou pro jejich kvalifikované obhospodařování i jejich ochranu. Díky Komplexnímu průzkumu půd (KPP) provedenému v letech 1961 – 1971 (Němeček, 1967) mají zemědělci i další zájemci, zabývající se různou činností závislou na těchto informacích, možnost využívat jak mapových, tak také dalších doplňujících archivovaných materiálů, které jsou k dispozici v archivu VÚMOP v Praze. Odlišná situace je v lesním hospodářství, kde na lesních pozemcích nebyl na území ČR proveden samostatný průzkum a mapování lesních půd. Lesní stanoviště byla prozkoumána a hodnocena v rámci tzv. typologického průzkumu při realizaci lesních hospodářských plánů pro jednotlivé lesní hospodářské celky. Stanoviště jsou hodnocena především na základě vegetačního krytu bylinného

* Ing. Vítězslav Hybler, PhD., Ing. Martin Klimánek, PhD., Ing. Miloš Kloupar, prof. Ing. Alois Prax, CSc., Mendlova univerzita Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ČR, e-mail: hybler@mendelu.cz

patra, kde hlavním indikátorem jsou rostlinná společenstva a půdní charakteristiky jsou posuzovány okrajově.

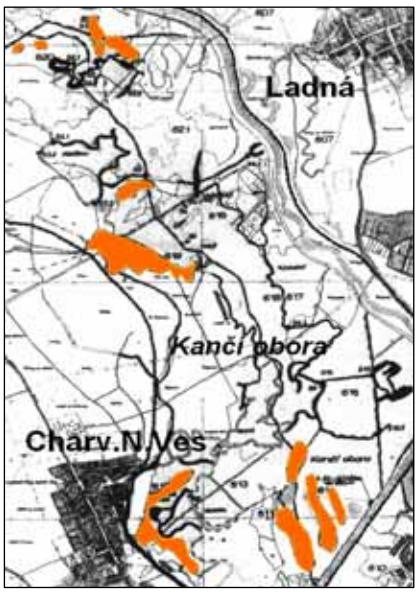
Vztah půda – voda – rostlina je základní premisou při řešení otázky optimalizace vlhkostního režimu půd v lužním lese. Lužní ekosystém a jeho existence je více než kterýkoliv jiný lesní ekosystém svázán se specifickým vlhkostním režimem a jeho sezónní dynamikou (Vukevič, Rauš, 2001). Lužní lesy v České republice jsou rozšířeny převážně v dubovém vegetačním stupni (Zlatník, 1976; Chytrý a kol., 2001), kde o rozšíření dřevin tzv. měkkého a tvrdého luhu rozhoduje prakticky několik decimetrů výškového rozdílu terénu nad úrovní hladiny podzemní vody, jak je patrné z obr. 1. Typologická mapa rozšíření lesních typů může, ovšem pouze orientačně, sloužit také jako mapa rozšíření půdních druhů, tedy možno říci jako jistá obdoba kartogramu zrnitosti u zemědělských půd.



Obr. 1 Výšková členitost lesního mikroreliéfu, lesní typy a trvání inundace v nivě řeky Dyje

10.2 MATERIÁL A METODY

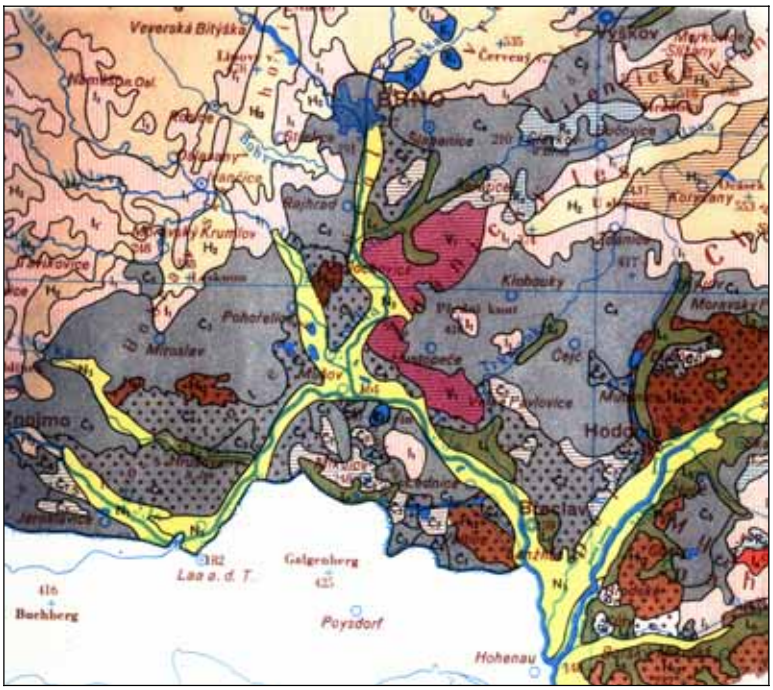
Propojování podrobných znalostí příbuzných oborů o stavu a procesech probíhajících mezi půdou a rostlinou mohou přinést člověku nový pohled na možnost využití těchto, dá se říci, zákonitých vztahů pro ovlivnění vybraných procesů. Jako příklad této možnosti byla vybrána problematika stanovení optimalizace vlhkostního režimu půd v komplexu lužního lesa „Kančí obora“ na polesí Valtice, LZ Židlochovice (obr. 2). Jedná se o cca 600 ha lesních porostů ležících mezi Lednicí na Moravě a Břeclaví v pravobřežní nivě řeky Dyje. Nadmořská výška je od 155 do 160 m, úhrn srážek za roky 1961 až 1990 je 550 mm a průměrná teplota 9° C (Bagar, Klokánek, 2000b). Podrobně zde byly vymapovány pouze zemědělské půdy, tj. pole a louky v rámci akce KPP, a jako půdní typ jsou nejvíce rozšířeny fluvizemě na nivních uloženinách vesměs těžšího zrnitostního složení. Ostrůvkovitě se vyskytují vyvýšeniny navátých písků s půdním typem regozem případně černozemí arenickou. V depresních polohách jsou to gleje.



Obr. 2 Výskyt písčitých hrúdů v oblasti Kančí obory

V mapách větších měřítek jsou lesní půdy zahrnuty do stejných půdních typů jako půdy zemědělské (Půdně interpretační mapa 1:50 000, Syntetická půdní mapa 1:200 000, Atlas půd ČR –

Půdní mapa 1:250 000, Pôdna mapa ČSSR 1:500 000 z roku 1973 (obr. 3), kde byly poprvé hodnoceny zemědělské a lesní půdy společně).



Obr. 3 Výřez z půdní mapy (Pôdna mapa ČSSR 1:500 000 z roku 1973)

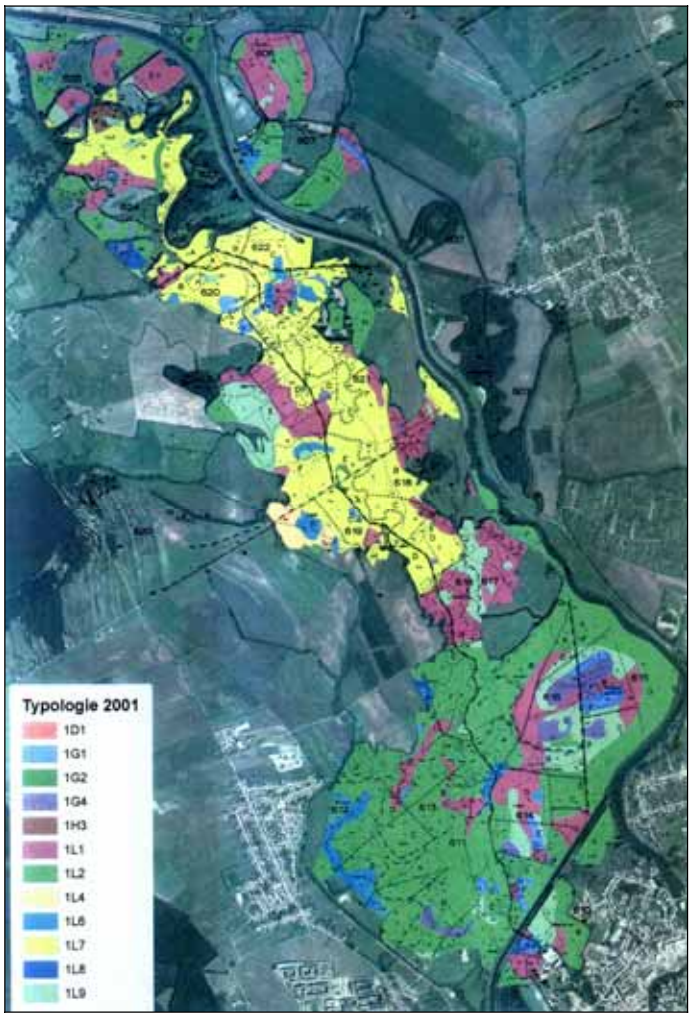
Co se týče lesních půd, tak podrobný průzkum a mapování půdního prostředí prováděli lesní typologičtí specialisté v rámci stanovištního průzkumu při zpracování lesních hospodářských plánů. Výsledkem jsou tzv. typologické mapy 1:10 000, na nichž jsou vymapovány podrobně skupiny lesních typů (obr. 4).

Výše uvedené skupiny lesních typů zahrnují lesní dřeviny výrazně závislé na vlhkostním režimu půd, který je v nivách řek podmíněn dvěma faktory. Je to jednak pestrá mikromorfologie terénního povrchu na první pohled rovinaté nivy a pak je to kolísání hladiny podzemní vody v průběhu roku. Dlouholetá přímá sledování zákonitostí pohybu hladiny podzemní vody a vlhkostního režimu půd na experimentálních objektech ÚEL MZLU Brno jsou základem a důležitým podkladem pro stanovení optimálního vlhkostního režimu půd v daném regionu nebo úseku nivy (Penka a kol., 1985). Takto získaná data byla dále rozšířena a prohloubena o dlouhodobé řady sledování hladiny podzemní vody na hydropedologických profilech sítě vrtů sledované pracovníky ČHMÚ, pobočky Brno.

Při vyhodnocování získaných dat není možno opomenout fakt, že dříve běžný přírodní proces jarních záplav byl antropickými zásahy poněkud, místy i značně, pozměněn. Byla to regulace a ohrázování řeky Dyje v sedmdesátých letech 20. století a v devadesátých letech pak vybudování systému revitalizací. Navíc je území „Kančí obory“ ovlivňováno odběry vody skupinovými vodovody Lednice na Moravě a Břeclav (Bagar, Klokánek, 2000a). Nově do vlhkostního režimu lužního lesa svými aktivitami zasahují šířící se kolonie bobrů, hlavně při budování bobřích hrází na revitalizovaných kanálech.

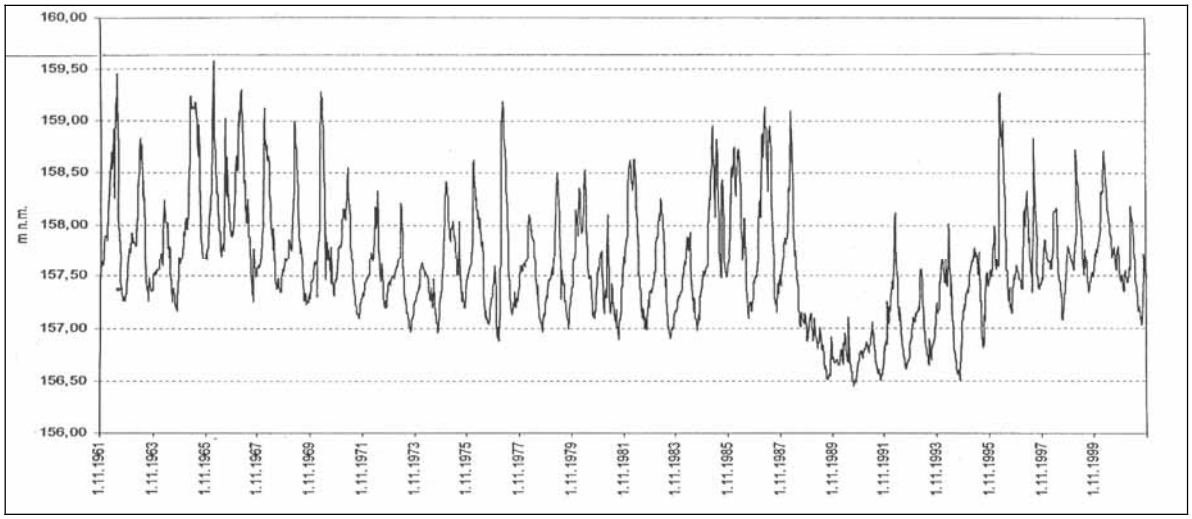
10.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Pestré stanovištní poměry podmiňující bohatou biodiverzitu lužního ekosystému jsou závislé především na vlhkostním režimu zdejších, relativně velmi kvalitních půd. Trvalá přítomnost hladiny podzemní vody okamžitě využitelné kořenovým systémem dřevin a její prakticky téměř pravidelná roční dynamika s jarním maximem a podzimním minimem jsou existenční podmínkou setrvalého vývoje lužních lesů (Penka a kol., 1985, 1991; Prax, 1991). V tomto klimaticky srážkově většinou deficitním regionu hrají atmosférické srážky v bilanci vody relativně menší roli (Čermák, Prax, 2001). O setrvalosti a relativní stálosti zmiňované dynamiky hladiny podzemní vody nás informují výsledky dlouhodobého sledování tohoto parametru ve vrtech ČHMÚ (obr. 5).

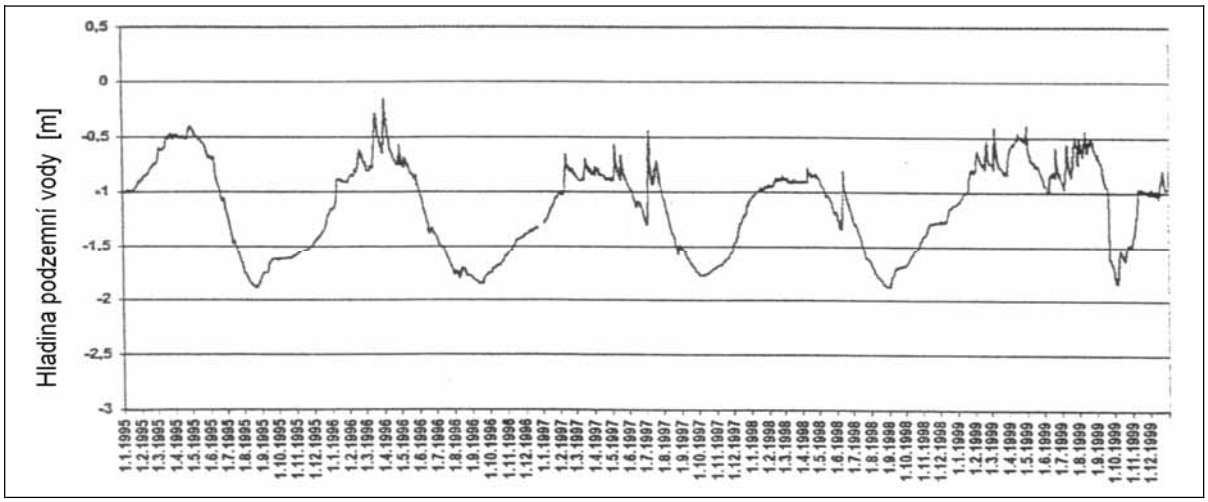


Obr. 4 Lesnická typologická mapa - Kančí obora, LZ Židlochovice

V dlouhodobé řadě sledování se znatelnými změnami projevily antropické zásahy, když v roce 1972 byla regulována a ohrázována řeka Dyje a začátkem devadesátých let byl realizován projekt revitalizací lužního lesa (Kloupar 2002). I po těchto antropických zásazích zůstala dynamika hladiny zachována, jak ukazuje obr. 6. Tento trend může být částečně narušen pouze v lokalitách jímacích území vodovodů Lednice na Moravě a Břeclav (Prax, Hadaš, Hybler, 1997; Bagar, Klimánek 2000a).



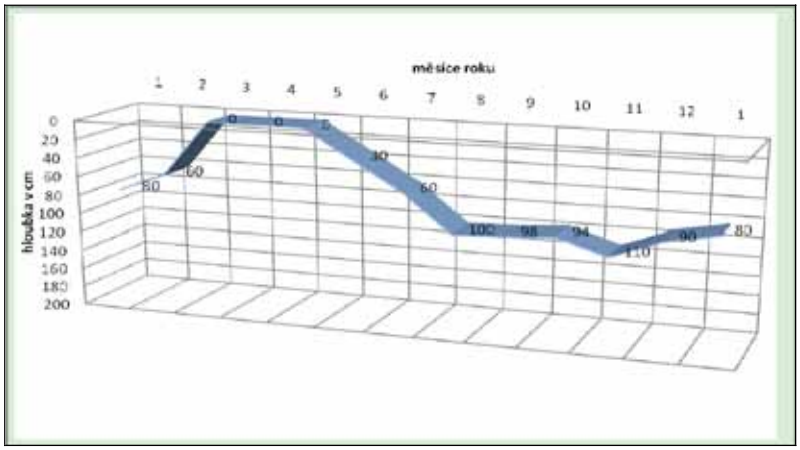
Obr. 5 Dynamika HPV dle dlouhodobého sledování ve vrtu č. KBO 705 ČHMÚ



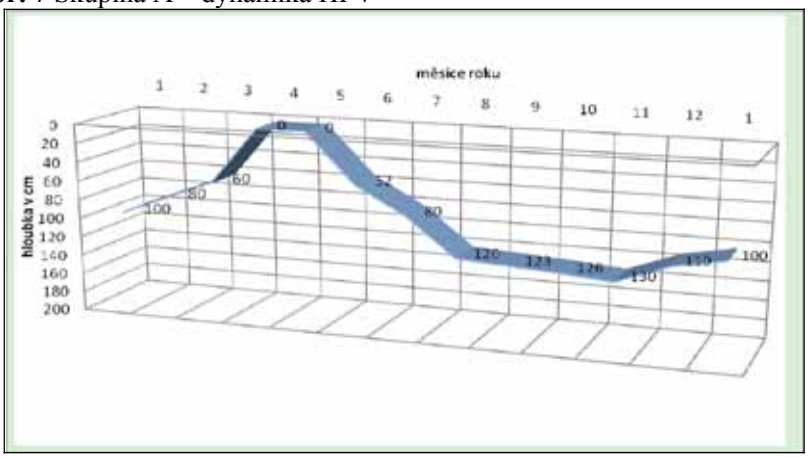
Obr. 6 Dynamika HPV po antropických zásazích ve vrtu na lokalitě Herdy

Dalším nezbytným faktorem, který určuje průběh vlhkostního režimu půd a nakonec také zařazení každého stanoviště do odpovídajícího lesního typu je mikroreliéf terénu, jak naznačuje obr. 1.

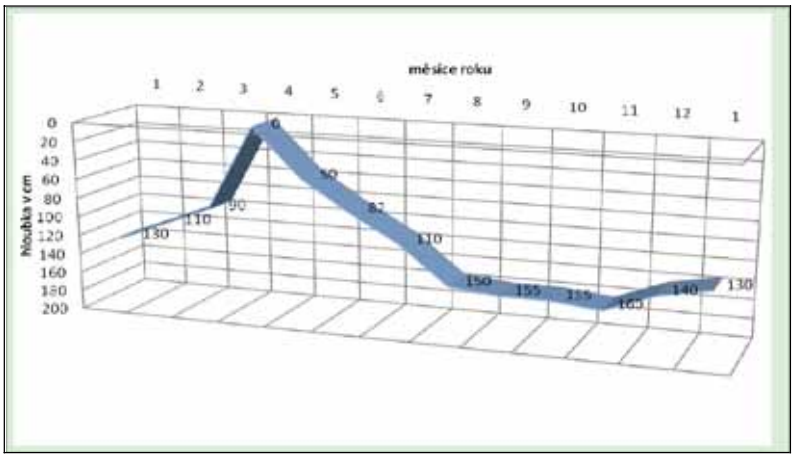
Jeví se tedy možnost využití typologických map pro stanovení, respektive sledování a kontrolu příznivého či nepříznivého vývoje vlhkostního režimu půd běžného roku. Pro lesní hospodáře mohou být tyto mapy vhodným podkladem pro optimální management lužního lesa v Kančí oboře při manipulaci s vodou v systému revitalizační sítě kanálů. Konkrétní údaje o pohybu hladiny podzemní vody v průběhu roku na lokalitách daných lesních typů je možno vyčíst z následujících obr. 7 až 10.



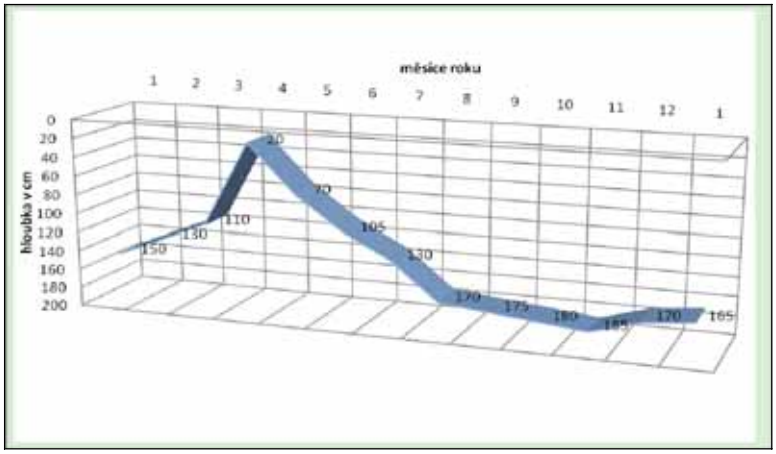
Obr. 7 Skupina A – dynamika HPV



Obr. 8 Skupina B – dynamika HPV



Obr. 9 Skupina C – dynamika HPV



Obr. 10 Skupina D – dynamika HPV

Pro daný účel bylo možno sdružit škálu lesních typů z hlediska podobnosti průběhu vodního režimu (odvozeno od úrovně hladiny podzemní vody) do pěti referenčních skupin a to:

- skupina A zahrnuje lesní typy 1G1: vrbová olšina lužní s vysokými ostřicemi na glejích;
  1G2: vrbová olšina mokřadní s okřehkem (močály);
  1G4: vrbová olšina přechodná s chrasticí rákosovitou;
- skupina B zahrnuje lesní typ 1L9: dubová jasenina s ostružiníkem ježiníkem, kosatcem žlutým na těžkých glejových půdách;
- skupina C zahrnuje 1L1: jilmový luh s ostružiníkem ježiníkem na těžkých náplavách;
  1L2: jilmový luh bršlicový na fluvizemi;
  1L8: jilmový luh válečkový na fluvizemi;
- skupina D zahrnuje 1L7: jilmový luh štěrkovitý na terasách Dyje;
- skupina E zahrnuje 1L6: jilmový luh na hrúdech s hluchavkou skvrnitou.

Z obrázků znázorňujících pohyb hladiny podzemní vody v průběhu roku u referenční skupiny A a B je zřejmé, že v jarním období býval dříve lužní les krátkodobě zaplavován vybřeženou kalnou vodou z řeky Dyje. V současné době vystupuje občas a krátkodobě čistá, tzv. tlaková (podzemní) voda na půdní povrch. Referenční skupina E je lokalizována na písčité vyvýšeniny zvané „hrúdy“, které zůstávaly i při záplavách vždy nad úrovní záplavové vody. Pro tuto skupinu nebyl vytvořen graf průběhu dynamiky hladiny podzemní vody, protože na písčitých hrúdech je vlhkostní režim půd závislý především na atmosférických srážkách. Tomu většinou odpovídá i odlišná skladba dřevin.

Z výše uvedeného je zřejmé, že lesnické typologické mapy v měřítku 1:10 000 mohou být pro lesní provoz velmi dobrou a potřebnou pomůckou pro sledování a kontrolu optimálního vlhkostního režimu lužního lesa. Navíc tyto mapy vyjadřují svým způsobem alespoň orientačně podrobnější

přehled o půdních poměrech rozšíření půdních druhů, tedy jsou jistou obdobou tzv. kartogramů půdní zrnitosti, kde jsou půdní druhy znázorněny u zemědělských půd v rámci KPP.

10.4 ZÁVĚR

Pro zemědělské a lesní půdy u nás půdoznalci dlouho používali své samostatné a tím i odlišné klasifikace půd. První mapa znázorňující lesní a zemědělské půdy společně byla vydána v roce 1973 v měřítku 1:500 000. První společná klasifikace lesních a zemědělských půd byla oficielně schválena na VI. Československé půdoznalecké konferenci v roce 1985 v Nitře pod označením Morfogenetický klasifikační systém půd ČSSR. Do dnešního dne nejsou v České republice lesní půdy tak podrobně vymapovány jako půdy zemědělské v rámci historické celostátní akce KPP. To neznamená, že bychom pro charakteristiku lesních půd nemohli využít materiálů tzv. stanovištního (typologického) průzkumu, který byl v minulosti na lesních pozemcích proveden a je nedílnou součástí lesních hospodářských plánů a je také při jejich dekádních obnovách novelizován.

V přírodních podmínkách údolních niv je vazba půda – voda – rostlina tak silná, že lze vysledovaných zákonitostí využít ve prospěch hodnocení okamžitého stavu, případně pro možnost optimalizace vlhkostního režimu půd lužního lesa, který je na přítomnosti a dynamice hladiny podzemní vody existenčně závislý. Na základě vyhodnocení dlouhodobých měření hladiny podzemní vody a na ní závislých trendů půdní vlhkosti byly sestrojeny průběhy referenčních úrovní dynamiky hladiny podzemní vody v průběhu jednotlivých měsíců v roce a to pro čtyři skupiny lesních typů charakteristických pro území lužního lesa. Jde o ideální průběhy hladiny podzemní vody, které se samozřejmě mohou částečně odchylovat v závislosti na skutečném průběhu klimatu a hydrologické situace sledovaného roku. Nicméně jde o pomůcku či podklad pro možnost optimálního managementu lesního hospodaření v lužních lesích jižní Moravy.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory z výzkumného záměru LDF MENDELU v Brně MSM6215648902 „Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny“ a za podpory z výzkumného záměru AF MENDELU v Brně MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“.

Literatura

BAGAR R., KLIMÁNEK M. 2000a. Groundwater abstraction in the floodplain protected area of The Natura Water Accumulation Morava Quaternary Alluvial Plain. In: Kulhavý J. et al. (eds.): *Management of Floodplain Forests in Southern Moravia*. MUAF, Brno, 55-262. ISBN 80-7157-491-0.

BAGAR R., KLIMÁNEK M. 2000b. Climatic conditions in the floodplain area of south Moravia. In: Kulhavý J. et al. (eds.): *Management of Floodplain Forests in Southern Moravia*. MUAF, Brno, 263-272. ISBN 80-7157-491-0.

ČERMÁK J., PRAX A. 2001. Water balance of the floodplain forests in southern Moravia considering rooted and root-free compartments under contrasting water supply and its ecological consequences. *Ann. Sci. For.* 58, 1-12.

KLOUPAR M. 2002. *Restoration of the hydrological system of the Kančí obora floodplain forest.* Lesy České republiky, s. p., LZ Židlochovice, 7-14.

NĚMEČEK J. a kol. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR*, 1. díl. MZVž Praha, 246 s.

CHYTRÝ M. a kol. (eds.) 2001. *Katalog biotopů České republiky*. AOPK ČR, Praha. 304 s.

PENKA M., VYSKOT M., KLIMO E., VAŠÍČEK F. 1985. *Floodplain forest ecosystem I. Before water management measures,* Academia, Prague, 466 p.

PENKA M., VYSKOT M., KLIMO E., VAŠÍČEK F. 1991. *Floodplain forest ecosystem II. After water management measures*. Academia, Prague, 629 p.

PRAX A. 1991. Changes in the water table. In: Penka M., Vyskot M., Klimo E., Vašíček F.: *Floodplain forest ecosystem II. After water management measures.* Academia, Prague, 127-131.

PRAX A., HADAŠ P., HYBLER V. 1997: Zkušenosti a výsledky monitoringu vybraných parametrů vlhkostního režimu půd lužního lesa. In*: Soil monitoring – III. international conference*. ÚKZÚZ Brno, 31-32.

VUKEVIČ J., RAUŠ D. 2001: The lowland forests of Croatia. In: Klimo E., Hager H.: *The Floodplain Forest in Europe. European Forest Institute research report. No. 10.* Leiden, Boston, Koeln, Brill. 267 p.

ZLATNÍK A. 1976. *Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných v ČSSR*. (Předběžné sdělení). Zprávy Geografického ústavu ČSAV, 13/3-4: 55-64.

11. PROBLEMATIKA MAPOVÁNÍ LESNÍCH PŮD V HORSKÝCH POLOHÁCH NA PŘÍKLADU ÚZEMÍ KRKONOŠ A KNĚHYNĚ V MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYDECH

11 Problems of forest soil mapping in mountain zones on example of Giant Mts. and Kněhyně Mts. (Moravian-Silesian Beskids) localities

Dušan Vavříček, Jan Pecháček, František Novák*

ABSTRAKT
Díky mnoha studiím známe základy vztahů mezi resiliencí lesa a prostředím, zvláště v imisně-ekologických podmínkách. Samozřejmě tyto vztahy nejsou přímé, ale ve střední Evropě silně interagují s klimatem, výkyvy počasí a gradacemi kůrovců. Kvalita půdních dat většinou působí jako limitní činitel pro přesnost jednoznačnost popisu vztahů mezi stanovištěm a ekologií porostů. Zabývali jsme se výběrem vhodných výzkumných ploch lesa jednak v podmínkách horských hřebenů, jednak v exponovaných podmínkách izolovaných vrcholů v Krkonoších a na Radhošťské vrchovině (Kněhyně). V těchto podmínkách jsme lokalizovali 1 ha souvislého území pro mapování půdních jednotek se základní sítí 5x5 m. V podmínkách horského hřebene Krkonoš jsme zjistili maloplošnou mozaiku naprosto rozdílných půdních typů. Organozemě a glejsoly dominují v bazálních částech mapovaných hřebenových území (na Alžbětince bylo zjištěno 17 různých půdních subtypů na 1 ha). Modální podzoly, rankerové podzoly a modální rankery dominují na hřbetních částech mapovaného hřebene (v Modrém dolu bylo celkem zjištěno 20 půdních subtypů na ha). Na vrcholových plošinách (Svorová hora a Kněhyně) dominují histické podzoly, modální podzoly a rankerové podzoly. Organozemě byly zjištěny pouze v maloplošných depresích. Na méně exponovaných enklávách masívu Kněhyně byly rovněž zjištěny dystrické kambizemě (celkem bylo ale zjištěno až 22 půdních subtypů na ha). Tyto výsledky dosvědčují, že v horských podmínkách je půdní heterogenita značně vysoká v důsledku rozdílné sensitivity horských půd k mnoha stresům (především k přírodním disturbancím). Dokud sběr dat o ekologii horských lesů nezahrne přímé podklady o heterogenitě místních půd, vypovídací hodnota výsledků bude velmi omezená na aproximační přístupy. Přímé poznatky o půdní heterogenitě mohou pomoci rozřešit některé atributy míry neurčitosti, provázejících stanovištní průzkum.
Klíčová slova: půdní typ, pedogeografie, horské systémy, lesní stanoviště, smrk ztepilý (*Picea abies* L. /Karst./)

ABSTRACT
However, many studies contributed to the knowledge about relation on forest resiliency and environmental, emission-ecological especially, factors. Climate, exposition, weather extremes and bark-beetles play great role for these relations in the Central European mountain spruce forests. Data quality about soil has been restricting any theory about feedbacks between site and tree species ecology. We selected the research forest plots at base as well as near mountain ridge and on exposed isolated peak plateaus of Giant Mts. and Radhošťská Highlands (Kněhyně). There we located the mapping areas about 1 hectare of continuous area at basic network 5×5 m. In conditions of mountain ridge in Giant Mts. there was recognized a pattern with significantly different soil types. Histosols and Gleysols were dominantly presented at parts of the base ridge (Alžbětinka: total 17 soil subtypes per hectare). Haplic Podzols, Skeletic Podzols and Haplic Leptosols were mainly dominated on the parts of mountain ridge (Modrý důl: total 20 soil subtypes per hectare). Peak plateaus (Svorová hora Mt. and Kněhyně Mt.) were dominantly characterized by Histic Podzols, Haplic Podzols and/or Skeletic Podzols. Histosols were detected only in small local depressions. In less exposed parts of the Kněhyně Mt. Dystric Cambisols were observed too (total 22 soil subtypes per hectare). These results demonstrate that soil heterogeneity is significantly high due to various sensibilities

* doc. Ing. Dr. Dušan Vavříček[1], Ing. Jan Pecháček[1], RNDr. František Novák, CSc.[2] , [1] Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, 613 00, Brno, ČR, e-mail: dusvav@mendelu.cz, [2] Biologické Centrum Akademie věd ČR, Ústav půdní biologie, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice, ČR, e-mail: novakf@upb.cas.cz

of mountain soils to any stress (mostly to natural disruptions). Until data collection about ecology research of mountain forests does not include site heterogeneity of soils, results will always be restricted by using of approximate approaches. Empirical knowledge about soil heterogeneity could to solve some attributes of uncertainty associated with local soil survey.
Keywords: soil type, pedogeography, mountain systems, forest site, Norway spruce (*Picea abies* L. /Karst./)

11.1 ÚVOD

Půdy vznikají za často protichůdného působení otevřené množiny půdotvorných faktorů. Jestliže na daném území bylo pozorováno maloplošné střídání jejich skladby a intenzit působení v závislosti na obnažení různých geologických materiálů, zároveň byly pozorovány i maloplošně heterogenní půdní katény. Phillips *et al*. (1996) shromáždili rozsáhlý materiál dokazující, že zejména zrnitostně vyhraněné půdní katény mají značnou pestrost půdních typů. Aby na daném území byla nalezena reprezentativní půdní jednotka, je třeba vést průzkumný transekt, z něhož bude možné vypočítat četnosti nalezených půd. Plošný význam zaujatých půd je možné posoudit především z půdních map. Komplikovanost tvorby dostatečně přesné mapy půdních typů je přímo úměrná s topografickou členitostí (Hunt, 1972).

V projektu ICP Forests byla rozpracována hypotéza o zákonitém podílu půdy v souboru stresových činitelů lesního stanoviště. Pufrační schopnost různých typů lesních půd dokáže významně rozčlenit dynamiku chřadnutí přírodě blízkých a nepřirozených lesů i různou rychlost chřadnutí monokultur v rámcově stejných hospodářských podmínkách (Posch *et al*., 1995; Smidt a Herman, 2004; Purdon *et al*., 2004). Maloplošná heterogenita půdních typů se podílí na mozaikovitosti chřadnutí smrkových porostů. Podobně i rozrůzněnost půdních poměrů se významně odráží se schopnosti smrkových porostů se zmlazovat (Aerts *et al*., 1990). Nejúspěšněji se smrkové porosty obnovují přímo na humifikací a fermentací ovlivněném smrkovém opadu; pouze na zamokřených exponovaných horských lokalitách smrkové nálety preferují mrtvé dřevo (Vavříček, Šimková, 2005). Na mechu nebo v konkurenci bylin je ujímavost smrkových semenáčků výrazně nižší (Šerá *et al*., 2000).

Rychlé zhoršení zdravotního stavu horských smrkových porostů nastává synergickým působením extrémních klimatických výkyvů, dlouhodobé přirozené acidifikace půdy a antropogenních vlivů, především imisní zátěže (Cudlín *et al.,* 2001a). Jako příznivé životní podmínky pro obnovu smrku se jeví humidní klima bez přísušků, nízké poškození korun stromů a vysoká zásoba opadu. V Krkonoších se těmito znaky charakteristicky vyznačují lokality Modrý důl a Sluneční údolí. Naopak Alžbětinka má exponované klima s relativně vysokým imisním zatížením (Šerá *et al.,* 2000). Zahrnutí půdy jako ekologického faktoru při studiu zdravotního stavu, vitality a schopnosti přirozené obnovy smrku závisí na přesnosti jejího prostorového popisu. V příspěvku jsou shrnuty výsledky mapování půd na těchto vybraných lokalitách a popsány limity pro konstrukci map půdních typů.

11.2 MATERIÁL A METODY

Detailní půdní průzkum byl v Krkonoších uskutečněn při studiu změn struktur a funkcí systémů krajiny v přítomnosti stresových činitelů (Cudlín *et al*., 2001b). Mapovány byly půdy svahových reliéfů (Modrý důl, Sluneční údolí a Alžbětinka) i hřebenové část hor (Mumlavská hora a Pašerácký chodníček na Svorové hoře). Podrobný popis půdních šetření obsahuje práce Vavříček (2007); zde jsou uvedena shrnutí získaných poznatků a jejich diskuse. Základní mapovací síť zákopků byla navržena o stranách 5×5 m. Varieta půdní jednotky v místě zákopku byla určena sondováním. Ve čtvercích základního rastru, kde byla nalezena význačná ekologická diverzita rostlin, bylo provedeno podrobnější sondování v síti 1×1 m. Předpokládané hranice půdních jednotek byly upřesněny z mapování v úsecích o rozměrech 0,5×0,5 m. Získaný analogový materiál byl digitalizován a vektorizován v softwarovém prostředí (Vavříček, Šimek, 2001). Vektory byly určeny ze vzdálenosti vzhledem ke zvoleným referenčním bodům o známé GPS pozici v terénu. Základní mapovanou plochou byl 1 ha.

Jako srovnávací území byla zvolená vrcholová část Kněhyně v Moravskoslezských Beskydech (NPR Kněhyně-Čertův mlýn) (Vavříček, 2001), která bývá zpravidla uváděna jako příklad horského biogeograficky (vegetačně a půdně) členitého území (Pižl, 1991). Na lokalitě Kněhyně mapování

probíhalo extrapolací nepravidelně rozmístěných odběrných míst, které byly situovány na plochách význačných lesních typů. Extrapolace byla provedena na podkladě lesnické typologické mapy (Holuša, 2000). Přesné hranice jednotlivých půdních jednotek byly ověřovány zákopky v síti 0,5×0,5 m podle výskytů charakteristických indikačních bylinných druhů.

Fytoindikátory byly identifikovány podle metodik Plíva a Průša (1969) a Ambros (1986). Taxonomické názvosloví půd bylo použito podle Němečka *et al*. (2001). Pro jednoznačné určení půdních subtypů nebo variet byly využívány i pedochemická stanovení přístupných živin ve svrchních minerálních horizontech (Vavříček, Šimková, 2000), půdní reakce, oxidovatelného uhlíku (C_{ox}), celkového dusíku (N_t) (Zbíral, 2002) nebo zrnitosti (Pelíšek, 1964).

11. 3 VÝSLEDKY A DISKUSE

11.3.1 Svahová a hřebenová území Krkonoš

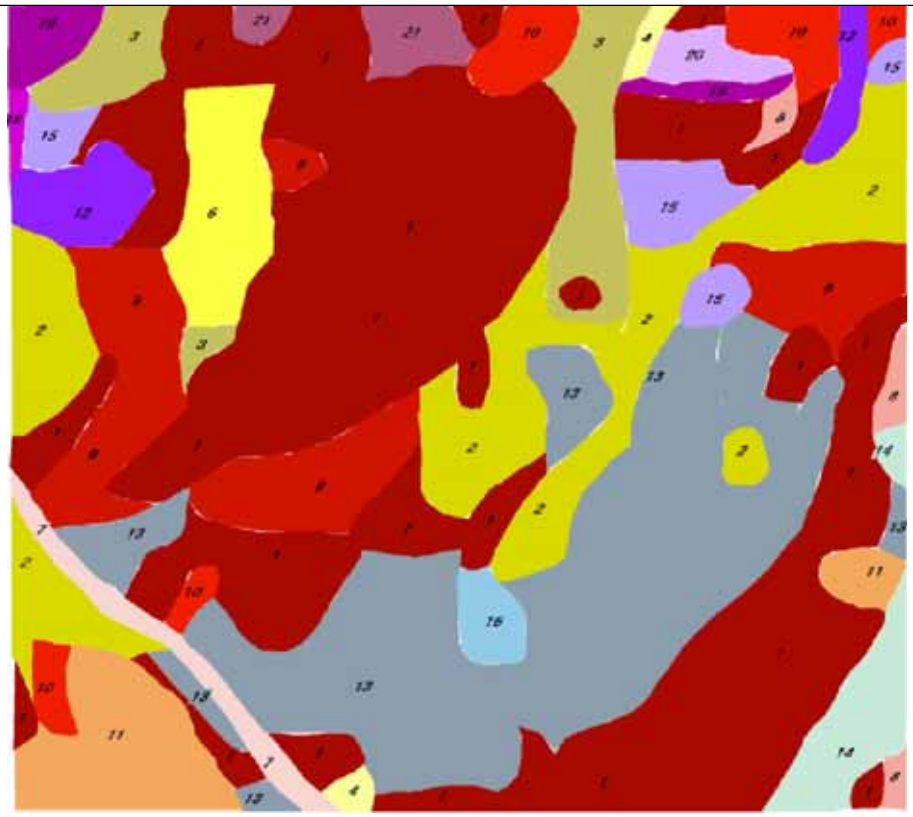
Ve vztahu k lesním dřevinám se půda uplatňuje jako ekologický činitel, a to současně hned na několika úrovních: (1) ovlivňuje výživu jedince; (2) ovlivňuje vitalitu populace; (3) tvoří vnitřní prostředí geobiocenózy, kde dochází k významným dekompozičním a mineralizačním procesům, a které je zásobárnou vody (Tesař *et al*., 2000; Vavříček *et al*., 2005; Vavříček, 2001). Mapování půdních typů umožňuje přesně prostorově popsat hranice jednotlivých funkčních rolí půdy v lesním ekosystému. Na hlavním hřbetu a vyšších svazích Krkonoš lokálně převládají podzoly, na jižnějších hřbetech jsou často podzoly modální střídané zrašeliněnými až histickými subtypy. Na plošinách a ve sníženinách svahových útvarů jsou vyvinuty bodové i rozsáhlejší plochy vrchovištních organozemí (obr. 1). Střídání organozemí, rankeru modálního, rankeru modálního oglejeného až glejového je charakteristické pro Alžbětinku (obr.2). Alžbětinka je tvořena svahovým, z části až podvahovým (deluviálním) tělesem. Zastoupení organozemí je v daném podsvahovém deluviu vysoké i na stanovišti s relativně vysokým sklonem a přirozenou svahovou drenáží. Vyústění podpovrchové a laterální vody na uvedených plochách je hlavním faktorem podmiňující humifikační procesy a vývoj rašelin.

Podzol litický	Podzol modální	Organozem	Ranker

Obr. 1 Na relativně malých plochách se mezi půdně taxonomickými jednotkami krkonošsko-jesenického krystalinika vyskytují významné diference, zejména v oblasti 7. – 8. LVS

Naopak průzkum oblasti Modrého dolu (obr. 3) ukázal, že ve svažitých území se může vyskytovat i mozaika podzolu modálního, podzolu psefitického glejového, rankeru modálního a podzolu

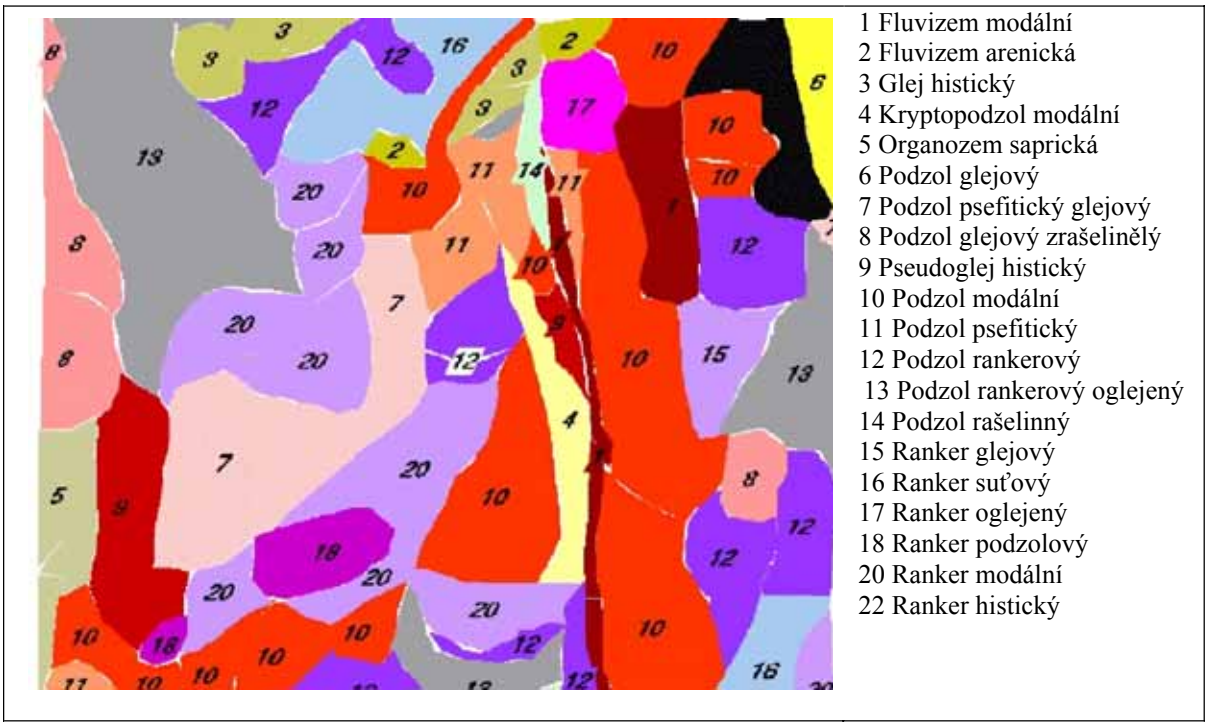
rankerového i oglejeného s minoritním výskytem podzolu rankerového a rankeru suťového a s podstatně menším zastoupením organozemí. Specifikem lokality Modrého dolu je, že se nachází v horní části dlouhých podhřebenových mírných svahů. Na těchto územích lze zároveň i předpokládat menší kumulace laterální vody, svahovin a ostatních vlivů, než jaké probíhají v podsvahovém deluviu. Také obsah skeletu je v půdním prostředí odlišný a není hromaděn. Terénní geomorfologie je pro vývoj horských půd jedním ze základních faktorů jejich pestrosti a genetického vývoje do základních i dílčích půdních jednotek. Biomy arkto-alpínské tundry a jedinečné primární bezlesí v ledovcových údolích specificky provázejí rovněž kryopedogenetické procesy (Soukupová *et al.*, 1996). V podmínkách smrkového lesního vegetačního stupně (8. LVS) (často i v podmínkách klečového LVS na neexponovaných lokalitách) jednoznačně převažují podzoly, lokálně zrašelinělé. Podzolizace je v těchto polohách nevyhnutelným půdním diferenčním procesem (Vavříček, Šimková, 2000).



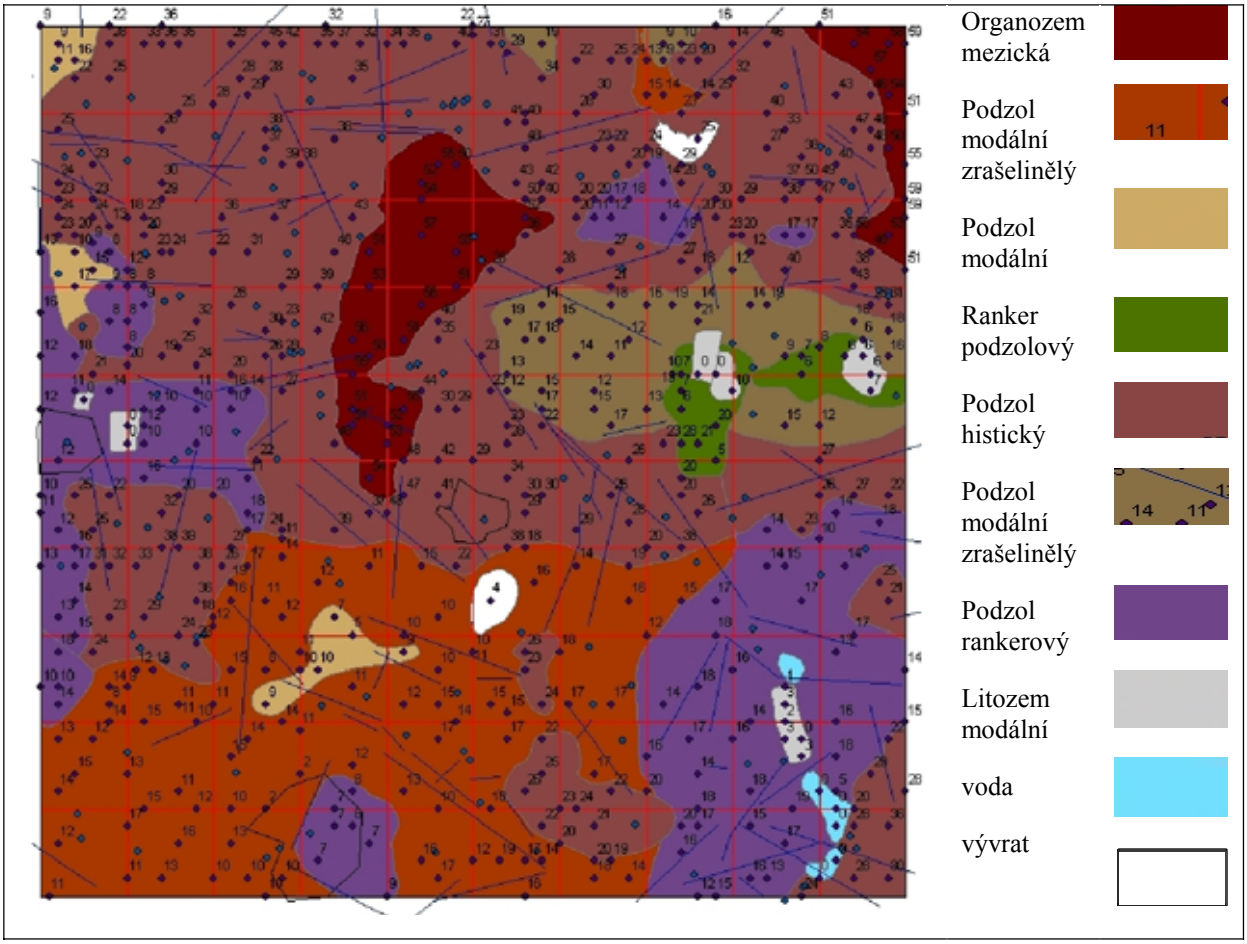
1 Organonem saprická
2 Ranker modální glejový
3 Ranker glejový
4 Glej
6 Glej rankerový
7 Fluvizem psefitická
8 Podzol histický
9 Podzol psefitický zrašeliněný
10 Podzol psefitický
11 Podzol histický glejový
12 Ranker podzolový glejový
13 Ranker histický
14 Ranker histický glejový
15 Ranker podzolový
16 Ranker podzolový zrašelinělý
19 Podzol glejový
20 Podzol modální oglejený
21 Podzol rankerový

Obr. 2 Výrazně heterogenní půdní prostředí v porostu SLT 8K na ploše 1 ha. Alžbětinka – PLO NPR Krkonoše

V hřebenové oblasti Mumlavské hory (obr. 4) dochází k ostrým přechodům mezi podzoly modálními, histickými a rankerovými. I zde se organozemě vyskytují v několika poměrně malých ostrovech v mikroreliefových depresích vázaných na granitové bloky hřebenového rozpadu. Výskyt organozemí souvisí spíše s otázkou geneze vrchoviště v extrémních klimatických podmínkách se stagnací dekompozice surového nadložního humusu. Chybí zde více méně oglejené a glejové subtypy, případně i dílčí variety. Převažující procesy podzolizace v půdním tělese na rovinatějších stanovištích hřebenových útvarů jsou umocněny vertikálním působením gravitační vody inklinující k převládajícímu plošnému zastoupení různých podzolových subtypů. Výrazně se mění i hloubky nadložního surového humusu a jsou na relativně malé ploše nápadně odlišné. Kolísání cca mezi 10 – 55 cm je významné a dokazuje vysokou heterogenitu uhlíkových látek i na malém území lesního horského ekosystému, které nedovoluje objektivní hodnocení bilanční zásoby C_{ox}. Prokázala se tak výrazná heterogenita půdního prostředí, zvláště z aspektu a na úrovni různých půdně-taxonomických jednotek.

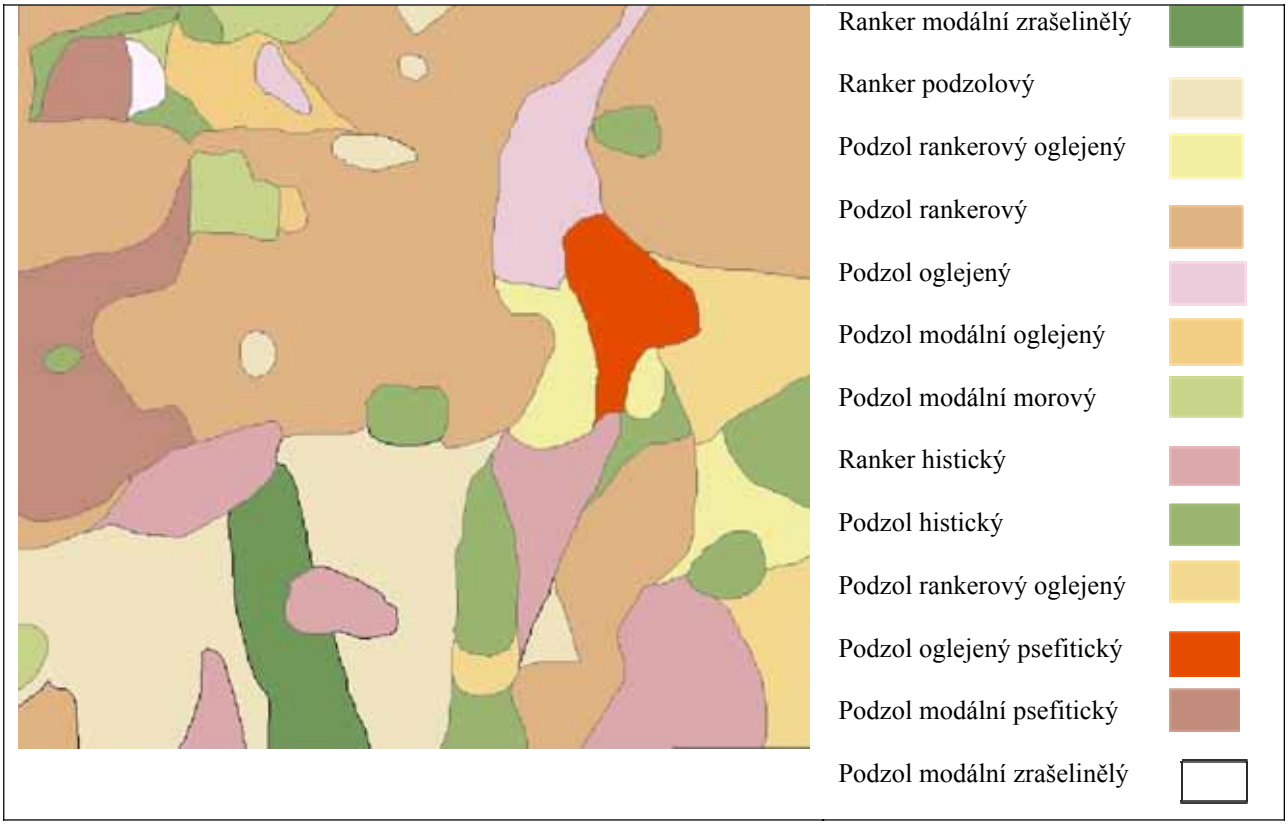


Obr. 3 Výrazně heterogenní půdní prostředí v porostu SLT 8K na ploše 1 ha, svah Modrého dolu - PLO NPR Krkonoše



Obr. 4 Půdně taxonomická heterogenita a diferenciace humusových forem v porostu SLT 8K na ploše 1ha, Mumlavská hora – PLO NPR Krkonoše

Význam geomorfologického faktoru (reliéfu) je podstatný a potvrzuje Šályho (1998) závěry o reliéfu, jako o jednom z nejdůležitějších činitelů při tvorbě horských půd. Členitost vyvolává mozaikovité působení jednotlivých složek ekotopu a klimatopu a s tím související změny půdního prostředí i na malé vzdálenosti. Evidentně se takto projevuje i další krkonošská lokalita v oblasti Pašeráckého chodníčku (obr. 5), kde na šetřeném transektu bylo zjištěno mozaikovité střídání různých subtypů podzolů a rankerů. Na rozdíl od podhřebenového mírně svahového stanoviště Modrého dolu je vývoj půdních jednotek podmíněn vysokou reliéfovou energií vázanou na fyziografické tvary horských poloh. Základní půdní jednotkou je podzol, který v důsledku ledovcového reliéfu a diferenciace obsahu skeletu v půdním profilu přechází místy až do rankerového typu a rankerových subtypů. Hydrické poměry ve středních částech velmi dlouhých a prudkých svahů jsou spíše erozně významné a z taxonomického hlediska ovlivňují zejména subtypové půdní jednotky, případně variety základních půdních typů.



Obr. 5 Výrazně heterogenní půdní prostředí v porostu SLT 8K na ploše 1 ha (Pašerácký chodníček), svah Svorová hora – PLO NPR Krkonoše

11.3.2 Vrcholová část Kněhyně

NPR Kněhyně-Čertův mlýn zaujímá část beskydského flyše, tvořeného godulskými pískovci s charakteristicky vyšším obsahem draslíku a různým typem rozpadu během zvětrávání. Půdní typy s převažujícím podzolizačním procesem vytváří přirozeně silně až velmi silně kyselé půdní prostředí. Převažujícím půdním subtypem v hřebenové části rezervace je humusový a modální podzol, který přechází na výrazně skeletnatých úbočích do rankeru podzolového, případně modálního. V mírnějších svazích hřebenového úbočí, kde dochází v rámci zvětrávacích procesů k hromadění jemnějších frakcí zvětraliny, se vytváří podzoly modální, na které navazují kryptopodzoly. Ostrůvkovitě se pak tyto subtypy navzájem prolínají, což souvisí především s mikroreliéfem, mikroklimatem a případně i výchozem horniny nepravidelně vydutých svahů. V mezihřebenovém sedle navazuje kambizem oligo- až mezotrofní na základní část podzolů a rankerů především v důsledku odlišně zvětrávajícího geologického substrátu, který na rozdíl od hlavní části zastoupené godulskými vrstvami hrubě

rytmického flyše se silně lavicovitou odlučností můžeme řadit zčásti do spodního oddílu godulských vrstev s drobným až středně rytmickým flyšem.

Extrémní půdní typy s vysokou skeletnatostí (rankery a rankerové subtypy) jsou zastoupeny převážně na severozápadní a severní podhřebenové části, dále na západní expozici a v horní polovině severních svahů. Jsou dílčím predispozičním faktorem pro vývoj extrémních skupin lesních typů a jedním ze základních limitujících faktorů pro vývoj, růst a vitalitu zde vyskytujících se smrkových porostů (díky náchylnosti k introskeletové erozi i nízké vododržnosti). Druhová skladba lesních porostů a jejich struktura může především díky suprahumidním srážkovým úhrnům upomínat na trendy dosažení klimaxového stádia ekosystému, ale v důsledku vysokého obsahu skeletu od svrchních horizontů jsou tyto porosty méně stabilní a více náchylné k velkoplošným disturbancím, které potenciální malý vývojový cyklus lesa přirozeně modifikují (Hrubý, 2001; Chernyavskyj, 2003; Diaci, Rozenbergar, 2003).

V hřebenových a podhřebenových částech, převážně východního směru, jsou nejextrémnější půdní typy zastoupeny humusovými podzoly. Místy dochází k vývoji humusových forem rašelinových morů. V horní polovině východních svahů přechází tyto extrémní půdní typy do acidifikačně příznivějších podzolů a kryptopodzolů.

Nejpříznivější edafické podmínky v rámci rezervace byly nalezeny v Kněhyňském sedle na západní i východní expozici a v důsledku koluviace maloplošně i v nejspodnějších částech východní hranice národní přírodní rezervace a také ve spodní části svahů severní expozice. Troficky příznivější stanoviště mohou přecházet až do svěžích edafických kategorií. Jsou to především enklávy, které byly pod vlivem pastevního hospodářství. Tyto lokality jsou definovány kambizemí, případně oligomezotrofními kryptopodzoly. Mimo fytocenózy, dochází k ovlivnění i některých charakteristik půdního chemizmu.

11.4 ZÁVĚR

V podmínkách buko-smrkového (7.) a smrkového (8.) LVS se uplatňuje řada ekologických fenoménů, které v nižších LVS buď chybí, nebo jejich projevy jsou zastoupeny jinými vlivy. Rovněž stanoviště v polohách 7. – 8. LVS charakteristicky reagují na disturbance přírodních faktorů. Půda představuje hlavní faktor ekologické stability. Konstrukce půdní mapy při vhodném propojení s prostorovými daty o zdravotním stavu lesa a dřevinné skladbě může přispět k sestavení predikčních modelů na typologické bázi. Horské půdy ovšem nelze vnímat jako stabilně působící faktor. Díky značné exponovanosti jsou výrazně senzitivní a vyznačují se svéráznou resiliencí/rezistencí. Zpravidla ve vyšších horských LVS je již nevyhnutelný proces podzolizace za vzniku alternačně-translokačních půd s eluviálními (Ep) a iluviálními (Bhs) horizonty.

Půdní prostředí je v horských ekosystémech výrazně heterogenní a citlivě odráží jakékoli disturbance (změny v míře variability). Na plošně velmi malých jednotkách (<1 ha) se zde vyskytuje i více základních půdních jednotek – půdních typů! V těchto podmínkách byla zavedena metodika terénního mapování půd v síti 5×5 m na základní ploše 1 ha. Tato metoda poskytuje dostatečně přesné výsledky, které ale nelze generalizovat bez potlačení neopakovatelných informací a zároveň i ukazuje, že přímé pořizování generálních půdních map bude nepřesné. Nižší půdní jednotky mohou být zastoupeny v řádově desítkách variant i na jednom hektaru plochy. Jejich diverzitu nelze v mapách v měřítkách 1:10 000 nebo 1:50 000 zaznamenat. Výrazná heterogenita byla prokázána zvláště v 7. – 8. LVS v Krkonoších a jim podobných oblastech. Heterogenita půdních typů a výrazně pak i půdních subtypů se významně projevuje i v relativně homogenním flyšovém pásmu Beskyd. Ačkoli Modrý důl i Alžbětinka v Krkonoších mají obecně podobný reliéf, zcela se liší distribucí půd i ekologicky navazujících charakteristik včetně druhového spektra a hustoty lesního zmlazení nebo vitality smrkových porostů.

Poděkování

Tato studie byla podpořena výzkumným záměrem MŠMT ČR MSM 6215648902.

Literatura

AERTS R., BERENDSE F., KLERK N. M., BAKKER C. 1990. Competition in heathland along an experimental gradient on nutrient availability. *Oikos* 57: 310-318.

AMBROS Z. 1986. Bioindikace abiotického prostředí lesních ekosystémů, část II. *Acta Universitatis Agriculturae* 55: 33-56.

CUDLÍN P., ZEMEK F., TĚŠITEL J., LAPKA M., HANOUSKOVÁ I. 2001a. Stress concept: Possible tool to study changes in landscape. *Ekológia (Bratislava)* 20: 3-13.

CUDLÍN P., NOVOTNÝ R., MORAVEC I., CHMELÍKOVÁ E. 2001b. Retrospective evaluation of the response of montane forest ecosystems to multiple stress. *Ekológia (Bratislava*) 20: 108-124.

DIACI J., ROZENBERGAR D. 2003. Interactions of light, soil properties and regeneration in the Slovenian Dinaric Alps: Patterns in virgin and manager forests. In: Hamor F., Commarmot B. (eds.): *Natural Forests in the Temperate Zone of Europe – Values and Utilization*. Carpathian Biosphere Reserve, Swiss Federal Research Institute, Mukachevo – Rakhiv – Birmensdorf, 58-59.

HOLUŠA J. st. (ed.) 2000. *Oblastní plán rozvoje lesů (OPRL)*. PLO 40 Moravskoslezské Beskydy. ÚHÚL Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek.

HRUBÝ Z. 2001. *Dynamika vývoje přírodních lesních geobiocenóz ve Východních Karpatech.* MZLU v Brně (disertační práce).

HUNT C.B. 1972. *Geology of Soil, their Evolution, Classification, and Uses.* W. H. Freeman and Company, San Francisco.

CHERNYAVSKYJ M. 2003. Dynamics of the Carpathians virgin beech forests in the Ukradne. In: Hamor F., Commarmot B. (eds.): *Natural Forests in the Temperate Zone of Europe – Values and Utilization*. Carpathian Biosphere Reserve, Swiss Federal Research Institute, Mukachevo – Rakhiv – Birmensdorf: 48-49.

NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha.

PELÍŠEK J. 1964. *Lesnické půdoznalství*. SZN, Praha.

PHILLIPS J.D., PERRY D., GARBEE A.R., CAREY K., STEIN D., MORDE M.B., SHEEHY J.A. 1996. Deterministic uncertainty and complex pedogenesis in some Pleistocene dune soils. *Geoderma* 73: 147-164.

PIŽL V. 1991. *Přehled druhů půdních živočichů zjištěných na stacionárech Bílý Kříž a Kněhyně (Moravskoslezské Beskydy).* [ms.]. Depon in: ÚPB ČSAV, České Budějovice.

PLÍVA K., PRŮŠA E. 1969. *Typologické podklady pěstování lesů*. SZN, Praha.

POSCH M., de SMET P., HETTELINGH J., DOWNING R. 1995. *Calculation and mapping of Critical Thresholds in Europe.* RIVM Status Report, The Netherlands.

PURDON M., CIENCIALA E., METELKA V., BERANOVÁ J., HUNOVÁ I., ČERNÝ M. 2004. Regional variation in forest health under long-term air pollution mitigated by lithological conditions. *Forest Ecology and Management* 195: 355-371.

SMIDT S., HERMAN F. 2004. Evaluation of air pollution-related risks for Austrian mountain forests. *Environmental Pollution* 130: 99-112.

SOUKUPOVÁ L., KOCIÁNOVÁ M., HARČARIK J. 1996. Arkto-alpínská tundra v Krkonoších. In: Vacek S. (ed.): *Monitoring, výzkum a management ekosystémů na území Krkonošského národního parku.* Správa KRNAP, VÚLHM VS Opočno: 338-344.

ŠERÁ B., FALTA V., CUDLÍN P., CHMELÍKOVÁ E. 2000. Contribution to knowledge of natural growth and development of mountain Norway spruce seedlings. *Ekológia (Bratislava*) 19: 420-434.

TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., DVOŘÁK I.J. 2000. Vodní bilance půdního profilu v pramenné oblasti Labe – Krkonoše. *Opera Cortontica* 37: 127-142.

VAVŘÍČEK D. 2001. NPR Kněhyně – typický příklad diferencovanosti edatopu. In: Viewegh J. (ed.): *Problematika lesnické typologie* III. ČZU, Praha: 114-119.

VAVŘÍČEK D. 2007. *Lesní půdy vyšších horských poloh a možnosti revitalizace lesních ekosystémů s využitím postupů přímého hnojení*. MZLU v Brně [habilitační práce].

VAVŘÍČEK D., SAMEC P., ŠIMKOVÁ P. 2005. Soil properties as a component of predisposition factors of Norway spruce forest decline in the Hanušovická highland mountain zone. *Journal of Forest Science* 51: 527-538.

VAVŘÍČEK D., ŠIMEK J. 2001. Diferencovanost edatopu NPR Kněhyně a jeho digitalizace novým programem Mapedit. *Zpravodaj Beskydy* 14: 59-66.

VAVŘÍČEK D., ŠIMKOVÁ P. 2005. *Možnosti obnovy lesa v 7. a 8. lvs v Hrubém Jeseníku a masivu Králického Sněžníku*. MZLU v Brně.

ZBÍRAL J. 2002. *Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ, Brno.

12. MOŽNOSTI MAPOVANIA PRIESTOROVEJ VARIABILITY FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ PÔDY PROSTREDNÍCTVOM GEOFYZIKÁLNYCH METÓD

12 Possibilities in spatial variability mapping of physical soil properties by geophysical methods

Jozef Mališ, Jarmila Makovníková, Miloš Širáň *

ABSTRAKT
Konvenčné deštrukčné metódy mapovania a monitorovania pôdnych vlastností sa vyznačujú vysokou presnosťou, čelia však (okrem časovej a ekonomickej náročnosti) úskaliam enormnej priestorovej variability pôdy, ktorá sa často prekrýva s časovou variabilitou. Metódy založené na krajinno-regresnom modelovaní pôdnych vlastností, využívajúce prostriedky DPZ, nám výrazne napomáhajú pri zohľadnení priestorovej variability, nemajú však priamy kontakt s pôdnym profilom, t.j. nespresňujú samotné veličiny, ale práve ich priestorovú distribúciu. Geofyzikálne metódy poskytujú pomoc pri mapovaní pôdnych vlastností na mezoškále – prostredníctvom určitého druhu vlnenia či prúdenia vysielaného do pôdy získavame s týmto prostredím nepriamy kontakt a meriame jeho odozvu, pričom výsledný rez pôdou je priestorovo kontinuálny. Dostávame teda priestorovú distribúciu určitej veličiny priamo v pôdnom prostredí (napr. elektrickú rezistivitu pôdy, ktorá koreluje so skúmanými pôdnymi vlastnosťami – vlhkosťou, zrnitosťou či objemovou hmotnosťou). Kalibráciou metódy elektrickej rezistivitnej tomografie (ERT) na lokalite Zvolenské Nemce (pseudoglej luvizemný), ktorá je súčasťou základnej siete lokalít Monitoringu SR, sme získali spresnenie obrazu priestorovej distribúcie spomenutých pôdnych vlastností, resp. informácie o geologickom substráte a o prípadnom ovplyvnení pôdy podzemnou vodou.
Kľúčové slová: elektrická rezistivitná tomografia, priestorová variabilita, fyzikálne vlastnosti pôdy

ABSTRACT
Conventional destructive methods for mapping and monitoring of soil properties are characterized by high accuracy, however, face (except for time-consuming demands) to enormous spatial soil variability which often coincides with the time variability. Methods based on landscape-regression modelling of soil properties which use facilities of remote sensing are helpful to take into consideration soil spatial variability but they don't have straight contact with soil profile, i.e. do not specify the actual values, but rather their spatial distribution. Geophysical methods are helpful in soil properties mapping at the meso-scale – by certain oscillation or convention that is transmitted into the soil we obtain indirect contact with this environment and we measure its response – the final soil cross-section is spatially continual object. We obtain spatial distribution of some variables directly in soil body (i.e. soil electrical resistivity which is in correlation with tested soil properties like moisture, texture or bulk density). By calibration of Electrical Resistivity Tomography (ERT) there was provided précising of mentioned spatial distribution of soil properties in locality Zvolenské Nemce near by Banská Bystrica (Luvic Stagnosols), as well as some information about geological substratum and ground water table. Locality Zvolenské Nemce belongs in basic network of the Soil Monitoring System of Slovak Republic.
Key words: Electrical Resistivity Tomography, spatial variability, soil physical properties

12.1 ÚVOD

Vlhkosť pôdy, resp. jej ostatné fyzikálne parametre (objemová hmotnosť, hydraulická vodivosť, atď.) sú významnými ukazovateľmi z pohľadu nastupujúcich extrémnych klimatických pomerov, ako aj z pohľadu ochrany poľnohospodárskej pôdy pred degradačnými procesmi (erózia, kompakcia, kontaminácia pôd a následne podzemných vôd) (Houšková, 2000, Širáň, 2009). Potreba skúmania týchto vlastností v širšom priestorovom aj časovom kontexte si vyžaduje inovácie v metodickom

* Ing. Jozef Mališ, RNDr. Jarmila Makovníková, CSc., Ing. Miloš Širáň, PhD., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Mládežnícka 36, Banská Bystrica, SR, e-mail: j.malis@vupop.sk

prístupe. Jednou z možností sú geofyzikálne metódy (napr. elektrická rezistivitná tomografia), ktoré svojím nedeštrukčným prístupom umožňujú pomerne nenáročný prieskum pôdneho prostredia spolu s jeho substrátom z pôdneho povrchu. Tomografický prístup znamená rekonštrukciu vnútorného obrazu skúmaného prostredia z meranej odozvy pôdy na určité vlnenie alebo prúdenie (Vlček, Segeth, 2008).

Výsledný tomografický obraz znázorňuje priestorovú variabilitu veličiny, ktorá charakterizuje dané vlnenie či prúdenie – v našom prípade je to elektrická rezistivita – merný elektrický odpor pôdy [ohm.m]. Táto veličina odráža celkový stav prostredia, koreluje teda s viacerými pôdnymi parametrami súčasne. Tu sa dostávame k problému interpretácie daného merania v zmysle tej-ktorej veličiny, pretože ich vplyv sa môže navzájom prekrývať. Touto problematikou sa zaoberali mnohí autori. V oblasti samotnej geofyziky napr. Archie (1942), Waxman, Smits (1968), Lesmes, Friedman (2005), Gajdoš (2007) hľadali empirické vzťahy medzi rezistivitou hornín a pôd na jednej strane a ich vlhkosťou, hydraulickou vodivosťou, pórovitosťou, katiónovou výmennou kapacitou na strane druhej. Interpretáciou rezistivitných meraní konkrétne v zmysle pôdnych vlastností sa zaoberali napr. Pozdniakova (1999), Michot *et al.* (2001), Werban (2005). Iní autori (napr. Hubbard *et al.,* 2001, Rubin, Hubbard, 2005, Yeh *et al.*, 2006) sa uberajú cestou integrácie týchto rozdielnych dát pomocou stochastického modelovania, napr. prostredníctvom geoštatistických operácií (napr. Bayesianove metódy), resp. kombinácie viacerých geofyzikálnych metód (Garambois *et al*. 2002).

Elektrickú vodivosť pôdy zabezpečujú voľné náboje v pôde – tieto sa nachádzajú v pôdnom roztoku, ako aj na povrchu pevnej fázy, predovšetkým pôdnych koloidov. Chemické vlastnosti (salinita, katiónová výmenná kapacita) určujú kvantitu voľných nábojov, fyzikálne vlastnosti určujú zasa ich pohyblivosť (vlhkosť, pórovitosť, hydraulická vodivosť) (Pozdniakov, Pozdniakova, 2002). Katiónová výmenná kapacita a tiež charakter pórovej siete (tortuozita, kontinuita) závisia vo významnej miere od textúry pôdy. Preto aj základné rezistivitné intervaly sú určované práve materiálovým zložením, resp. zrnitostným zložením skúmanej pôdy (napr. Schwartz, Kimminau, 1987). V zásade platí, že čím je vyšší obsah ílu v celej pevnej fáze pôdy (nielen z jemnozeme), tým je rezistivita nižšia. Vlhkosť pôdy mení hodnoty rezistivity v rámci rozpätia určeného zrnitosťou. Čím vyššia je vlhkosť pôdy, tým nižšia je jej rezistivita.

12.2 MATERIÁL A METÓDY

Na lokalite Zvolenské Nemce s textúrne diferencovanými kotlinovými pôdami sme vykonali opakované merania pôdnej rezistivity a súčasne odber vzoriek na gravimetrické zhodnotenie vlhkosti pôdy, resp. jej zrnitostného zloženia. Výsledky sme hodnotili jednak priamou interpretáciou nameraných geofyzikálnych údajov na základe literatúry, jednak jednoduchým štatistickým zhodnotením vzťahov medzi vlhkosťou pôdy a hodnotami rezistivity.

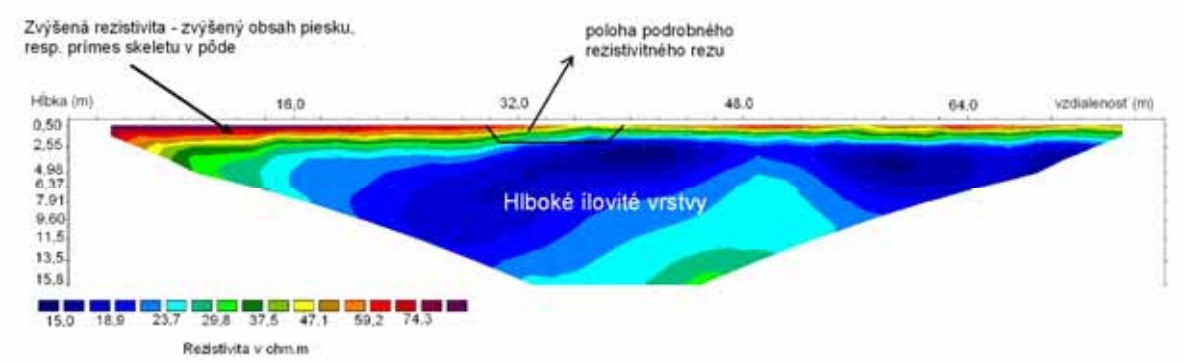
Lokalita Nemce sa nachádza v Banskobystrickom kraji, v k. ú. obce Zvolenské Nemce, v blízkosti Banskej Bystrice. Nadmorská výška lokality je 420 m n.m. Pozemok je vedený v katastri nehnuteľností ako trvalý trávny porast, na ktorom sa už viac rokov pestuje ďatelinotrávna miešanka. Podľa Atlasu krajiny 2002 je územie z geomorfologického hľadiska súčasťou oblasti Slovenské stredohorie, patrí konkrétne do celku Zvolenská kotlina, do podcelku Bystrické podolie. Sklon svahu v týchto miestach dosahuje cca 3 stupne, expozícia je južná. Z hydrologického hľadiska patrí lokalita do povodia rieky Hron, konkrétne do povodia jeho prítoku Selčiansky potok. Geologická stavba územia je tvorená neogénnymi sedimentmi, konkrétne sivými a

Obr. 1 Lokalita Zvolenské Nemce, v pozadí Nízke Tatry

pestrými ílmi, prachmi a pieskami (dák – roman). Pôda patrí k pôdnemu subtypu pseudoglej luvizemná (PGl), na sprašových hlinách, hlboká, na miernom svahu, bez skeletu. Sekvencia horizontov je nasledovná: Ak_p-En-Bgt-Cg.

12.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obr. 2 vidíme celkový pohľad do pôdy spolu s jej substrátom (dĺžka rezu 78 m). Pôda v tomto prípade vznikla z hlbokých, málo priepustných ílovitých sedimentov (minimálne 16 m hlboké), ktoré nie sú vhodné pre tvorbu hladiny podzemnej vody (hodnoty rezistivity 10 až 30 ohm.m – napr. Loke, 2004). Horizontálny priebeh rezistivitných línií zachytáva textúrnu diferenciáciu pôdy. Samotný pôdny profil má vyššie hodnoty rezistivity, ktoré môžu byť spôsobené vymytím ílu, t. j. vyšším obsahom piesčitej a prachovitej frakcie, resp. prekorenenosťou. Zaujímavosťou je výrazne hrubšia vrstva zvýšenej rezistivity v ľavej hornej časti rezu. Je spôsobená zmenou zrnitosti v týchto miestach, napriek tomu, že lokalita sa na prvý pohľad javí ako homogénna (aj charakterom porastu).

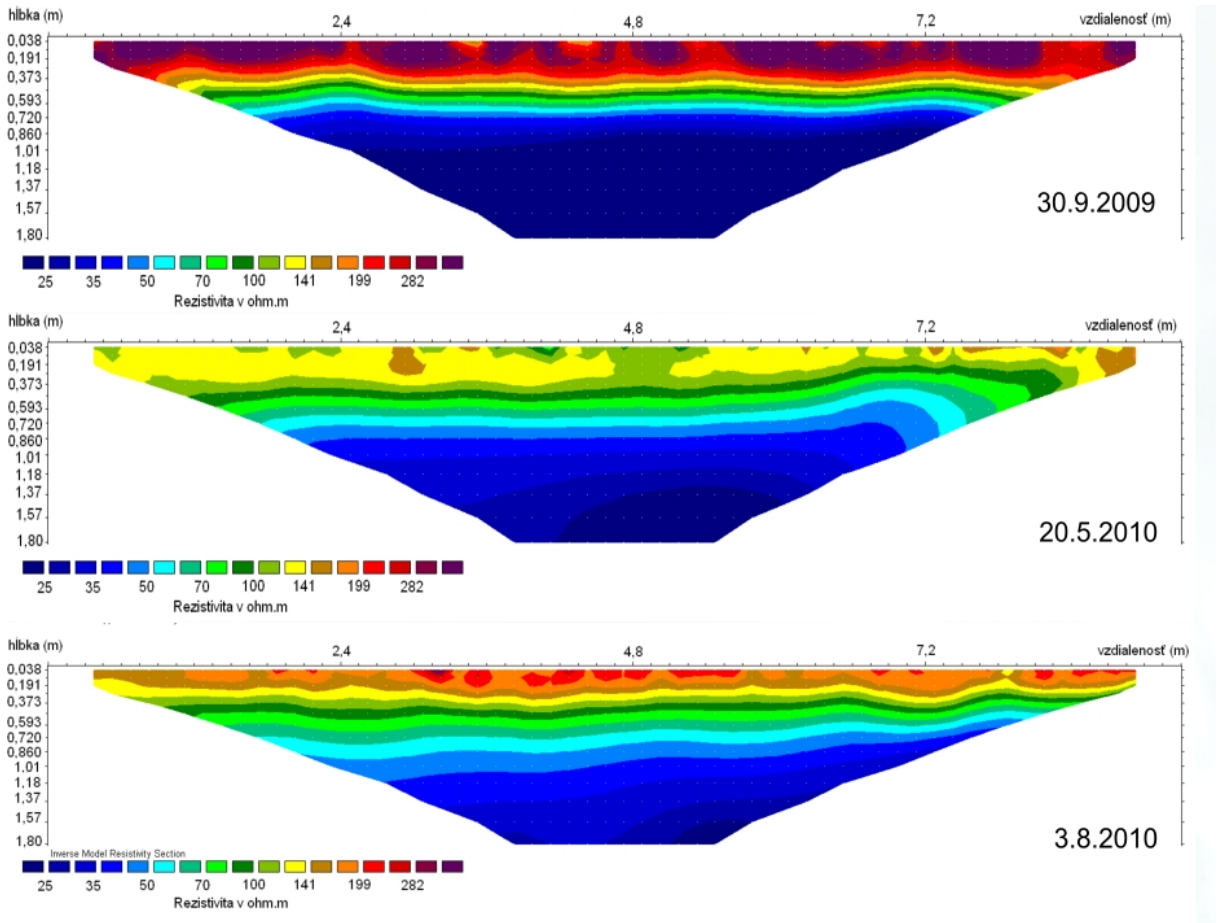


Obr. 2 Celkový geofyzikálny pohľad na lokalitu Zvolenské Nemce – vidíme celkovú hĺbku pôdy, pôdny substrát, variabilitu pôdnej zrnitosti, resp. potenciálne ovplyvnenie pôdy podzemnou vodou. Cca v 34. metri tohto profilu je stred podrobného 9,3 m dlhého rezistivitného merania.

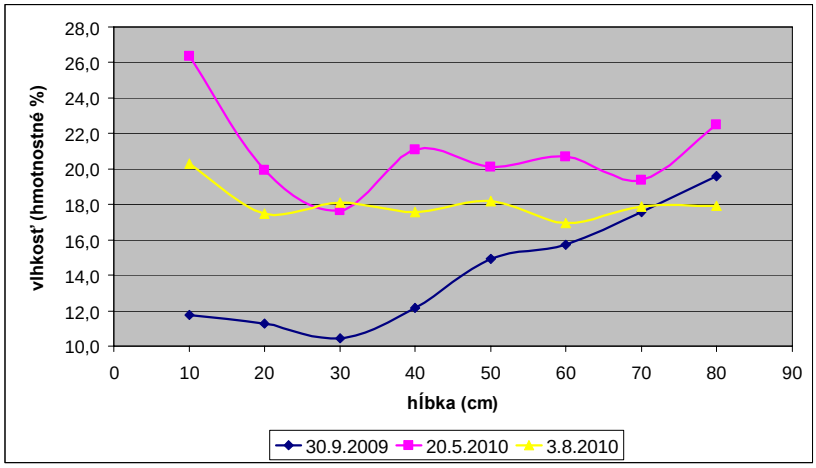
V rámci 78 m dlhého profilu sme tiež merali podrobný 9,3 m dlhý rezistivitný profil (obr. 3, 5). V tab. 1 vidíme v rámci zrnitostného rozboru podľa Nováka vysoký nárast obsahu frakcie F5 (priemer častíc menší ako 0,001 mm) s narastajúcou hĺbkou, čo potvrdzuje prítomnosť ílovitého podložia. Na obr. 3 bol ten istý profil meraný v rámci rôznych termínov s rozdielnymi vlhkostnými pomermi, ktoré výrazne ovplyvnili pôdnu rezistivitu. Charakter rezistivitného obrazu však zostáva viac-menej rovnaký, menia sa hodnoty najmä v povrchových vrstvách. Základný obraz rezistivity je teda daný zložením pôdneho materiálu. Na obr. 5 bola v jednom termíne (20.5.2010 – obdobie s vysokým zrážkovým úhrnom) meraná pôdna rezistivita pri rôznom zapojení elektród (Wenner-Schlumberger a dipól-dipól) a tiež polarizovateľnosť pôdy (IP – indukovaná polarizácia). V rámci tohto profilu sme odoberali z 5 vrtov pôdne vzorky na presné zistenie vlhkosti (do hĺbky 80 cm po 10 cm vrstvách). Zisťovaním korelačných vzťahov medzi vlhkosťou a rezistivitou sme získali pozitívny výsledok len pre priemerné hodnoty rezistivity a vlhkosti z jednotlivých sond (tab. 2).

Tab. 1 Vybrané fyzikálne parametre na lokalite Zvolenské Nemce (odber vzoriek 30.7.2009)

Hĺbka	**Obj. hmot.**	**Zrnitostné zloženie jemnozeme podľa Nováka**				
cm	**(g/cm^3)**	**2-0,25 mm**	**0,25-0,05 mm**	**0,05-0,01 mm**	**0,01-0,001 mm**	**<0,001 mm**
0-10	1,429	7,53	15,61	37,86	27,61	11,39
10-20	1,606	7,08	16,86	37,20	27,27	11,59
20-30	1,488	5,77	14,11	32,51	26,42	21,18
30-40	1,535	3,05	10,13	25,89	24,15	36,78
40-50	1,455	4,06	10,48	24,19	23,98	37,28
50-60	1,401	3,69	8,90	29,57	23,73	34,12
60-70	1,475	3,88	9,27	23,52	24,32	39,01
70-80	1,439	3,41	11,29	24,22	29,46	31,62



Obr. 3 Časová variabilita pôdnej vlhkosti na lokalite Nemce zachytená prostredníctvom ERT v rámci podrobného rezistivitného merania – suchá jeseň 2009 a extrémne vlhká jar, resp. leto 2010 - čím suchšia pôda, tým vyššia rezistivita; merania boli prevedené do rovnakej rezistivitnej škály kvôli lepšej porovnateľnosti



Obr. 4 Časová variabilita pôdnej vlhkosti na lokalite Nemce zachytená prostredníctvom gravimetrie

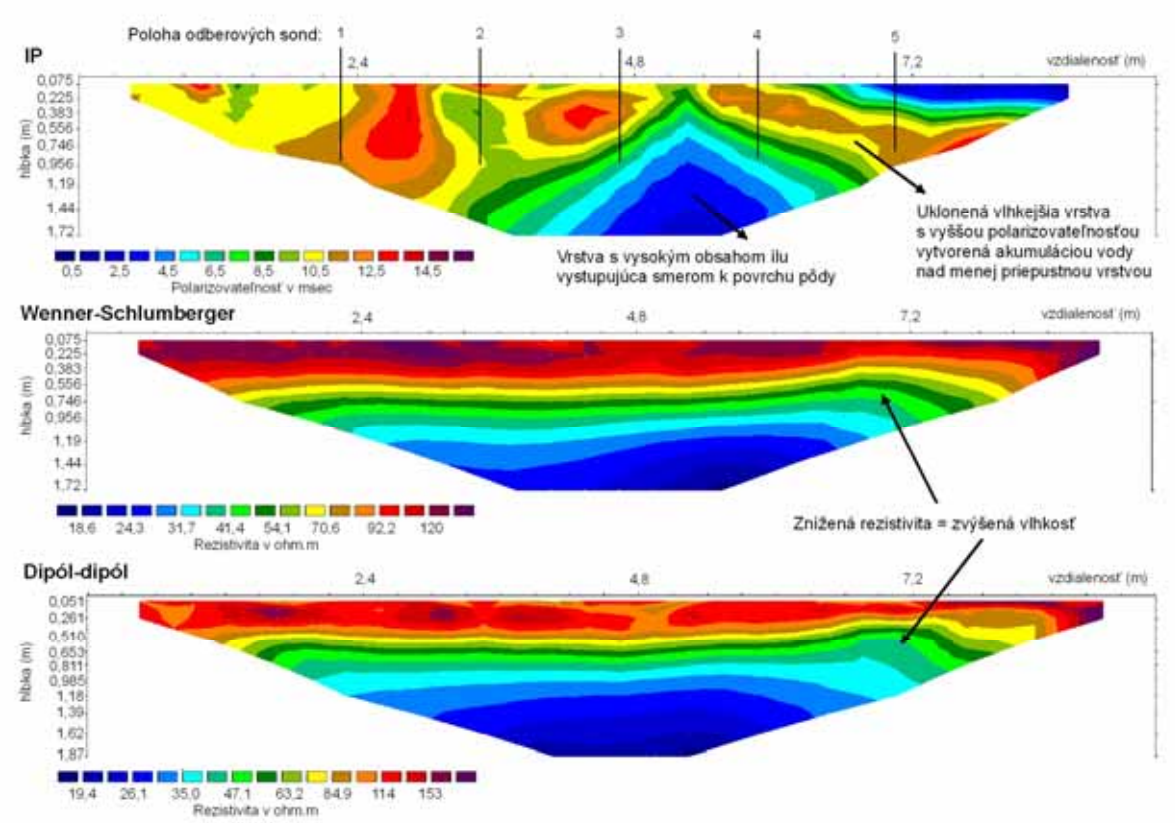
Zapojenie Wenner-Schlumberger je citlivejšie na detekciu horizontálnych vrstiev (napr. výrazných pôdnych horizontov), dipól-dipól zasa na vertikálne štruktúry (pukliny, preferované prúdenie a pod.) (Loke, 2004, Michot *et al,*. 2001). V pravom dolnom rohu profilu vystupuje málo priepustná ílovitá vrstva substrátu, nad ktorou sme namerali vyššie hodnoty vlhkosti, spôsobené akumuláciou vody. V tomto prípade metóda dokáže zachytiť len výraznejšie priestorové rozdiely vlhkosti. Pri našom

meraní sa ako presnejšie ukázalo zapojenie dipól-dipól – výrazné zvýšenie vlhkosti má lokálny charakter. Metóda IP je tu len doplnková (je možné merať ju súčasne s rezistivitou) – pomáha odlíšiť prekrývajúci sa vplyv vlhkosti a zrnitosti – práve kombinácia nižšej rezistivity a vyššej polarizovateľnosti znamená zvýšenú vlhkosť (Binley *et al.* 2005).

Vzťah elektrickej rezistivity pôdy a vlhkosti sme zhodnocovali pomocou klasickej štatistiky, pričom hodnoty vlhkosti sú bodové (diskrétne), zatiaľ čo obraz rezistivity je už softvérovo spracovaný do kontinuálneho priestorového modelu. Preto – ako sme už spomenuli v úvode – viacerí autori zhodnocujú vzájomné vzťahy hydrofyzikálnych a geofyzikálnych parametrov pôdy prostredníctvom stochastických modelov založených prevažne na geoštatistike (napr. SSLE – *Sequential successive linear estimator* – Yeh *et al.,* 2006).

Tab. 2 Hodnoty vlhkosti z jednotlivých pôdnych sond zistené gravimetricky a ich vzťah k príslušným hodnotám rezistivity

	Vlhkosť pôdy v hm. %					**Korelačný koeficient**
Hĺbka (cm)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	dipól-dipól
0-10	18,25	20,83	16,98	18,81	26,38	
10-20	16,68	18,20	16,95	20,81	19,94	
20-30	14,76	17,16	16,43	18,72	17,64	
30-40	16,33	17,31	14,69	12,35	21,08	
40-50	15,92	15,41	16,68	18,69	20,12	
50-60	13,84	17,01	14,26	18,23	20,68	
60-70	15,09	17,26	13,27	18,99	19,36	
70-80	12,70	17,63	14,11	18,75	22,49	
Priemer vlhkosti	**15,45**	**17,60**	**15,42**	**18,17**	**20,96**	
Priemer rezistivity (ohm.m)	**95,19**	**93,08**	**98,97**	**91,67**	**76,28**	**-0,95**



Obr. 5 Pôdny profil meraný metódou IP a ERT pri rôznom zapojení elektród, metóda je schopná zachytiť výraznejšie priestorové zmeny vlhkosti v rámci profilu

12.4 ZÁVER

Príspevok naznačil možné perspektívy využitia geofyzikálnych metód v prieskume a mapovaní variability pôdnych vlastností. Hlavnou výhodou týchto metód je nedeštrukčný vstup do pôdneho prostredia, ktorý chýba napr. pri metódach DPZ. Oproti analytickým metódam majú výhodu väčšieho priestorového záberu, čím môžeme lepšie zachytiť priestorovú variabilitu pôdnych vlastností. Problematická je spoločná interpretácia geofyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností pôdy, kvôli prekrývaniu sa ich vzájomného vplyvu. V článku sme uviedli celkový geofyzikálny pohľad na danú lokalitu a porovnanie možností metódy ERT, resp. IP pre hodnotenie časovej a priestorovej variability vlhkosti pôdy.

Literatúra

ARCHIE G.E. 1942. *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*. Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng. 146, 54-62.

BINLEY A., SLATER L.D., FUKES M., CASSIANI G. 2005. Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties of saturated and unsaturated sandstone. *Water resources research,* Vol. 41, p. W 12417, 1-13.

GAJDOŠ V. 2007. *Elektrické vlastnosti hornín.* KAEG PriF UK, Manuskript, Bratislava.

GARAMBOIS S., SÉNÉCHAL P., PERROUD H. 2002. On the use of combined geophysical methods to assess water content and water conductivity of near-surface formations. *Journal of Hydrology* 259, 32-48.

HOUŠKOVÁ B. 2000: Použitie pedotransferových funkcií na výpočet hydrofyzikálnych charakteristík pôdy. *Edícia Pedo-disertationes,* VÚPOP, Bratislava, 72 pp.

HUBBARD S.S., CHEN J., PETERSON J., MAJER E.L., WILLIAMS K.H., SWIFT D.J., MAILLOUX B. RUBIN Y. 2001. Hydrogeological characterization of the South Oyster Bacterial Transport Site using geophysical data. *Water resources research*, Vol. 37, No. 10, 2431-2456.

KWADER T. 1985. Estimating aquifer permeability from formation resistivity factors. *Ground water,* No. 6, Vol. 23, 762-766.

LESMES D.P., FRIEDMAN S.P. 2005. Relationships between the electrical and hydrogeological properties of rocks and soils. In: Rubin Y., Hubbard S. S. (eds). 2005: *Hydrogeophysics*. Springer, The Netherlands. 523 pp.

LOKE M.H. 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. www. geoelectrical.com, 128 pp.

MICHOT D., DORIGNY A., BENDERITTER Y. 2001. Determination of direction and corn roots-induced drying in an irrigated Beauce Calcisol, using electrical resistivity measurements. *Earth and Planetary Sciences 332*, 29-36.

POZDNIAKOV A., POZDNIAKOVA L. 2002. Electrical fields and soil properties. *17th WCSS, Thailand*, p. 1558-1–1558-11.

POZDNIAKOVA L. 1999. *Electrical properties of soils*. Dissertation thesis. Laramie, WY, 138 pp.

RUBIN Y., HUBBARD S.S. 2005. *Hydrogeophysics.* Water Science and Technology Library. Springer, HARDCOVER, 523 pp.

SCHWARTZ L.M., KIMMINAU S. 1987. Analysis of electrical conduction in the grain consolidated model. *Geophysics* 52, 1402-1411.

ŠIRÁŇ M. 2009. Kompakcia poľnohospodárskych pôd a jej vývoj. In: Kobza *et al.,* 2009: *Monitoring pôd SR.* VÚPOP Bratislava, 200 pp.

VLČEK V., SEGETH, K. 2008. Matematika dokonale ukrytá v počítačové tomografii. *Pokroky matematiky, fyziky a astronómie*, 53, no. 3, 199-210.

WAXMAN M.H., SMITS L.J.M. 1968. Electrical conduction in oil-bearing sands, *Society of Petroleum Engineers Journal*, 8, 107-122.

WERBAN, U. 2005. Geophysikalische Erfassung von Feuchte- und Substratheterogenitäten im Boden auf unterschiedlichen Skalen. Dissertation thesis, Kiel, 119 pp.

YEH T-CH.J., ZHU J., ENGLERT A., GUZMAN A., FLAHERTY S. 2006. A successive linear estimator for electrical resistivity tomography. In: Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil, A., Titov, K., 2006*: Applied Hydrogeophysics.* Springer, The Netherlands, 383 pp.

13. VYUŽITÍ RŮSTOVÝCH ANOMÁLIÍ POROSTU KE ZPŘESNĚNÍ PŮDNÍCH MAP

13 Use of crop growth anomalies for more precise soil maps

Martin Brtnický, Olga Denešová, Jitka Podešvová, Eduard Pokorný*

ABSTRAKT
Na leteckých snímcích porostů zemědělských plodin jsou často velmi dobře patrná místa s růstovými anomáliemi (jiné zabarvení, hustota porostu, změna doby dozrávání, poléhání obilnin, atd.). Pokud se jedná o plochy s opakovaným výskytem, obyčejně jasně ohraničené, je důvod domnívat se, že se jedná o místa s odlišnými půdními vlastnostmi, než na ostatních částech pozemku. Běžně se tato metoda používá v nedestruktivní archeologii, kde jsou změny půdních vlastností způsobeny antropogenní činností. Z leteckých snímků porostů ječmene jarního byla v oblasti Hulína vytipována místa starých říčních ramen řeky Moravy. Růstové anomálie se projevují předčasným dozráváním, v některých letech zaschnutím porostu. Na pozemcích byl proveden pedologický průzkum v místech bývalých ramen řeky a mezi nimi. Typologicky jsou půdy řazeny k fluvizemím glejovým. Bylo prokázáno, že v místech bývalého řečiště je nasycená hydraulická vodivost šestkrát vyšší než mimo řečiště. Pórovitost s hloubkou výrazně roste v řečišti, mimo řečiště je vyšší v povrchových horizontech. Z chemických vlastností byla prokázána vyšší kvalita humusu (HK/FK) mezi toky ve všech hloubkách. Obsah přijatelného fosforu byl vyšší mezi toky v hloubce kolem jednoho metru v řečišti. Respiračními testy byla zjištěna v místech mezi toky vyšší respirační mohutnost, vyšší stabilita organických látek a větší nedostatek fyziologicky využitelného dusíku. Zjištěné rozdílnosti půdních vlastností jsou běžnými metodami terénního průzkumu, nebo metodami pedometrickými nemapovatelné. Využití leteckých snímků porostů se jeví jako velmi dobrý doplněk při sestavování půdních map.
Klíčová slova: růstové anomálie, letecké snímky, půdní mapy, hydrofyzikální vlastnosti, výnosové deprese

ABSTRACT
On the aerial crop photographs there are often very good visible areas with growth anomalies (different colour, canopy density, change of ripening, lodging of cereals, etc.). In the case of repeated occurrence of areas which are usually clearly delineated, there is reason to consider that these sites have different soil properties than the rest of the land. Normally this method is used in non-destructive archaeology where changes in soil properties are caused by anthropogenic activities. From the aerial photographs of spring barley crops old meanders of the River Morava were identified in Hulín area. Growth anomalies are manifested by early maturation, in some years by drying crops. The pedological survey was accomplished in areas of former river meanders and between them. Typologically soils are classified as Gleyic Fluvisols. It was demonstrated that in site of a former river bed the saturated hydraulic conductivity is six times higher than outside the bed. Porosity increases significantly with depth in the stream; outside the river channel the porosity is higher in top horizons. From the chemical properties the higher humus quality (HK / PK) was demonstrated in interfluves sites at all soil depths. Available phosphorus content was higher in interfluves sites into one meter depth in the riverbed. By respiratory tests in interfluves locations there were found increased respiration capacity, higher stability of organic matter and increasing lack of physiologically usable nitrogen. Observed differences in soil properties cannot be mapped by standard field survey methods, or pedometric methods. Using of crop aerial photographs appears to be a very good supplement tool for soil maps compilation.
Key words: growth anomalies, aerial photographs, soil maps, hydrophysical properties, yield depression

* Ing. Martin Brtnický[1], Ing. Olga Denešová[2], Jitka Podešvová[2], doc. Ing. Eduard Pokorný, CSc.[1] , [1]Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, AF, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno, ČR, e-mail: Martin.Brtnicky@mendelu.cz, [2]Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 767 01 Kroměříž, ČR, e-mail: denesova.olga@vukrom.cz

13.1 ÚVOD

V oblasti mezi Přerovem a Kroměříží je řada zemědělských pozemků postižena pravidelně se vyskytujícími, ostře ohraničenými místy usychání pěstovaných plodin, zejména obilnin. Při pohledu z letadla (obr. 1) je zřejmé, že se jedná o staré přítoky řeky Moravy.

Z geologického hlediska se jedná o četné deprese v Hornomoravském úvalu, které byly vyplněny fluviolimnickými sedimenty s výrazným podílem, resp. i převahou fluviální složky (Malý, 1983). V době ukládání sedimentů, tvořených štěrky s nepravidelnými polohami jílů a písků, byla severní část Hornomoravského úvalu v širším okolí Uničova pravděpodobně spojena dvěma rameny s průtočným jezerem v okolí Přerova a Kroměříže. Jedno rameno bylo v místě lutínské brázdy a druhé v prostoru dnešního údolí řeky Moravy. Mezi Přerovem a Kroměříží má terasa šířku až 7,5 km. (Czudek, 1997; Růžička, 1973).

Přesto, že v minulosti byla celá, zemědělsky vysoce ceněná oblast systematicky rekultivována, rozdílné vlastnosti půd se na porostech projevují dodnes. Pedologicky jejich výskyt však není možno postihnout běžnými metodami průzkumu a proto nejsou v mapách zanesena. Přitom jejich výměra a tím i škoda na hospodářském výnosu není rozhodně zanedbatelná. Např. na obr. 1 představuje poškozená plocha 10,81 % výměry pozemku.

Protože je přesná lokalizace výskytu okrsků se zvýšeným nebezpečím usychání porostů v mimovegetačním období obtížná, je vhodné využít leteckého snímkování anomálií rostlinného pokryvu.

Obr. 1 Letecký snímek zájmového území v k.ú. Hulín, okr. Kroměříž s vyznačením umístění sond (*foto A. Karban*)

13.2 MATERIÁL A METODY

Zájmová oblast se nachází v nivě řeky Moravy (rozsáhlá oblast fluvizemí glejových) západně od obce Hulín. Dne 1. října 2009 byly na pozemku vykopány sondy v místech znázorněných na obr. 1 (souřadnice GPS jsou uvedeny u popisu sond, viz obr. 2 a 3). Po popisu sond byly podle genetických horizontů odebrány vzorky na stanovení fyzikálních chemických a biologických vlastností. V bezprostředním okolí sond byla stanovena nasycená hydraulická vodivost metodou plněné sondy (Němec, 1978). Výsledky profilové zrnitostní analýzy jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky zrnitostní analýzy

Lokalita	Horizont (hloubka v cm)	Velikost částic [%]			
		< 0,1mm	< 0,05 mm	< 0,01 mm	< 0,002 mm
Řečiště	Ap (0 – 30)	73	65	32	17
	M (30 – 59)	56	49	34	19
	MGro (59 – 100)	23	17	12	10
Mezi toky	Ap (0 – 29)	78	68	40	23
	M (29 – 70)	79	69	38	22
	MGor (70 – 100)	81	72	42	21

K hodnocením uvedeným v tomto příspěvku byly vybrány pouze vlastností které se od sebe v obou sondách liší statisticky průkazně (t – test).

Obr. 2 Sonda 28 – v řečišti (49°18,938', 17°26,675', n.v.190 m), k.ú. Hulín, 1.10.2009

0 – 30 (37) cm, Ap, Am,
tmavohnědá (10YR 3/3) barva, drobtová, slabě vyvinutá struktura, hlinitá, suchá, drobivá, středně prokořeněná a středně biologicky oživená, přechod ostrý, zvlněný

30 (37) – 59 cm, M,
hnědá (10YR 3/4) barva, polyedrická, středně vyvinutá struktura, písčitá hlína, vlhká, slabě plastická, slabě prokořeněná a slabě biologicky oživená, přechod difúzní

59 – 100 cm MGro
nažloutle hnědá (10YR 5/6) a matně žlutooranžová (10YR 6/3) barva, bez struktury, hlinitý písek, vlhká, neplastická, bez kořenů a bez biologického oživení

Obr. 3 Sonda 29 – mezi toky (49°18,976', 17°26,611', n.v.190 m), k.ú. Hulín, 1.10.2009

0 – 29 cm, Ap,
tmavohnědá (10YR 3/3) barva, drobtová, středně vyvinutá struktura, prachovitá hlína, vlahá, drobivá, silně prokořeněná a středně biologicky oživená, přechod zřetelný

29 – 70 cm, M,
tmavohnědá (10YR 3/4) barva, polyedrická, středně vyvinutá struktura, prachovitá hlína, vlahá, soudržná, středně prokořeněná a slabě biologicky oživená, přechod pozvolný

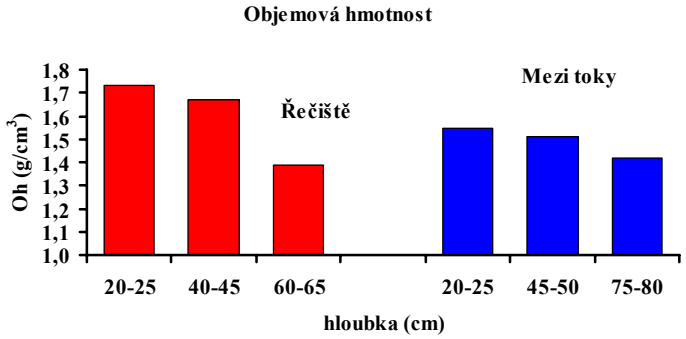
70 – 100 cm MGor
nevýrazně žlutohnědá (10YR 4/3) barva se středně velkými rezivými skvrnami, prizmatická, středně vyvinutá struktura, prachovitá hlína, vlahá, drobivá, slabě prokořeněná a slabě biologicky oživená

13.3 VÝSLEDKY A DISKUZE

13.3.1 Fyzikální vlastnosti

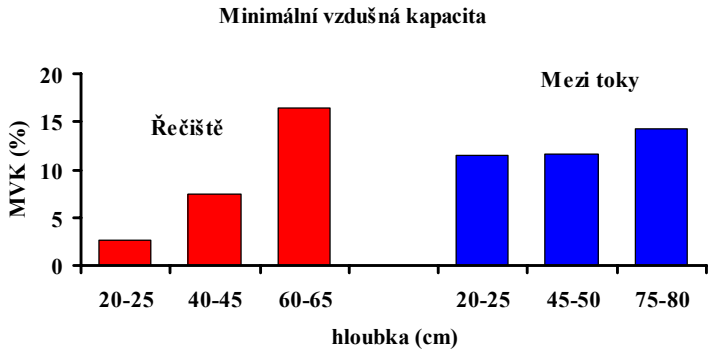
a) *objemová hmotnost* – je z agronomického hlediska je vysoká. V obou případech přesahuje 1.45 g/cm^3. V horizontech Ap i M jsou vyšší hodnoty v místě bývalého řečiště (viz graf 1). Hodnoty

v řečišti jsou enormně vysoké (Ap 1,73 a M 1,67), mezi toky dosahují také vysokých i když dnes ne neobvyklých hodnot (Ap 1,55 a M 1,51).



Graf 1 Objemová hmotnost

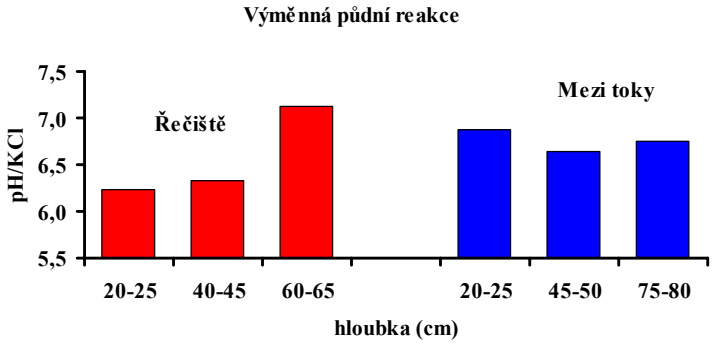
b) *minimální vzdušná kapacita* – se v místech řečiště stává limitujícím faktorem růstu pěstovaných plodin. V Ap horizontu (graf 2) je pouze 2,61 % a M horizontu 7,43 %. Mezi toky hodnoty minimální vzdušné kapacity pod kritickou mez 10 % nepoklesly – v Ap horizontu je to 11,41 % a v M horizontu 11,66 %.



Graf 2 Minimální vzdušní kapacita

13.3.2 Chemické vlastnosti

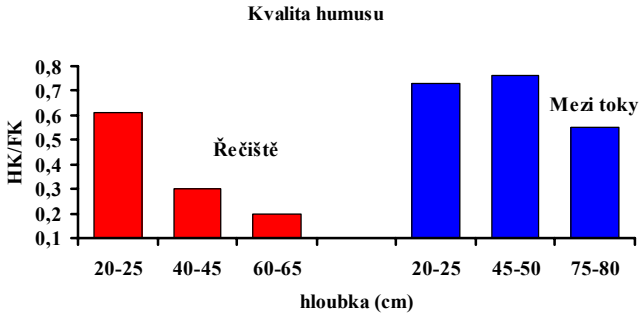
a) výměnná půdní reakce – se svými hodnotami na obou sledovaných lokalitách výrazně liší (*graf 3*). Zatímco v Ap horizontu řečiště dosahuje pH/KCl 6,23, je ve stejném horizontu mezi toky 6,87 a v M horizontu je to v řečišti 6,33 a mezi toky 6,64.



Graf 3 Výměnná půdní reakce

b) kvalita humusu – je v půdě řečiště, ve srovnání s půdou mezi toky snížena (graf 4). V Ap horizontu je v řečišti HK/FK 0,61 a mezi toky 0,73, v M horizontu je to 0,30 a 0,76 a konečně v MGro

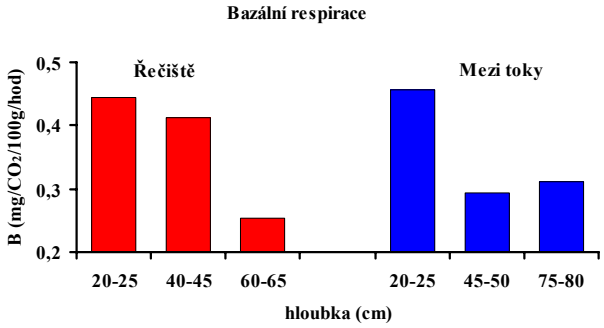
horizontu 0,20 a v MGor horizontu 0,55. Tento poznatek není v souladu s fyzikálními vlastnostmi. V řečišti lze předpokládat spíše anaerobní procesy (zvýšená objemová hmotnost a snížená minimální vzdušnost) a tím zvýšenou syntézu humínových kyselin.



Graf 4 Kvalita humusu

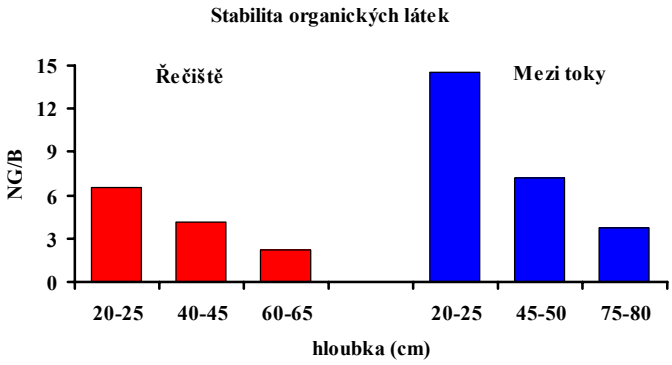
13.3.3 Biologické vlastnosti

a) bazální respirace – je ukazatelem rychlosti přeměny organických látek, dané půdním druhem, vlhkostí, stupněm aerace atd. Zjištěné výsledky dobře korelují s půdním druhem (viz tab. 1 a graf 5). V M horizontu řečiště dochází, díky vyššímu obsahu písku ke zvýšení bazální respirace (v řečišti je bazální respirace 0,412 mg CO_2 /100g/hod, zatímco mezi toky je to pouze 0,294 mg CO_2 /100g/hod).



Graf 5 Bazální respirace

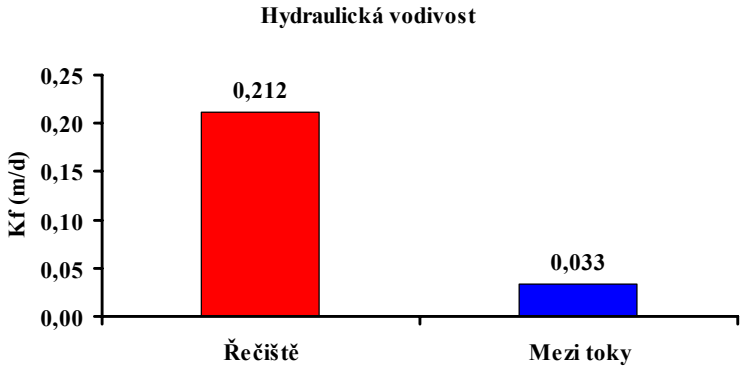
b) stabilita organických látek – měřená v respiračních testech poměrem NG/B, vyjadřuje odolnost organických látek proti mikrobiálnímu rozkladu. Čím je hodnota vyšší, tím je odolnost větší. Z grafu 6 je patrné, že rozdíl mezi lokalitami je výrazný. Průměrná hodnota z celého profilu je v místě řečiště 4,31, mezi toky je to 8,50. Nalezené výsledky dobře odpovídají poznatkům o kvalitě humusu (v řečišti nižší) a bazální respiraci (v řečišti jsou rychleji rozkládány – zvýšená respirace v M horizontu).



Graf 6 Stabilita organických látek

13.3.4 Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost (viz graf 7) byla měřena metodou plněné sondy (Němec, 1978). Rozdíl mezi lokalitami je statisticky průkazný. V řečišti je naměřená hodnota Kf 0,212 m/d (kategorie nízká), zatímco mezi toky pouze 0,033 m/d (kategorie velmi nízká). V místě bývalého řečiště je hydraulická vodivost 6,42 násobně vyšší. Výsledky odpovídají zrnitostnímu složení na obou lokalitách (viz tab. 1), kde v horizontu MGro bývalého řečiště je hlinitý písek a v horizontu MGor mezi řečišti je prachovitá hlína (Němeček, 2001).



Graf 7 Hydraulická vodivost

13.3.5 Využitelná zásoba vody

Na základě výsledků fyzikálních analýz byla vypočtena zásoba využitelné vody v místech sond. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Zásoba vody v profilu do 1 m je v řečišti pro bod vadnutí 111,04 mm, pro retenční vodní kapacitu 304,41. Množství využitelné vody pro rostliny je 192,37 mm. Mezi toky je zásoba vody do 1 m pro bod vadnutí 160,57 mm, pro retenční vodní kapacitu 303,89 mm a využitelná voda představuje 143,32 mm.

Tab. 2 Využitelná zásoba vody

Lokalita	Horizont	Hloubka	Jílnaté částice	Bod vadnutí	Zásoba vody při BV	Retenční vodní kapacita	Zásoba voda při RVK	Využitelná zásoba vody
		(cm)	(%)	(% obj.)	(mm)	(% obj.)	(mm)	(mm)
Řečiště	Ap	0 – 30	32	13,6	40,8	31,5	94,5	53,7
	M	30 – 59	33	13,9	40,31	29,5	85,5	45,19
	MGro	59 – 100	11	7,3	29,93	31,1	123,41	93,48
Celkem					**111,04**		**303,41**	**192,37**
Mezi toky	Ap	0 – 29	40	16	46,4	28,8	83,52	37,12
	M	29 – 70	39	15,7	64,37	30,7	125,87	61,5
	MGor	70 – 100	42	16,6	49,8	31,5	94,5	44,7
Celkem					**160,57**		**303,89**	**143,32**

Srovnáním výsledků rozborů půd v místě bývalého řečiště a mezi toky bylo nalezena řada statistiky průkazně rozdílných vlastností. Řada je ovlivněna zrnitostním složením. Jedná se především o vlastnosti fyzikální a s nimi související vlastnosti chemické i biologické:

- ✓ V místech bývalého řečiště má zrnitostně lehčí půda vyšší objemovou hmotnost. V povrchových horizontech byla vlivem hospodaření mezi toky vytvořená kvalitní struktura a tím došlo k výraznému zlepšení hodnot minimální vzdušnosti (ve vnitropůdních horizontech je tomu naopak).

- ✓ Zhoršení agronomických půdních vlastností v místech řečiště bylo potvrzeno sníženými hodnotami výměnné půdní reakce a sníženou kvalitou humusu. To bylo potvrzeno rovněž respiračními testy – zvýšenou bazální respirací v místech bývalého řečiště a sníženou stabilitou vytvořených organických látek, zde je organická hmota rychleji rozkládána (potvrzeno zvýšenou respirací) a nemůže dojít k syntéze vysokomolekulárních organických látek.

Výpočet zásoby možné využitelné vody v profilech prokázal paradoxní zjištění – půdní profil v řečišti má větší zásobní kapacitu. Vzhledem k tomu, že se jedná o místa s pravidelně usychajícími porosty musí být voda v místě řečiště odváděna rychleji než na ostatních částech pozemku. To potvrdily hodnoty nasycené hydraulické vodivosti, kdy v místě bývalého řečiště je hydraulická vodivost 6,42 násobně vyšší. Odvod vody zde neprobíhá pouze vertikálně, ale výrazný odvod vody je horizontálním odtokem v korytech bývalých řečišť.

13.4 ZÁVĚR

Na leteckých snímcích porostů zemědělských plodin v aluviálních oblastech Moravy jsou často velmi dobře parná místa s růstovými anomáliemi. Projevují se např. jiným zabarvením, hustotou porostu, změnou doby dozrávání, poléháním obilnin a zejména místy s porosty uschlými. Pokud se jedná o plochy s opakovaným výskytem, obyčejně jasně ohraničené, je důvod domnívat se, že se jedná o místa s odlišnými půdními vlastnostmi, než na ostatních částech pozemku.

Z leteckých snímků porostů ječmene jarního byla v oblasti Hulína vytipována místa starých říčních ramen řeky Moravy. Na pozemcích byl proveden pedologický průzkum v místech bývalých ramen řeky a mezi nimi. Typologicky jsou půdy řazeny k fluvizemím glejovým.

Bylo prokázáno, že v místech bývalého řečiště je nasycená hydraulická vodivost šestkrát vyšší než mimo řečiště. Pórovitost s hloubkou výrazně roste v řečišti, mimo řečiště je vyšší v povrchových horizontech. Z chemických vlastností byla prokázána vyšší kvalita humusu (HK/FK) mezi toky ve všech hloubkách. Respiračními testy byla zjištěna v místech bývalého řečiště vyšší respirační mohutnost a nižší stabilita organických látek.

Zjištěné rozdílnosti půdních vlastností jsou běžnými metodami terénního průzkumu nemapovatelné. Využití leteckých snímků porostů, zejména v oblastech fluvizemí jeví jako velmi dobrý doplněk při sestavování půdních map.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou Národní agentury pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství číslo QI91C054 „Atlas půdního klimatu České republiky – Vymezení termických a hydrických režimů a jejich vliv na produkční schopnost půd“ a výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

CZUDEK T. 1997. *Reliéf Moravy a Slezska v Kvartéru*. Sursum Brno, 1997, 213 s., ISBN 80-85799-27-8.

MALÝ J. 1983. Hydrogeologie kvartéru Hornomoravského úvalu a Mohelnické brázdy. *Sborník geologických věd*, Praha, HIG, 17, 45-79, 1983.

NĚMEC J. 1978. Měření hydraulické vodivosti půdy metodou plněné sondy. *Sborník: Výsledky a perspektivy výzkumu v hydrológii a hydromechanike.* ÚHH SAV, Vysoké Tatry, 1978.

NĚMEČEK J. a kol. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha ve spolupráci s VÚMOP Praha, 2001, 78 s., ISBN 80-238-8061-6.

RŮŽIČKA M. 1973. Fluviální sedimenty řeky Moravy v okolí Olomouce. *Sborník geologických věd, Praha, Antropozoikum, 9,* 1973, 7-43.

14. VYUŽITÍ GIS V OBLASTI KONTAMINACE PŮDY RIZIKOVÝMI LÁTKAMI

14 GIS application in regions of soils contaminated by risk elements

Radim Vácha, Jan Skála, Jarmila Čechmánková*

ABSTRAKT
Na základě dlouhodobého sledování zátěže zemědělských půd ČR potenciálně rizikovými prvky (RP) a perzistentními organickými polutanty (POP) byly získány výsledky z více než 50 % rozlohy ČR s tím, že přednostně byly zahrnuty regiony s významnou imisní zátěží (severní a západní Čechy, severní Morava). Jedním z výstupů sledování jsou mapy zátěže zemědělských půd, v měřítku 1:200 000, zpracovaných v aplikaci GIS (program ArcGIS). Aplikace využívá principu propojení bodů se stejnou koncentrační úrovní v rámci sledovaného území (zpravidla velikosti 3 okresů), na základě interpolace jsou modelovány koncentrace i v místech, kde vlastní měření není k dispozici. Výsledkem jsou barevně odlišené oblasti ohraničené izoliniemi. Odlišnými barvami je zvýrazněno překročení dvou limitních koncentrační úrovně rizikových látek, a to úrovně pozaďových hodnot a dále hodnot, které jsou rizikové z hlediska jejich přestupu do rostlinné produkce (platí pouze pro RP). Mapové výstupy jsou zpracovány pro 5 RP (As, Be, Cd, Pb, Zn), 2 sloučeniny ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), fluoranten a benzo(a)pyren, a dále pro sumu PAU.
Klíčová slova: zemědělská půda, rizikové prvky, perzistentní organické polutanty, intenzita zátěže, aplikace GIS

ABSTRACT
On the basis of long-term monitoring of potentially risk elements and persistent organic pollutants (POPs) in agricultural land of Czech Republic; the results were obtained from more than 50 % area of Czech Republic, with the priority regions where significant air pollution (the northern and western Bohemia, northern Moravia) were included. One of the outputs of agricultural land monitoring are soil maps, in the scale 1:200,000, processed in GIS application (ArcGIS program). The application uses the principle of linking points with the same concentration levels within the reference area (usually the size of 3 districts) by interpolation are modelled concentrations also in sites where the measurement is not available. The results are differently coloured area delimited by isopleths. By different colours there is highlighted exceeded two limit concentration levels of risk elements, i.e. the level of background values and values that are risky at transfer to vegetable production (only for risk elements). Map outputs are processed for 5 risk elements (As, Be, Cd, Pb, Zn), two compounds from the group of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), fluoranthene and benzo (a) pyrene, and for the sum of PAHs.
Key words: agricultural soil, risk elements, persistent organic pollutants, the intensity of load, GIS applications

14.1 ÚVOD

Využití geografických informačních systémů k vyjádření plošné zátěže půdy rizikovými látkami je v současné době samozřejmostí. Aplikace těchto nástrojů má však relativně velmi krátkou historii a současným metodám předcházela, ještě takřka donedávna, řada postupů mnohem méně sofistikovaných. Základním nástrojem pro správu a zpracování prostorových dat jsou v současnosti softwarové produkty GIS, jejichž význam narostl především díky rozšíření komerčně dostupných softwarů pro budování GIS.

Základem každé aplikace GIS a prostorové analýzy je dostatečné množství vstupních dat. V případě rizikových látek jsou to data nákladná, vycházející z chemických rozborů vzorků. Podle typu sledovaného polutantu se ceny mohou řádově lišit, u některých látek typu perzistentních organických polutantů je nutné počítat s částkami, řádově desítek tisíc korun za jeden vzorek. Je proto

* doc. Ing. Radim Vácha, PhD., Ing. Jan Skála, Ing. Jarmila Čechmánková, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, Praha 5, 156 27 Zbraslav, ČR, e-mail: vacha@vumop.cz

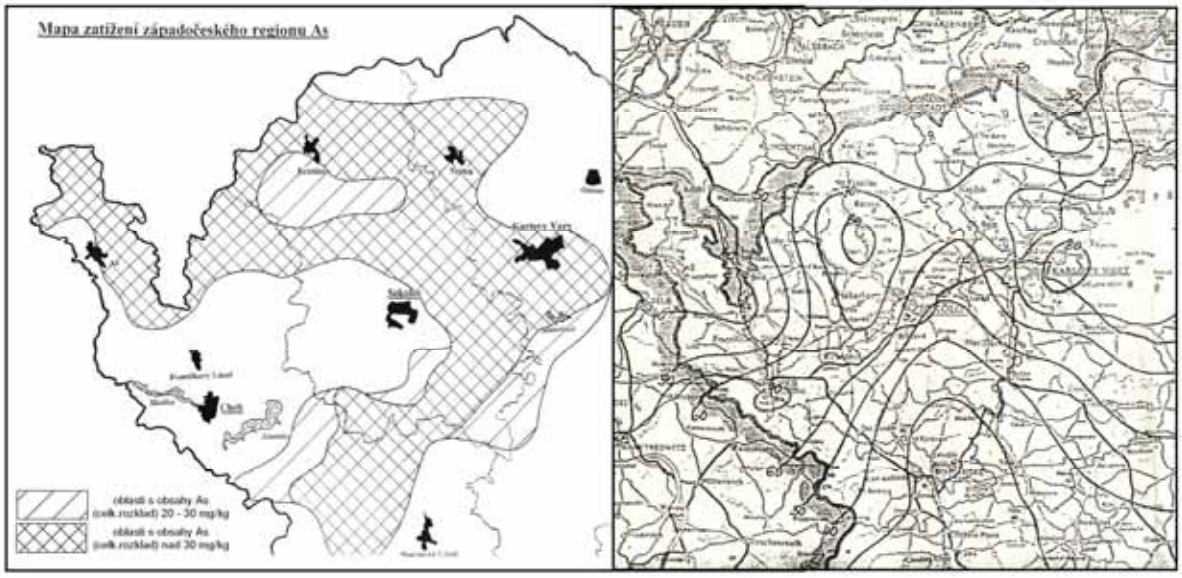
logické, že vlastnímu vytvoření mapových výstupů předcházela mnoholetá řada monitorování, s postupným rozšiřováním využitelné databáze.

Ve VÚMOP Praha byl ucelený monitoring obsahu rizikových látek v zemědělských půdách zahájen počátkem 90. let a byl vyvolán potřebou ověřit skutečnou zátěž našich zemědělských půd a vyvrátit tak mediální zprávy o „jedovatosti“ našich půd a potravin. Průběžné sledování bylo zahájeno v nejvíce zatížené oblasti severočeského imisního regionu, výsledky byly srovnávány se vzorky z referenčních oblastí, za které byly zvoleny oblast Šumavy a okresu Pelhřimov na Českomoravské vysočině. Sledována byla zátěž zemědělsky využívaných půd i pícnin na orné půdě a travních porostů. Výsledky byly publikovány v odborném tisku a na konferencích (Podlešáková, Němeček, 1995). Byly sledovány obsahy potenciálně rizikových prvků (Podlešáková a kol., 1997), v průběhu několika let bylo zahájeno, v závislosti na analytických možnostech, také monitorování obsahů perzistentních organických polutantů (POP). U této skupiny látek bylo zpočátku hodnocení jejich obsahů obtížné, díky absenci údajů o průměrném obsahu POP v zemědělských půdách (Němeček a kol. 1997; Podlešáková a kol. 1998). Postupným rozšiřováním databáze, do které byly získávány údaje díky financování z odboru bezpečnosti potravin MZe ČR, bylo možné další hodnocení nově sledovaných oblastí (Vácha a kol., 1997; Vácha a kol., 2000) a vytvoření návrhu limitních obsahů rizikových látek v našich zemědělských půdách, který vycházel ze skutečně naměřených hodnot (Němeček a kol., 1996; Podlešáková a kol., 1996). Mapové výstupy jsou ve VÚMOP, v.v.i. dlouhodobě zpracovávány pro 5 potenciálně rizikových prvků (As, Be, Cd, Pb, Zn) a dále pro 2 sloučeniny ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), fluoranten a benzo(a)pyren, konečně pak pro sumu PAU. Všechny doposud zhotovené mapové výstupy byly jednotně zapracovány do Souboru zátěže zemědělských půd ČR potenciálně rizikovými prvky a perzistentními organickými polutanty (Vácha a kol. 2007), který je dostupný ve VÚMOP, v.v.i.

Existence zdůvodněných limitních hodnot je významná i pro vlastní zpracování mapových výstupů, je tak umožněna grafická vizualizace překročení definovaných limitních koncentrací. Současné zpracování mapových výstupů VÚMOP je na tomto principu založeno a zohledňuje, v závislosti na návrhu diferencovaných limitních hodnot, které se v průběhu času vyvíjely a upřesňovaly nejenom díky vyššímu objemu údajů, ale také díky nutnosti respektování požadavků a omezení legislativní praxe (Sáňka a kol., 2002; Sáňka a Vácha, 2006; Vácha a Sáňka, 2009), dle možností existenci dvou úrovní limitních hodnot. Jsou to hodnoty preventivního limitu, odvozeného od „pozaďových“ hodnot rizikových látek v našich zemědělských půdách a dále indikačního limitu, v daném případě odvozeného z predikčních rovnic a indikujícího překročení maximálně povolené zátěže rostlin (Němeček a kol. 2001). Moderní geostatistické metody umožňují na základě získaných dat modelovat také pravděpodobnost překročení limitních hodnot, proto v oblasti znečištění půd a hodnocení rizik je často používána metoda indikátorového krigingu, která je založená na odhadu pravděpodobnosti překročení definované limitní hodnoty (Goovaerts *et al.,* 1997; Brus *et al*., 2002, Liu *et al*., 2004).

První pokusy o vytvoření mapových přehledů monitoringu VÚMOP, poskytujících ucelený pohled na zátěž sledovaných oblastí rizikovými látkami, byly ještě realizovány bez použití výpočetní techniky. Ručním překreslováním podkladových vrstev a aplikací průhledových map (při použití průhledného papíru, tzv. „pauzáku“), bylo možné přibližně simulovat zátěž území definovanými prvky či látkami. Při práci byly využívány i mapové vrstvy, s požadovanými charakteristikami, např. obsahem pevného polétavého prachu v ovzduší, působících z dnešního pohledu již velmi archaickým dojmem. Vymezení oblastí se zvýšenou zátěží byla otázka znalostí a kvalifikovaného odhadu (obr. 1), přesto tyto výstupy podávaly poměrně realistický pohled na danou problematiku (Podlešáková a kol., 1999).

První grafické výstupy, TOPOL. Výstupy však měly pouze přehledový charakter, protože tehdejší verze programu neuměly vytvářet interpolace mezi jednotlivými body, zobrazení hodnot bylo proto pouze bodové. Rovněž kvalita výstupů byla značně limitovaná a převážně obrysového charakteru, bez souvislejší plošné výplně. Byla již však možná aplikace vzájemně propojených informačních podkladových vrstev (např. hranice státu, okresů, říční síť, zastavěná území apod.).



Obr. 1 Příklad ručně zhotovených map zátěže půd As a imisních charakteristik (aritmetický průměr denních koncentrací SO_2) z 2. poloviny 90. let

Podstatné zkvalitnění pořizování, zpracování a interpretování prostorových dat přineslo rozšířením komerčně dostupných softwarů pro budování GIS (především pak ArcInfo americké firmy ESRI – *Environmental Systems Research Institute*). Možnosti využití GIS v oblasti posuzování znečištění půdy jsou velmi široké – počínaje plánováním půdního vzorkování (volba vhodného vzorkovacího schématu), přes geostatistické modelování (analýza prostorových struktur proměnných, aplikace interpolačních techniky) až po složitější prostorové multivariační techniky kombinující vícerozměrnou analýzu proměnných s jejich prostorovou strukturou (faktoriální kriging aj.). První skupina metod zajišťuje kvalitní a reprezentativní odběr vzorků tak, aby tvořil vhodný základ pro další zpracování a hodnocení (Brus, De Gruijter, 1997; Marchant, Lark, 2007, Odeh *et al.* 1990; McBratney, Webster, 1981; Webster, Oliver 1992). Druhá skupina metod odhaluje prostorové struktury v datech (prostorová aurokorelace) a na jejich základě pak umožňují lokální odhad hodnot v nevzorkovaných částech území a zároveň umožňují kvantifikovat neurčitost takto získané informace. Metody interpolace dat jsou populárním způsobem vizualizace výsledků půdního vzorkování. Poslední skupina metod, zažívající v současnosti velký rozvoj, jsou metody zaměřené na odhalení prostorově (měřítkově) závislé variability dat a její příčiny, což může usnadnit realizované prostřednictvím počítačové techniky, byly vytvořeny v programu interpretaci převládajících zdrojů znečištění či může být nápomocné v optimalizaci vzorkovacího schématu (Goovaerts 1992, Goovaerts, Webster 1994; Saby *et al.,* 2009; Xu *et al.* 2000).

14.2 MATERIÁL A METODY

VÚMOP Praha se od počátku 90. let podílí na systému kontroly a monitoringu cizorodých látek v České Republice. Jedním z praktických výstupů pro uživatele (Ministerstvo zemědělství ČR) jsou mapy zátěže zemědělských půd, v měřítku 1:200 000, zpracovaných v programové extenzi pro Arc Info Geostatistical Analyst firmy ESRI. Pro mapové vyjádření prostorového obrazu koncentrací polutantů jsou používány metody interpolace, využívána je především interpolační technika IDW, která provádí výpočet hodnoty v definovaném bodě pomocí lineárně vážené kombinace množiny vstupních bodů, kde váha je funkce inverzní vzdálenosti (IDW = *Inverse Distance Weighted*). Na základě výsledků prostorové interpolace jsou vytvořeny izolinie, spojující body se stejnou hodnotou koncentrace a koncentrační hladiny ve zvolených intervalech jsou v mapách rozlišeny barevně, přičemž výsledné mapové vyjádření graficky zohledňuje dvě základní úrovně hodnot:

1) Horní hranice pozaďových hodnot rizikových prvků a POP v zemědělských půdách ČR, v mapových výstupech zpravidla vymezena v odstínech žluté.
2) Vyšší koncentrace naměřených hodnot, v mapových výstupech se blíží současnému návrhu indikačních limitů v případě rizikových prvků (přestup do rostlin), v případě POP se

nevztahuje k současnému návrhu indikačních hodnot (přímé ohrožení zdravotních rizik). V mapových výstupech zpravidla vymezeny v odstínech červené.

Výhodou IDW interpolační metody je, že patří mezi tzv. přesné interpolátory respektující hodnoty na odebraných lokalitách. Předpokladem pro kvalitní výstupy této interpolační techniky jsou dostatečná hustota odběrových bodů a jejich rovnoměrné rozložení. Proto strategie vzorkování je vždy pečlivě plánována tak, aby byla dosažena maximální reprezentativnost získaných dat v území při respektování ekonomických stránek monitoringu. Metodický postup získání vlastních dat o zátěži půd rizikovými látkami byl následující.

14.2.1 Vzorky zemědělských půd pro stanovení obsahu potenciálně rizikových prvků

Vzorky půd byly odebírány z humusových horizontů orných půd a drnových horizontů travních porostů. Výběr odběrových lokalit se řídil požadavkem maximálně možného pokrytí území pravidelnou odběrovou sítí. Dle počtu vzorků na zkoumanou plochu, vychází 1 odběrový bod na cca 25 km^2. Vzhledem k výskytu lesních půd, zastavěných ploch apod., nemohla být zcela pravidelná odběrová síť reálně vytvořena. Při volbě jednotlivých odběrových bodů bylo rovněž přihlédnuto k vlastnímu charakteru terénu, snahou bylo dodržení předem vypracovaného plánu odběrových míst.

Vlastní odběr vzorků byl proveden metodou směsného vzorku z 10 dílčích odběrových bodů. Vzhledem k možnosti ovlivnění zátěže půdy exhalacemi z dopravy, byl odběr prováděn vždy nejméně 50 metrů od okraje vozovky. Vzorky půd byly odebírány nekovovým náčiním z hloubky 5 – 20 cm do mikrotenových sáčků, které byly po odběru uzavřeny a po transportu zpracovány v laboratořích VÚMOP,v.v.i. Odběrová lokalita byla popsána a byly změřeny souřadnice prostřednictvím GPS. Byl určen půdní typ, subtyp a půdotvorný substrát.

Ve vzorcích půd byla změřena hodnota půdní reakce (pH), obsah organického uhlíku (Corg), celkové obsahy 13 rizikových prvků po rozkladu směsí kyselin a jejich obsahy v extraktu 2M HNO_3. Pro vlastní mapové zpracování byly využity pouze celkové obsahy As, Be, Cd, Pb a Zn. Vyhodnocení zátěže v grafické podobě odráží celkovou zátěž, danou přirozenými obsahy prvků z geologického podloží a zátěž antropogenní, pocházející z různých zdrojů, v závislosti na lokalitě (suchá a mokrá depozice, použití agrochemikálií, jiná druhotná zátěž). V současné době připravujeme materiál k vytvoření dalších vrstev map, ve vybraných oblastech, zobrazujících obsahy rizikových prvků ve výluhu 2M HNO_3, kdy vzájemným propojením vrstev bude získán přehled o hodnotě „rozpustnosti“ rizikových prvků v daném extrakčním činidle. Postup umožní lepší identifikaci původu zátěže (antropogenní, geogenní).

14.2.2 Vzorky zemědělských půd pro stanovení obsahu perzistentních organických polutantů (POP)

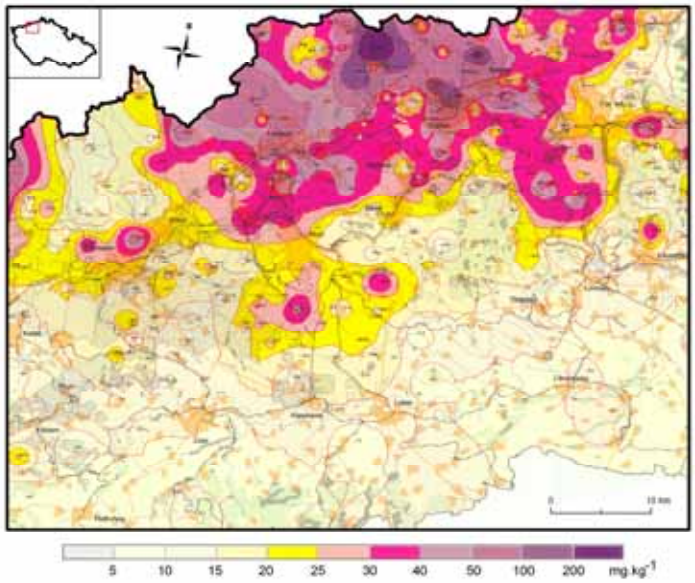
Odběr vzorků půd na stanovení POP byl proveden obdobným způsobem, jako v případě RP, tedy z humusových horizontů orných půd a drnových horizontů travních porostů. Intenzita pokrytí je však v případě těchto vzorků poloviční, vzhledem k vysoké ceně stanovení POP. Jeden vzorek tedy pokrývá území cca 50 km^2. V mapové podobě jsou prezentovány pouze obsahy sumy PAU, z jednotlivých sloučenin PAU potom obsah nejtoxičtějšího zástupce PAU benzo(a)pyrenu, a fluoranthenu s úzkou vazbou na spalovací procesy a vyšším zastoupením v prostředí.

V současné době je dokončován soubor map zátěže zemědělských půd polychlorovanými dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDD/F), který využívá výsledků sledování zátěže na cca 200 lokalitách z celého území ČR, členěných dle původu zátěže, způsobu hospodaření a nadmořské výšky. Rozlišovány jsou tak oblasti zemědělské půdy v otevřené krajině, zemědělské půdy v blízkosti venkovských sídel, zemědělské půdy v blízkosti průmyslových oblastí a velkých aglomerací, zemědělské půdy v oblasti podhorských a horských a zemědělské půdy s opakovanou aplikací kalů z čistíren odpadních vod. Výstupem budou mapové vrstvy, které umožní srovnání nejenom dle uvedeného členění, ale také podle významných kongenerů PCDD/F, jejich sumy a hodnoty mezinárodního toxického ekvivalentu (I-TEQ PCDD/F).

14.3 VÝSLEDKY A DISKUSE

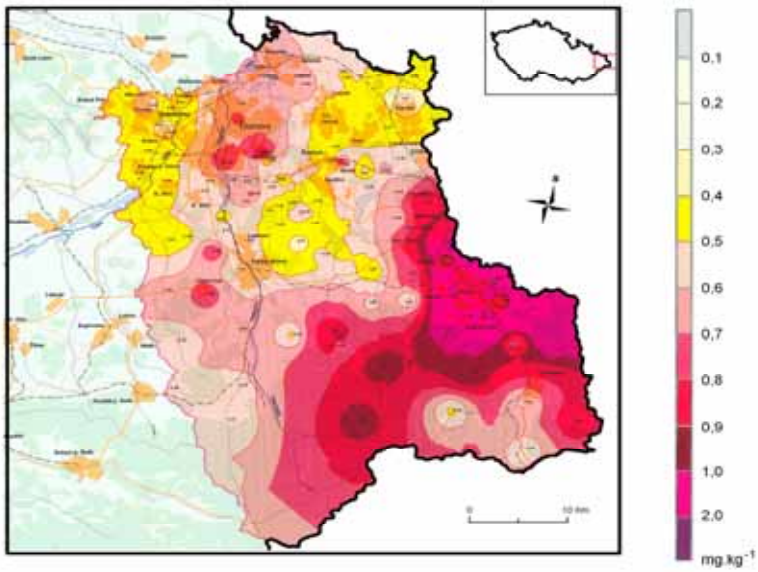
Doposud zpracované mapy v měřítku 1:200 000 jsou zhotoveny v jednotné úpravě, vytvořena byla i generalizovaná mapa ČR, kde jsou zahrnuty všechny doposud zpracované oblasti. Rozsáhlá databáze získaných dat zátěže půd rizikovými látkami umožňuje řadu dalších prostorových analýz pro další

prvky nebo sloučeniny, které nejsou zahrnuty do současné podoby mapového zpracování. Výsledky však potvrzují vhodný výběr sledovaných sloučenin, kdy mapy jsou zpracovávány pro nejzávažnější polutanty jak z hlediska toxicity (As, Cd, Pb, benzo(a)pyren), tak i z hlediska intenzity zátěže (fluoranthen, přehled zátěže sumou PAU). Bylo rovněž potvrzeno, že hustota vzorkování je pro vytvoření přehledu zátěže území dostatečná. V aplikaci GIS byly jasně vymezeny oblasti se zvýšenou zátěží. Na základě zpracovaného rozsahu území je možné potvrdit zvýšenou zátěž imisních regionů, a to oblasti severních a zčásti západních Čech (okresy Děčín, Ústí nad Labem, Teplice, Most, Chomutov, Karlovy Vary, Sokolov a Cheb) a severní Moravy (okresy Ostrava, Karviná a Frýdek-Místek). Naše sledování jsou v souladu např. s mediálně prezentovanými údaji o zátěži ovzduší na severní Moravě nebo s údaji Státního zdravotního ústavu, který se zabývá monitorováním zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí (SZÚ 1998-2007). Zde se shodují zejména údaje o zvýšené zátěži As v oblasti severních Čech (obr. 2).



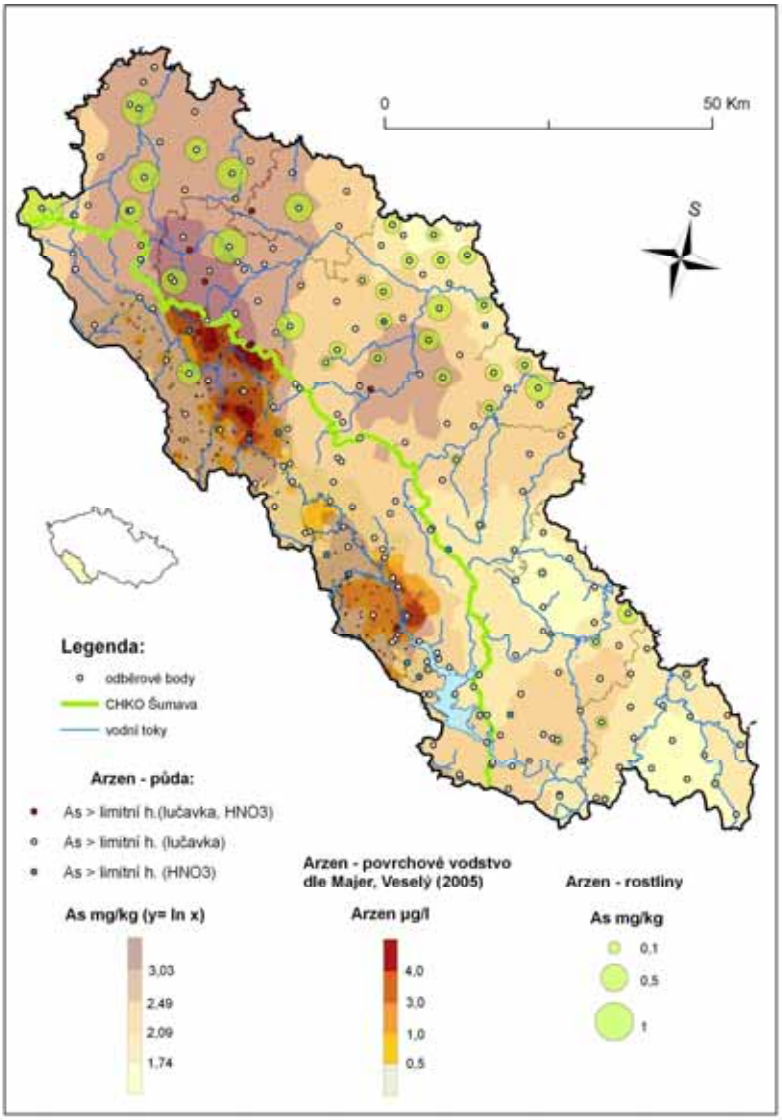
Obr. 2 Celkové obsahy arzenu v zemědělsky využívaných půdách severních Čech

Obdobné zjištění se týká i Cd v oblasti severní Moravy (obr. 3). Velice dobře byly podchyceny i zátěže menšího plošného rozsahu, jakými je např. zvýšený obsah As v půdách okresu Kutná Hora, související s bývalou těžební činností.



Obr. 3 Celkové obsahy kadmia v zemědělsky využívaných půdách severní Moravy

Interpretace mapových výstupů je jednoznačná v případě PAU, jejich výskyt v půdách je spojován téměř výhradně s antropogenní činností. V případě potenciálně rizikových prvků je interpretace složitější, protože mapy prezentující jejich celkové obsahy zahrnují zátěž přirozenou (geogenní) a zátěž antropogenní z různých zdrojů. Ze samotných mapových výstupů není možné určit dominantní nebo převažující zdroj zátěže. V tomto případě je nutné využít dalších informací, vztahujících se k dané oblasti, např. obsahy prvků v dalších extrakčních činidlech, mapy geochemické reaktivity substrátů, prostorová variabilita imisních charakteristik, respektive dodatečné rozbory vzorků půd z několika hloubek půdního profilu (Vácha a kol., 2009). Pro takové hodnocení nabízí geografické informační systémy řadu nástrojů a metod prostorové analýzy dat (např. překryvné operace, atributové výběry aj.), které mohou odhalit vztahy mezi geoprvky ve studovaném území. V současnosti řada autorů využívá pro rozlišení převládajících zdrojů také pokročilé geostatistické metody kombinující vícerozměrnou analýzu proměnných s jejich prostorovou strukturou, což umožňuje odhalovat vliv faktorů distribuce rizikových látek v prostorových (měřítkových) souvislostech (Saby *et al.,* 2009; Xu *et al.,* 2000).



Obr. 4 Obsahy As v zemědělských půdách, v rostlinách a povrchovém vodstvu v oblasti Šumavy

Na obr. 4 jsou znázorněny některé souvislosti výskytu arzenu v půdě v oblasti šumavských okresů. Pro vizualizaci obsahu arzenu v půdě jsou použity výsledky lokálního odhadu hodnot v ploše metodou krigingu (použity jsou logaritmicky transformované hodnoty koncentrací arzenu v extraktu lučavky královské), závažnost kontaminace je zobrazena metodou lokalizovaného diagramu

(vyjadřovacím kartografickým prostředkem je barva bodu indikující překročení relevantních limitních hodnot – dle vyhlášky č. 13/1994 Sb.), obsahy arzenu v rostlinách jsou vyjádřeny lokalizovaným plošným diagramem (kartografickým vyjadřovacím prostředkem je v tomto případě plocha znaku). Obsahy arzenu v půdě jsou dále prostorově konfrontovány překrytím vrstev obsahu arzenu v půdě s obsahem arzenu v povrchovém vodstvu NP Šumava dle monitoringu České geologické služby (Majer, Veselý 2005).

Prostorový obraz zátěže povrchového vodstva velmi dobře kopíruje obsahy arzenu v půdě. Geogenní původ zvýšených obsahů arzenu byl potvrzen jednak porovnáním hodnot rozpustnosti rizikových prvků v různých extrakčním činidlech (2M HNO_3, lučavka královská), jednak použitím sekvenčních extrakčních postupů (Skála a kol., 2010). Zároveň zvýšené obsahy arzenu jsou prostorově vázané na oblasti výskytu křemenných žil se zlatou mineralizací, kde je hojným akcesorickým minerálem arzenopyrit.

14.4 ZÁVĚR

Významný pokrok v oblasti zpracování získaných dat a výsledků výzkumu přinesl rozvoj geografických informačních systémů. Proto i aplikace GIS v oboru zátěže půd rizikovými látkami prošla v průběhu posledních dvou desetiletí ve VÚMOP, v.v.i. rychlým vývojem a je zřejmé, že její význam má narůstající trend. Je to dáno nejenom atraktivnější a přehlednější formou prezentace výsledků, ale také možnostmi aplikací GIS, které zhodnocují výsledky i z hlediska odborného.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen s přispěním projektu MZE0002704902.

Literatura

BRUS D.J., DE GRUIJTER J.J. 1997. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil. *Geoderma*, 80: 1-44.

BRUS D.J., DE GRUIJTER J.J., WALVOORT D.J.J., DE VRIES F., BRONSWIJK J.J.B., ROMKENS P.F.A.M., DE VRIES W. 2002. Heavy metals in the environment: Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soils in the Netherlands. *Journal of Environmental Quality,* 31: 1875-1884.

GOOVAERTS P. 1992. Factorial kriging analysis: a useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil information. *European Journal of Soil Science*, 43: 597-619.

GOOVAERTS P, WEBSTER R. 1994. Scale-dependent correlation between topsoil copper and cobalt concentrations in Scotland. *European Journal of Soil Science,* 45: 79-95.

GOOVAERTS P., WEBSTER R., DUBOIS J.-P. 1997. Assessing the risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics. *Environmental and Ecological Statistics*, 4: 31-48.

LIU C.W, JANG C.S., LIAO, C.M. 2004. Evaluation of arsenic contamination potential using indicator kriging in the Yun-Lin aquifer (Taiwan). *Science of the Total Environment*, 321: 173-188.

MAJER V., VESELÝ J. 2005. Složení povrchových vod na území NP Šumava. *Silva Gabreta*, 11(2-3): 69-81.

MARCHANT B.P., LARK R.M. 2007. Optimized sample schemes for geostatistical surveys. *Mathematical Geology*, 39: 113-134.

MCBRATNEY A.B., WEBSTER R. 1981. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables - II. *Computers and Geosciences*, 7: 335-365.

NĚMEČEK J., PODLEŠÁKOVÁ E., PASTUSZKOVÁ M. 1996. Návrh limitů kontaminace půd perzistentními organickými xenobiotickými látkami pro ČR. *Rostlinná výroba*, 42 (2): 49-53.

NĚMEČEK J., PODLEŠÁKOVÁ E., PASTUSZKOVÁ M. 1997. Některé specifické rysy kontaminace půd ČR perzistentními organickými xenobiotickými látkami. *Rostlinná výroba*, 43 (8): 365-370.

NĚMEČEK, J., PODLEŠÁKOVÁ, E., VÁCHA, R. 2001. Prediction of the transfer of trace elements from soils into plants, *Rostlinná výroba*, 47 (10): 425-432.

ODEH I.O.A., MCBRATNEY A.B., CHITTLEBOROUGH D.J. 1990. Design of optimal sample spacings for mapping soil using fuzzy-k- means and regionalized variable theory. *Geoderma*, 47: 93-122.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J. 1995. Retrospective monitoring and inventory of soil contamination in relation to systematic monitoring. *In: Environmental Monitoring and Assessment*, 34, Netherlands: 121-125.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., VÁCHA R. 1994. Kontaminace půd severočeského regionu rizikovými prvky. *Rostlinná výroba*, 40 (2): 123-130.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., HÁLOVÁ G. 1996. Návrh limitů kontaminace půd potenciálně rizikovými stopovými prvky pro ČR. *Rostlinná výroba,* 42 (3): 119-125.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., VÁCHA R., PASTUSZKOVÁ M. 1998. Contamination of soils with persistent organic xenobiotic substances in the Czech Republic. *Toxicological and Environmental Chemistry,* 66: 91-103.

PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., VÁCHA R. 1999. Stav kontaminace půd v imisně zatížených regionech severních a severozápadních Čech. *Časopis lékařů českých*, 138 (18): 547-551.

SABY N.P.A, THIOULOUSE J., JOLIVET C.C., RATIÉ C., BOULONNE L., BISPO A., ARROUAYS D. 2009. Multivariate analysis of the spatial patterns of 8 trace elements using the French soil monitoring network data. *Science of the Total Environment*, 407: 5644–5652.

SÁŇKA M., NĚMEČEK J., PODLEŠÁKOVÁ E., VÁCHA R., BENEŠ S. 2002. *Vypracování kritických hodnot obsahů rizikových prvků a organických cizorodých látek v půdě a jejich příjem rostlinami z hlediska ochrany kvality a kvantity zemědělské produkce*. Zpráva pro MŽP ČR, říjen 2002, 60 s.

SÁŇKA M., VÁCHA R. 2006. *Hodnocení limitů rizikových látek pro půdy v normativních předpisech ČR a vybraných evropských zemí*. Vstupní studie pro účely aktualizace legislativy v ochraně půdy se zvláštním zřetelem na organické rizikové látky. MŽP ČR, 2006, 51 s.

SKÁLA J., VÁCHA R., ČECHMÁNKOVÁ J. 2010. *Evaluation of arsenic occurrence in agricultural soils in the Bohemian forest (Šumava) region.* (*v tisku*).

VÁCHA R., PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., HORVÁTHOVÁ V. 1997. Monitoring zemědělských půd prováděný Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy. In *Sbor. Cudzorodé látky v životnom prostredí.* Slovenská republika, Nitra, sept. 1997, 21-25.

VÁCHA R., PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J. 2002. The monitoring of the hazardous substances in the agricultural soils in the Czech Republic. In Rubio, J.L.; R.P.C. Morgan, S. Asins and V. Andreu (Eds): *Man and Soil at the Third Millenium.* Volume I and II. Museo de las Ciencias Principe Felipe. Ciudad de las Artes y las Ciencias. Valencia (Spain), 28 March - 1 April, 2000. Logrono, 2002. ISBN 84-87779-45-X, s. 1785-1790.

VÁCHA R., MACUROVÁ H., JAVŮRKOVÁ H., ČECHMÁNKOVÁ J., SKÁLA J., KUBA P. 2009. *Pravidla pro odběr vzorků a operativní stanovení vybraných forem As v půdě.* Certifikovaná metodika, VÚMOP v.v.i, 45 s. ISBN 978-80-87361-01-6

VÁCHA R., SÁŇKA M. 2009. *Podklady pro kvalitativní ochranu půdy a vypracování návrhu vyhlášky o stanovení preventivních a indikačních hodnot rizikových látek v půdě*. Studie pro MŽP ČR, 2009, 38 stran a příloha (technický podklad vyhlášky).

WEBSTER R., OLIVER M.A. 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of Soil Science,* 43: 177-192.

XU S., TAO S. 2004. Coregionalization analysis of heavy metals in the surface soil of Inner Mongolia. *The Science of the Total Environment,* 320: 73-87.

Dostupná na: http://www.szu.cz/publikace/archiv-souhrnnych-zprav-z-let-1998-2005

15. POROVNANIE VLHKOSTNÉHO REŽIMU POĽNOHOSPODÁRSKYCH PÔD SLOVENSKA V OBDOBIACH 1970 – 1979 A 2000 – 2009

15 Comparison of soil moisture regime of agricultural soils of Slovakia in 1970 – 1979 and 2000 – 2009 periods

Martina Nováková, Jozef Takáč, Rastislav Skalský*

ABSTRAKT
Časovo-priestorové zmeny vo vlhkostnom stave pôdy ovplyvňujú množstvo pôdnych procesov. V tejto kapitole popisujeme vytvorenie časovo-priestorového modelu vlhkostného stavu pôd Slovenska na dvoch priestorových úrovniach a porovnávame dve, z teplotného hľadiska rozdielne obdobia (1970 – 1979 a 2000 – 2009). Výsledky sa pokúšame interpretovať aj v zmysle klasifikácie vlhkostného režimu pôdy podľa *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1999). Údaje o počasí boli získané z meraní 71 meteorologických staníc a interpolované do štvorcovej siete s priestorovým rozlíšením 10 km. Pre poľnohospodárske pôdy Slovenska bola z profilových údajov o zrnitosti pôdy pomocou súboru pedotransférových pravidiel vyjadrená využiteľná vodná kapacita 1 m vrstvy pôdy. Profilové údaje o pôde boli pomocou údajov o bonitovaných pôdnoekologických jednotiek a pôdno-ekologických regiónov interpretované v podobe štvorcovej siete s rozlíšením 1 km pre celé Slovensko. Pomocou zjednodušeného bilančného vzťahu (Kutílek, 1978) bola v dennom kroku pre obe sledované obdobia vyjadrená zmena aktuálnej evapotranspirácie a zásoby vody v pôde. Pre potreby hodnotenia bolo stanovené kritérium sucha v pôde pomocou zásoby pôdnej vody ako hodnoty rovnajúcej sa 50 % využiteľnej vodnej kapacity. Na celom Slovensku bol pozorovaný nárast priemerných teplôt, čo viedlo zhoršeniu vodnej bilancie pôdy v období 2000 – 2009 v porovnaní s obdobím 1970 – 1979. Pri porovnaní priestorového rozloženia vlhkostných pomerov poľnohospodárskych pôd Slovenska sa ukázalo, že došlo k nárastu výmery území s vyšším počtom suchých dní. Bola pozorovaná zmena priestorového rozloženia počtu suchých dní počas vegetačnej sezóny najmä v mesiacoch máj až júl. Poľnohospodárske pôdy Slovenska majú podľa *Soil Taxonomy* ustický vlhkostný režim s náznakom udického vlhkostného režimu v severovýchodnej časti Slovenska. V poslednom období (2000 – 2009) sa však aj tu posúva smerom k ustickému vlhkostnému režimu.
Kľúčové slová: vodná bilancia pôdy, priestorový model vlhkostného režimu pôdy, klimatická zmena

ABSTRACT
Many soil processes are influenced by spatial and temporal changes of soil moisture. In this chapter we describe the spatial and temporal model of the moisture of agricultural soils of Slovakia created on two spatial levels, evaluation of the results obtained for two periods (1970 – 1979 and 2000 – 2009), and an attempt to interpret the results in terms of soil moisture regimes classification according to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999). Weather data were obtained from 71 meteorological measurement points and spatially interpolated into 10 km spatial resolution grid. Set of pedotransfer rules was applied on soil profile texture data. Obtained values of available soil water capacity (%) for 1 m deep soil layer were spatially interpreted to 1 km spatial resolution grid covering agricultural soils of Slovakia via soil map data on land evaluation units and soil-ecological regions. Simplified soil water balance equation (Kutílek, 1978) was used to calculate soil moisture state of the soil in one day time step. Soil drought indicator was set to the value of soil water content which is equal to 50% of available soil water capacity. In 2000 – 2009 period compared to 1970 – 1979 period we observed increase of average monthly temperatures which resulted in negative changes in soil water balance of agricultural soils of Slovakia. Increase of area with higher number of dry days was observed from the soil moisture balance spatial patterns. Significant changes in dry days number pattern was observed also as being distributed over the year, particularly the increase of dry days number area was observed during vegetation season in May, June and July. According to Soil Taxonomy

* Mgr. Martina Nováková, PhD., RNDr. Jozef Takáč, PhD., Mgr. Rastislav Skalský, PhD., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: m.novakova@vupop.sk

can agricultural soils of Slovakia be classified as having ustic soil regime or udic soil regime in northeast part of Slovakia. Recently udic soil moisture regime is changing to ustic.
Key words: soil water balance, spatial model of soil moisture regime, climate change

15.1 ÚVOD

Vlhkostný režim pôdy vyjadruje priestorové a časové rozvrstvenie vlhkosti pôdy a jej zmeny v pôdnom profile za viac po sebe idúcich (hydrologických) rokov alebo vegetačných sezón (Fulajtár, 2006). Charakterizujú ho kvalitatívne a kvantitatívne vzťahy medzi pôdou a vodou na konkrétnej lokalite za dlhoročné obdobie. Vlhkostný režim pôdy má z dlhodobého hľadiska cyklický charakter. Zásoba vody v pôde sa počas roka mení v širokom rozsahu hodnôt – od plného nasýtenia pôdy vodou až po hodnoty, pri ktorých pôda neobsahuje takmer žiadnu vodu využiteľnú pre rastliny. Časovo a priestorovo je vodný režim pôdy ovplyvňovaný hlavne klimatickými, hydrologickými a pôdnymi činiteľmi. Z klimatických činiteľov ovplyvňuje vodný režim pôdy predovšetkým vzťah medzi zrážkami a výparom, pričom výpar je závislý od teploty, vlhkosti a prúdenia vzduchu. Z hydrologických činiteľov je to najmä hladina podzemnej vody. Pôdnymi činiteľmi ovplyvňujúcimi vlhkostný režim pôdy sú hydrofyzikálne vlastnosti pôdy (retenčné a hydraulické vlastnosti), ktoré sú dané predovšetkým zrnitosťou pôdy a jej zvrstvením. Vlhkostný režim pôdy je dôležitý faktor, ktorý ovplyvňuje mnohé fyzikálne, chemické a biologické procesy v pôde. Priamo alebo nepriamo preto vplýva aj na celkové nasmerovanie pôdotvorného procesu na danej lokalite (napr. vývoj zasolených, vylúhovaných, hydromorfných pôd). Vlhkostný režim pôdy predstavuje jednu z najvýznamnejších charakteristík pôdy, ktoré majú priamy vplyv na jej produkčnú schopnosť.

Na hodnotenie režimu vody v pôde sa u nás zaužívala hydrologická klasifikácia vodného režimu pôd a ekologická klasifikácia vodného režimu pôd (Kutílek, 1978). Hydrologická klasifikácia vodného režimu pôd je založená na hydrologických kritériách (bilancia vstupov a výstupov vody v systéme) a poskytuje len málo použiteľných informácií o vlhkosti pôdy a jej dynamike (napr. Bedrna *et al*., 1989). Kritériami ekologickej klasifikácie vlhkostného (vodného) režimu pôd sú stupeň vlhkosti pôdneho profilu, dĺžka trvania jednotlivých vlhkostných intervalov a stratifikácia vlhkosti pôdy v pôdnom profile. Uvedené kritériá boli uplatnené pri viacerých hodnoteniach vlhkostného režimu našich pôd (napr. Bedrna *et al*., 1989; Fulajtár, 2006; Takáč, 1999; Takáč, 2008).

Ekologická klasifikácia vlhkostného režimu pôd je integrovaná v rôznych, najmä svetových, klasifikačných systémoch pôd. Svetová klasifikácia pôd WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) nepriamo, prostredníctvom diagnostických horizontov a vlastností pôdy (*Aridic*, *Takyric* a *Yermic*) identifikuje pôdy, ktoré sa vyvíjali v aridných podmienkach. Priamo, na relatívne vysokej taxonomickej úrovni vlhkostný režim pôdy uvažuje americká pôdna klasifikácia *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1999). Podľa stavu vlhkosti pôdy počas roka je v *Soil Taxonomy* vyčlenených niekoľko typov vlhkostného režimu pôdy: akvatický (*aquic*) s pôdou permanentne nasýtenou vodou, aridický (*aridic* a *torric*) s pôdou počas roka prevažne suchou, udický (*udic*) alebo premyvný s pôdou počas roka prevažne vlhkou, ustický (*ustic*) s pôdou suchou v niektorých periódach roku počas vegetačného obdobia a xerický (*xeric*) s pôdou vlhkou počas zimy a suchou počas leta.

V tomto príspevku sa venujeme problematike modelovania časovej a priestorovej variability vlhkostných pomerov poľnohospodárskych pôd Slovenska na dvoch úrovniach – bodovej (vybrané lokality zodpovedajúce konkrétnym meteorologickým staniciam) a na úrovni poľnohospodársky využívaného územia Slovenska. Chceme tiež analyzovať, či za posledných 40 rokov došlo k nejakým zmenám v časovom priebehu alebo priestorovom rozložení vlhkostného stavu pôd na Slovensku. Pre analýzu sme si vybrali desaťročné obdobie na začiatku (1970 – 1979), ktoré reprezentuje obdobie s teplotne normálnymi rokmi a 10 ročné obdobie na konci (2000 – 2009), v ktorom všetky roky boli teplé až mimoriadne teplé. Vytvorené modely vlhkostných pomerov pôd sa pokúšame interpretovať aj v zmysle klasifikácie vlhkostného režimu pôdy podľa *Soil Taxonomy.*

15.2. MATERIÁL A METÓDY

15.2.1 Údajové vstupy a ich spracovanie

Údaje o počasí pre územie poľnohospodársky využívanej pôdy Slovenska pre obdobia rokov 1970 – 1979 a 2000 – 2009 boli získané zo siete 71 meteorologických staníc Slovenského

hydrometeorologického ústavu. Použité boli denné hodnoty maximálnej a minimálnej teploty vzduchu (°C), trvanie slnečného žiarenia (hod.), priemerná denná rýchlosť vetra ($m*s^{-1}$), tlak vodných pár (hPa) a denný úhrn zrážok ($mm*d^{-1}$), ktoré boli priamo merané. Pre každú stanicu boli dopočítané denné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie ($mm*d^{-1}$) podľa Penmanna-Montheitha. Meteorologické údaje boli interpolované do pravidelnej siete štvorcových elementov s priestorovým rozlíšením 10 km. Použitý bol algoritmus implementovaný priamo v CGMS (Groot, 1998), ktorý bol upravený na podmienky Slovenska Novákovou (2007).

Pre vybrané meteorologické stanice (Jaslovské Bohunice, Žihárec, Nitra, Hurbanovo, Beluša, Vígľaš – Pstruša, Rimavská Sobota, Rožňava, Spišské Vlachy, Malý Šariš, Somotor, Milhostov a Michalovce) boli z údajov Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave získané hodnoty využiteľnej vodnej kapacity pôdy – VVK (mm) pre 10 cm vrstvy pôdy do hĺbky 1m. Hodnoty VVK (mm) pre jednotlivé vrstvy boli spočítané a získaná jedna reprezentatívna hodnota VVK (mm) pre celý pôdny profil do 1 m.

Údaje o pôdnom kryte poľnohospodársky využívaného územia Slovenska boli získané z informačného systému o pôde v správe Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy. Použité boli údaje o pôdnych sondách (Skalský, Balkovič, 2002), bonitovaných pôdno-ekologických jednotkách (Linkeš *et al*., 1996) a pôdno-ekologická regionalizácia Slovenska (Džatko, 2002). Z údajov o zrnitosti pôdy – obsahu ílu (%), prachu (%) a piesku (%) v orničnom horizonte pre celkom 16 663 pôdnych sond boli vyrátané priemerné hodnoty zrnitosti pre priestorové pôdne jednotky a vzťahované na celú hrúbku uvažovanej koreňovej zóny (1 m). Priestorové pôdne jednotky boli vytvorené ako kombinácia areálov pôdno-ekologických regiónov a areálov zrnitosti pôd, ktoré boli interpretované z bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek. Pomocou publikovaných rovníc (Orfánus, Balkovič, 2004) bola z údajov o zrnitosti pôdy pre každú priestorovú pôdnu jednotku vypočítaná objemová hmotnosť pôdy ($g.cm^{-3}$) a obsah vody v pôde pri hodnotách vlhkostného potenciálu h = 33 kPa a h = 1500 kPa ($cm.cm^{-3}$). S použitím týchto hodnôt a údajov o zrnitosti pôdy boli modelom Rosetta (Schaap *et al*., 1998) odvodené hodnoty reziduálnej a nasýtenej vlhkosti pôdy ($cm.cm^{-3}$) a hodnoty tvarových parametrov retenčných kriviek potrebné pre výpočet bodov retenčnej krivky a krivky nenasýtenej hydraulickej vodivosti (Wösten, Van Genuchten, 1988). Vyrátané boli hodnoty obsahu vody (%) pri hydrolimitoch poľnej vodnej kapacity (pF = 2,3) a bodu vädnutia (pF = 4,2) a spolu s údajom o hĺbke koreňovej zóny (1 m) boli pre každú priestorovú pôdnu jednotku vypočítané hodnoty využiteľnej vodnej kapacity – VVK (mm). Priestorové pôdne jednotky boli nakoniec agregované do siete pravidelných štvorcových elementov s priestorovým rozlíšením 1 km. Každý priestorový element bol popísaný údajmi o plošne dominantnej priestorovej pôdnej jednotke.

15.2.2 Modelovanie vlhkostných pomerov pôdy

Vlhkostné pomery pôd v obdobiach 1970 – 1979 a 2000 – 2009 boli modelované v dennom kroku pomocou bilančného vzťahu:

$$W_1 + Z + K_p + q_1 + q_2 = ET + O_1 + O_2 + W_2, \qquad (1)$$

kde W_1 je zásoba vody v pôde na začiatku bilancovaného obdobia (mm), Z je zrážkový úhrn za bilancované obdobie, bez intercepcie (mm), K_p je prírastok vody v pôde z podzemnej vody a podložia (mm), q_1 je povrchový prítok (mm), q_2 je podpovrchový prítok, ET je evapotranspirácia (mm), O_1 je povrchový odtok (mm), O_2 je podpovrchový odtok horizontálny a vertikálny (mm) a W_2 je zásoba vody v pôde na konci sledovaného obdobia (Kutílek, 1978). V uvedenom vzťahu boli zanedbané: K_p, q_1, q_2 a O_2. Zásoba vody v pôde na začiatku bilancovaného obdobia (rok 1970, 2000) bola stanovená na hodnotu VVK (mm) zníženú o 20 %.

Modelovanie vlhkostných pomerov bolo realizované na dvoch úrovniach. Na prvej úrovni bol bilančný model aplikovaný na súbor údajov o počasí a pôde na vybraných meteorologických staniciach (Jaslovské Bohunice, Žihárec, Nitra, Hurbanovo, Beluša, Vígľaš – Pstruša, Rimavská Sobota, Rožňava, Spišské Vlachy, Malý Šariš, Somotor, Milhostov a Michalovce). Na druhej úrovni bol bilančný model aplikovaný na územie poľnohospodárskych pôd Slovenska. Priestorové simulačné jednotky pre aplikáciu modelu boli vytvorené prienikom siete priestorových elementov s rozlíšením 10 km (údaje o počasí) a siete priestorových elementov s rozlíšením 1 km (údaje o pôde).

15.2.3 Hodnotenie vlhkostných pomerov pôdy

Klimatické stanice pre hodnotenie vlhkostného režimu poľnohospodárskych pôd boli vybrané tak, aby rovnomerne pokrývali významné poľnohospodárske regióny Slovenska – Jaslovské Bohunice, Žihárec, Nitra, Hurbanovo, Vígľaš – Pstruša, Rimavská Sobota, Rožňava, Somotor, Milhostov a Michalovce (teplá klimatická oblasť) a Beluša, Spišské Vlachy, Malý Šariš (mierne teplá klimatická oblasť). Model vlhkostných pomerov pôd za jednotlivé stanice bol vytvorený v podobe grafov, do ktorých boli vynesené 10 ročné priemery mesačných úhrnov aktuálnej evapotranspirácie, potenciálnej evapotranspirácie a úhrnu zrážok počas kalendárneho roka za obdobia 1970 – 1979 a 2000 – 2009. Do grafov boli vynesené aj priemerné mesačné teploty vzduchu za tieto obdobia. Z grafu je možné odčítať niektoré charakteristiky vlhkostného režimu pôdy: deficit vody v pôde, ktorý je daný rozdielom medzi potenciálnou a aktuálnou evapotranspiráciou počas roka, spotrebu vody, ktorá je daná rozdielom medzi aktuálnou evapotranspiráciou a zrážkami počas roka, zásobu vody, ktorá je daná rozdielom medzi hodnotami úhrnu zrážok presahujúcich potenciálnu evapotranspiráciu na začiatku kalendárneho roka a tvorbu zásoby vody, ktorá je daná rozdielom medzi hodnotami úhrnu zrážok výrazne presahujúcimi aktuálnu evapotranspiráciu na konci kalendárneho roka. Uvedené hodnotenie sa v *Soil Taxonomy* považuje za metódu približného odhadu vlhkostného režimu pôdy.

Vlhkostné pomery pôdneho pokryvu poľnohospodársky využívaného územia Slovenska boli hodnotené početnosťou dní s relatívnou vlhkosťou pôdy pod 50 % VVK (mm). Uvedená hodnota VVK (mm) zodpovedá zhruba obsahu vody v pôde pri bode zníženej dostupnosti (1500 kPa, pF = 3,17) a ako kritérium pre definíciu suchej pôdy sa používa aj v *Soil Taxonomy*. Pre priestorové simulačné jednotky boli pre každý rok a mesiac období 1970 – 1979 a 2000 – 2009 vypočítané počty suchých dní. Počty suchých dní boli následne vyjadrené aj ako mesačné priemery počtu suchých dní a priemerný počet suchých dní za obdobie 1970 – 1979 a 2000 – 2009.

15.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

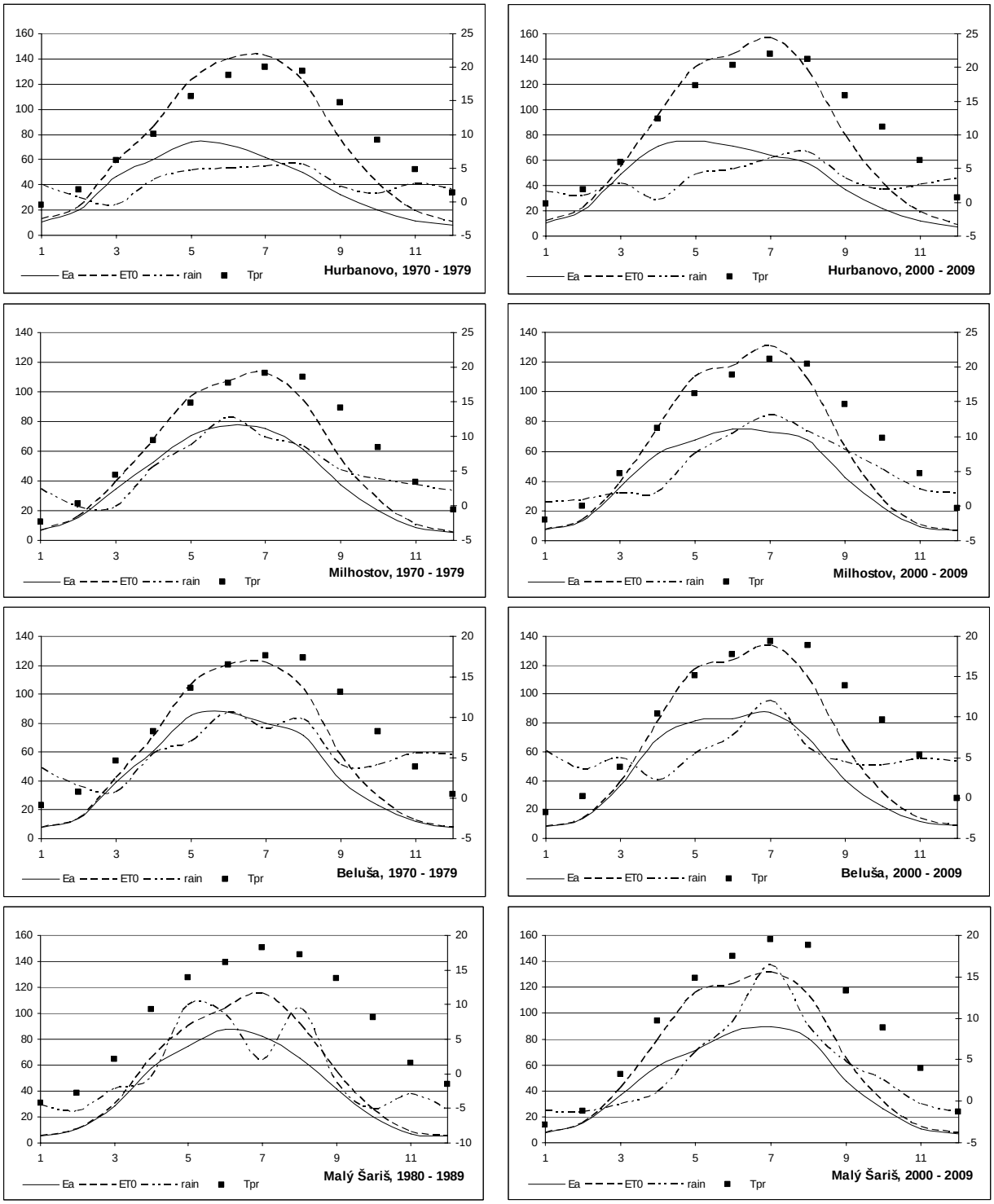
15.3.1 Časová zmena vlhkostných pomerov pôdy na vybraných územiach Slovenska

Z celého súboru 13 analyzovaných staníc boli vybrané 4 klimatické stanice. Dve stanice (Hurbanovo a Milhostov) reprezentujú typické klimatické podmienky Podunajskej a Východoslovenskej nížiny. Dve ďalšie stanice (Beluša, Malý Šariš) reprezentujú podhorské oblasti Slovenska a sú zaujímavé z hľadiska vývoja vlhkostného stavu pôd v sledovanom období. Údaje za tieto stanice sú uvedené na obr. 1.

Z porovnania vývoja vzájomného vzťahu priemernej mesačnej potenciálnej evapotranspirácie a aktuálnej evapotranspirácie, priemerného mesačného úhrnu zrážok a priemernej mesačnej teploty vzduchu za obdobia 1970 – 1979 a 2000 – 2009 pre stanice Hurbanovo a Milhostov vyplýva, že deficit vody, tvorba zásob vody v pôde, spotreba vody a stav zásob vody v pôde sa významne nelíšia. Malé odchýlky je možné pozorovať predovšetkým pri rozložení zrážok počas roka – v období 1970 až 1979 sa prejavilo obdobie s nízkym úhrnom zrážok počas marca, kým v období 2000 – 2009 to bolo počas apríla. Uvedený posun však nemal vďaka jarnej zásobe vody v pôde vplyv na výšku aktuálnej evapotranspirácie. Porovnanie deficitu vody, tvorby zásob a spotreby vody a stavu zásob vody v obdobiach 1970 – 1979 a 2000 – 2009 pri staniciach Beluša a Malý Šariš poukazuje na určité kvalitatívne zmeny. Najvýraznejšia zmena sa prejavila pri zrážkach – v období 1970 – 1979 mali obe stanice dve maximá zrážok, v júni a v auguste pri stanici Beluša alebo v máji a auguste pri stanici Malý Šariš. V období 2000 – 2009 sa pri oboch staniciach prejavuje len jedno maximum, ktoré sa posunulo do mesiaca júl.

Pri všetkých staniciach bola zaznamenaná mierne zvýšená priemerná teplota vzduchu. Rast teplôt vzduchu sa prejavil nárastom potenciálnej evapotranspirácie, pričom nárast bol sústredený do letného polroku. Maximá potenciálnej evapotranspirácie pripadajú na júl. Najnižšie hodnoty relatívnej evapotranspirácie sa dlhodobo vyskytujú na juhu Podunajskej nížiny. Vypočítané hodnoty sa v období 2000 – 2009 v porovnaní s obdobím 1970 – 1979 v priemere zvýšili. Hodnoty deficitu evapotranspiracie zaznamenali nárast o niekoľko desiatok mm, na Podunajskej nížine prekročili hodnotu 300 mm. Rovnako aj hodnoty klimatickej vodnej bilancie. Vo všetkých hodnotených regiónoch došlo v období 2000 – 2009 k zhoršeniu vodnej bilancie v porovnaní s obdobím 1970 – 1979.

Z pohľadu *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1999) sú stanice Hurbanovo, Milhostov a Beluša charakterizované ustickým vlhkostným režimom v oboch sledovaných obdobiach. Stanica Malý Šariš je charakterizovaná udickým vlhkostným režimom v období 1970 – 1979 a udickým až ustickým režimom v období 2000 - 2009.

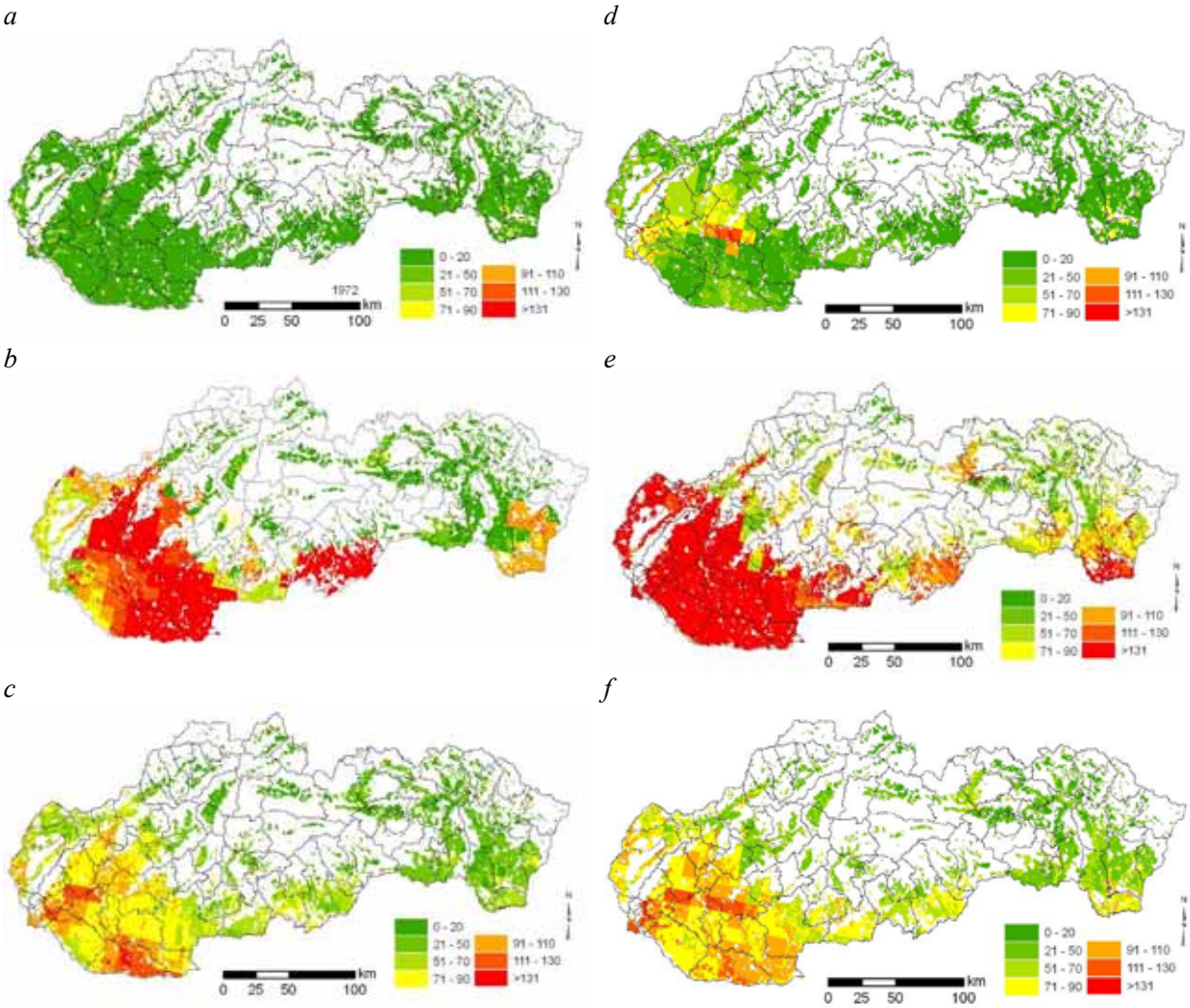


Obr. 1 Grafické porovnanie priemerných mesačných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie, aktuálnej evapotranspirácie a zrážok a priemernej mesačnej teploty vzduchu za obdobia 1970 – 1979, 2000 – 2009 pre vybrané stanice (Hurbanovo, Milhostov, Beluša a Malý Šariš)

15.3.2 Priestorová a časová zmena vlhkostných pomerov poľnohospodárskych pôd Slovenska

Kritérium pre hodnotenie udického alebo ustického režimu podľa *Soil Taxonomy* je vlhkostný stav pôdy v časti pôdneho profilu, ktorý je nazývaný kontrolná sekcia (asi 30 – 90 cm pre ľahké pôdy, 20 – 60 cm pre stredne ťažké pôdy a 10 – 30 cm pre ťažké pôdy). Kritériom pre rozlíšenie ustického a udického režimu je 90 kumulatívnych dní počas roka so suchou pôdou (50 % VVK a menej) v kontrolnej sekcii. Pre oblasti mierneho pásma s výraznými obdobiami leta a zimy je kritérium modifikované na 45 po sebe nasledujúcich dní so suchou pôdou v kontrolnej sekcii. Z uvedeného vyplýva, že model časovo-priestorových zmien vlhkostného stavu pôdy vo vrstve 1 m, ktorý sme spracovali pre poľnohospodársky využívané pôdy Slovenska, nemôže byť interpretovaný presne v zmysle kritérií Soil Taxonomy. Pri jeho interpretácii sme brali do úvahy aspoň kritérium 90 dní so suchou pôdou počas roka.

Vybrané výsledky z modelu časovo-priestorových zmien vlhkostného stavu poľnohospodárskych pôd Slovenska sú uvedené na obrázkoch (obr. 2 a obr. 3).

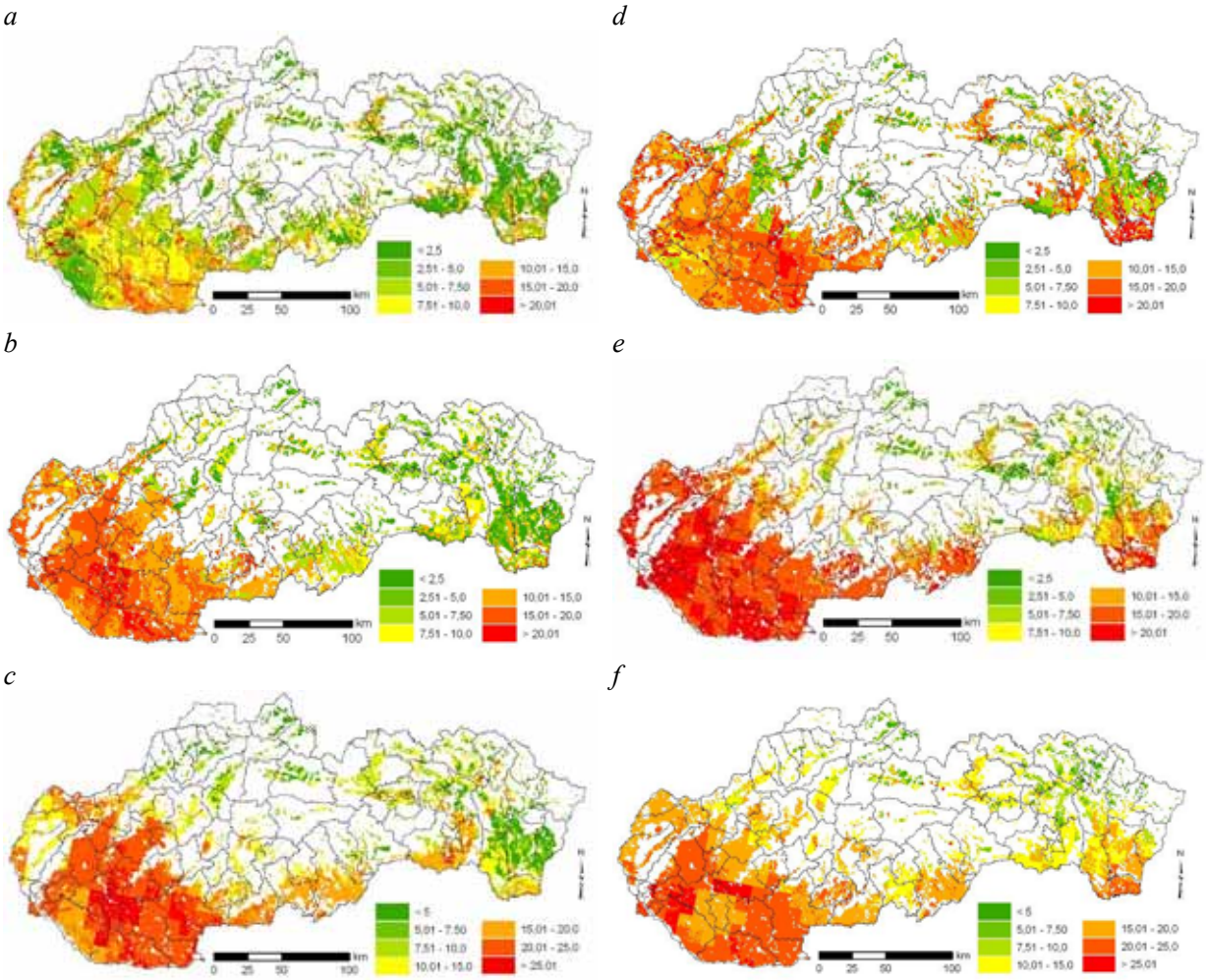


Obr. 2 Priestorová variabilita počtu dní s VVK (mm) menej ako 50 % počas kalendárneho roka (a – mokrý rok 1972, b – suchý rok 1971, c – priemer za obdobie 1970 – 1979, d – mokrý rok 2005, e – suchý rok 2003, f – priemer za obdobie 2000 – 2009)

Z výsledkov vyplýva, že v období 1970 – 1979 bola v priemere pôda suchá 90 a viac dní približne na polovici územia Podunajskej nížiny, na juhu Záhorskej nížiny a miestami na strednom Považí a na juhu Východoslovenskej nížiny (obr. 2). V období 2000 – 2009 sa v porovnaní s obdobím 1970 – 1979 zväčšil rozsah území s pôdou suchou v priemere viac ako 90 dní. K najvýraznejšej zmene došlo na Východoslovenskej nížine a v Juhoslovenskej kotline (obr. 2). Medziročné rozdiely v období rokov

1970 – 1979 boli determinované hlavne medziročnou variabilitou zrážkových úhrnov. Napríklad vo vlhkom roku 1972 s veľmi vlhkým letným polrokom počet suchých dní prekročil hranicu 90 dní len na niekoľkých lokalitách na Podunajskej nížine (obr. 2). Naopak, vo veľmi suchom roku 1971 tak bolo prakticky na celej Podunajskej nížine, Záhorskej nížine, v Juhoslovenskej kotline a vo východnej časti Východoslovenskej nížiny (obr. 2). V období rokov 2000 – 2009 boli zaznamenané výrazné medziročné extrémy. Vo veľmi suchom a veľmi teplom roku 2003 s mimoriadne suchým a mimoriadne teplým letným polrokom prekročil počet suchých dní hranicu 90 dní prakticky vo všetkých nížinných a kotlinových oblastiach Slovenska (obr. 2). Naproti tomu vo vlhkom roku 2005 počet suchých dní dosiahol hranicu 90 dní len Podunajskej nížine – v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny a v časti Nitrianskej a Žitavskej pahorkatiny.

Zistený bol nárast počtu dní so suchou pôdou v období 2000 – 2009 v porovnaní s obdobím 1970 – 1979. Tento nárast má sezónny charakter. Zreteľný je hlavne v období máj – júl. Najvýraznejšie zmeny v priemernom počte suchých dní medzi obdobiami 1970 – 1979 a 2000 – 2009 boli pozorované Východoslovenskej nížine, v Juhoslovenskej kotline, menej na Podunajskej nížine (obr. 3).



Obr. 3 Porovnanie priestorovej variability priemerného počtu dní s VVK (mm) menej ako 50 % vo vybraných mesiacoch v období rokov 1970 – 1979 (a – máj, b – jún, c – júl) a období 2000 – 2009 (d – máj, e – jún, f – júl)

15.4 ZÁVER

V tejto kapitole na konkrétnom príklade dvoch, z teplotného hľadiska odlišných období (1970 – 1979 a 2000 – 2009), prezentujeme možný spôsob analýzy a interpretácie časovo-priestorovej variability vlhkostného stavu pôdy. Tento komplexný jav, ktorý je výsledkom pôsobenia počasia

(klímy), pôdy, rastliny a podzemnej vody, sme sa tiež pokúsili popísať v zmysle klasifikácie pôdnych vlhkostných režimov, ktoré používa *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1999).

Za metodologický prínos práce pokladáme aplikovanie geografického prístupu, ktorý popri klasickej analýze časových radov meraných a simulovaných charakteristík (úhrny zrážok, potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie a teploty vzduchu), umožňuje vyjadriť a následne hodnotiť priestorovú variabilitu vybraných indikátorov vlhkostných pomerov pôdy na úrovni celého územia poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska. Analýza podobného typu v takom rozsahu (územie Slovenska) doteraz realizovaná nebola. Hodnotili sa len menšie regióny (napr. Takáč, 2008).

Zistili sme, že na niektorých územiach Slovenska mohlo z hľadiska časovej dynamiky a intenzity prejavov k určitým zmenám. Tieto zmeny sú na juhu Slovenska (Podunajská, Východoslovenská nížina) charakterizované miernym posunom suchého obdobia na začiatku vegetačnej sezóny z marca na apríl. V severnejších častiach Slovenska bola zistená zmena v rozdelení zrážok. Miesto dvoch maxím zrážok v období 1970 – 1979 bolo pozorované iba 1 maximum v období rokov 2000 – 2009. Na celom Slovensku bol pozorovaný nárast priemerných teplôt, čo viedlo zhoršeniu vodnej bilancie pôdy v období 2000 – 2009 v porovnaní s obdobím 1970 – 1979. Pri porovnaní priestorového rozloženia vlhkostných pomerov poľnohospodárskych pôd Slovenska v obdobiach 1970 – 1979 a 2000 – 2009 sa ukázalo, že došlo k nárastu výmery území s vyšším počtom suchých dní. Toto sa prejavilo tak pri porovnaní priemerného počtu suchých dní za celé obdobie ako aj pri porovnaní zrážkovo rozdielnych rokov (suché roky, mokré roky). Bola pozorovaná aj zmena priestorového rozloženia počtu suchých dní počas vegetačnej sezóny. Sezónne zmeny medzi sledovanými obdobiami sa najviac prejavili v mesiacoch máj až júl.

Komplexné hodnotenie vlhkostných pomerov poľnohospodárskych pôd Slovenska pomocou kritérií *Soil Taxonomy* nebolo vzhľadom na nedodržanie niektorých kritérií vytvoreným modelom možné v plnej miere uskutočniť (hrúbka kontrolnej zóny pôdneho profilu, výber iba zrážkovo a teplotne normálnych rokov). Približné hodnotenie vlhkostného režimu pôdy na základe vzájomného pomeru aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie a zrážok indikuje, že poľnohospodárske pôdy Slovenska majú ustický vlhkostný režim. Náznaky udického vlhkostného režimu sú v severovýchodnej časti Slovenska (stanica Malý Šariš). Vývoj v období rokov 2000 – 2009 však aj tu naznačuje jeho posun smerom k ustickému vodnému režimu.

Literatúra

BEDRNA Z. a kol. 1989. *Pôdne režimy*. Bratislava: Veda, vyd. SAV, 1989. 224 s. ISBN 80-224-0028-9.

DŽATKO M. 2002. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdnoekologických regiónov Slovenska*. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 87 s., ISBN 80-85361-94-9

FULAJTÁR E. 2006. *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava : VÚPOP, 2006. 142 s., ISBN 80-89128-20-3.

GROOT E. van der 1998. Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS). *In: M. Bindi, B. Gozzini eds. Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September* – 3 October 1997, Volterra, Italy. Luxembourg : The Office for Official Publications of European Communities, 141-153.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. *World Soil Resources Reports* No. 103, Rome, 128 s., ISBN 92-5-105511-4.

KUTÍLEK M. 1978. *Vodohospodářská pedologie*. Praha : SNTL/ALFA, 1978, 296 s.

LINKEŠ V., PESTÚN V., DŽATKO M. 1996. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek*. Bratislava : Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 103 s., ISBN 80-85361-19-1.

NOVÁKOVÁ M. 2007. Interpolácia meteorologických údajov pre potreby monitoringu stavu vývoja a odhadu úrod poľnohospodárskych plodín. In Bujnovský, R. ed. *Vedecké práce č. 29*, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 9-105.

ORFÁNUS T., BALKOVIČ J. 2004. Metodika generovania priestorových máp retenčných vlastností pôd z bodových dát o pôdnej textúre. *Acta Hydrologica Slovaca*, Roč. 5, č. 1, 139-148.

SHMÚ 1991. Klimatické pomery na Slovensku. Vybrané charakteristiky. *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave, zv. 33/I*. Bratislava, Vyd. ALFA, ISBN 80-05-00888-0, 240 s.

SCHAAP M.G., LEIJ F.J., van GENUCHTEN M.T. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 847-855.

SKALSKÝ R., BALKOVIČ, J. 2002. Digital Database of Selected Soil Profiles of Complex Soil Survey of Slovakia (KPP-DB). In Jambor, P. (ed.) *Vedecké práce č.25*, Bratislava : Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 129-140, ISBN 80-89128-07-6

SOIL SURVEY STAFF 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.* 2nd edition. Agric. Handbook, zv. 436, Washington, DC : U.S. Govt. Print. Office, 869 s.

TAKÁČ J. 1999. Trends in Soil Water Regime in Model Conditions of Žitný Ostrov. *Scientific Papers Of the Research Institute Of Irrigation Bratislava,* No. 24. Bratislava : VÚZH, 189-201, ISBN 80-85755-07-6.

TAKÁČ J. 2008. Vplyv a dôsledky pôdnych a hydrologických podmienok na vodný režim Žitného ostrova. In: Sobocká, J. (ed*) Zborník príspevkov Antropizácia pôd IX., Bratislava 27. - 28. 5. 2008*, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 155-163, ISBN 978-80-89128-48-8.

WÖSTEN J. H. M., van GENUCHTEN M.T. 1988. Using Texture and Other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Functions. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1762-1770.

16. DIAGNOSTIKA A MAPOVANIE ENVIRONMENTÁLNEHO POTENCIÁLU POĽNOHOSPODÁRSKYCH PÔD NA SLOVENSKU

16 Diagnostics and mapping of environmental potential of agricultural land in Slovakia

Jozef Vilček, Radoslav Bujnovský*

ABSTRAKT
V ekosystémoch Zeme má pôda nenahraditeľné postavenie aj vzhľadom na schopnosť zabezpečovať také ekologické (mimoprodukčné) funkcie akými sú akumulácia vody, či imobilizácia i transformácia cudzorodých látok. V tejto súvislosti je aktuálne aj hodnotenie a oceňovanie ekologických funkcii pôdy, ktoré čoraz viac nadobúda nielen ekonomický, ale aj etický a morálny rozmer. Priemerná bodová hodnota vyjadrujúca schopnosť poľnohospodárskych pôd Slovenska zabezpečovať ekologické funkcie je 55,3 bodov. Absolútna hodnota schopnosti poľnohospodárskych pôd Slovenska plniť ekologické funkcie má vo finančnom vyjadrení hodnotu 35,946 miliárd €. Priemerná hodnota 1 m^2 je asi 1,42 €. Heterogénne prírodné i pôdne pomery na Slovensku podmieňujú rôznu schopnosť pôd plniť ekologické funkcie. Ich identifikáciu a vyjadrenie miery schopnosti umožňuje aj systém indexov environmentálneho potenciálu poľnohospodárskych pôd Slovenska. Index environmentálneho potenciálu pôd (IEPP) predstavuje relatívne homogénnu územnú jednotku so špecifickou a jemu vlastnou mierou schopnosti pôd plniť jednotlivé mimoprodukčné funkcie. Je vypracovaný ako štvormiestny kód vyjadrujúci mieru schopnosti pôd akumulovať vodu, imobilizovať rizikové prvky a látky a tieto aj transformovať. Na území Slovenska sme stanovili 493 kombinácii indexov environmentálneho potenciálu poľnohospodárskych pôd.
Kľúčové slová: pôda, ekologické funkcie pôd, hodnota pôd, environmentálny potenciál pôd

ABSTRACT
In the Earth ecosystems soil has non replaceable position also from view of provision of ecological (non production) functions to them belonged water accumulation, immobilisation and transformation of pollutants. In this connection evaluation and pricing of ecological soil functions is very actual because it has not only economic but also ethical dimension. Average point value expressing the capacity of agricultural land to provide soil ecological functions represents 55.3 points. Total financial value of this capacity is 35.946 billion € that in average represents 1.42 € per square meter. Heterogeneous natural and soil conditions of Slovakia determine the different capacity to provide soil ecological functions. The index of environmental soil potential (IEPP) represents relatively homogenous territorial unit of the soil with specific degree to provide the individual soil ecological functions. It is developed as a four place code expressing the soil capacity to accumulate water, immobilise the risk elements and substances, and transformation of risk substances. Within agricultural land of Slovakia there were defined 493 combinations of this index.
Key words: soil, ecological soil functions, soil evaluation, environmental potential

16.1 ÚVOD

Hoci kvalita pôdy a prírodného prostredia je jedným z pilierov trvalo udržateľného rozvoja spoločnosti (Karlen, Andrews, 2000), široká verejnosť zvyčajne vníma pôdu ako niečo čo je pod povrchom zeme a čo na rozdiel od ostatnej krajiny nemá bezprostredný vplyv na život človeka (Bouma, 2000). Opak je však pravdou. Hodnotenie kvality pôdy z hľadiska jej prínosov pre spoločnosť je základom pre formulovanie stratégie využívania pôdy (najmä poľnohospodárskej) a rozvoja regiónov (Wytrzens,

* prof. Ing. Jozef Vilček, PhD., Ing. Radoslav Bujnovský, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: j.vilcek@vupop.sk, r.bujnovsky@vupop.sk

1996), pričom pôdu možno zaradiť medzi kapacitné faktory rozvoja (Robert, 1982). Ako uvádza Wytrzens (1996), hodnotenie jej kvality je z hľadiska prínosov pre spoločnosť základom pre formulovanie stratégie využívania a rozvoja regiónov.

Problematika hodnotenia kvality pôdy vrátane jej funkcií a indikátorov hodnotenia je predmetom rozsiahleho výskumu v zahraničí, predovšetkým v USA (Karlen a i., 2003). Základným východiskom pre objektívne hodnotenie ekologických funkcií a následne kvality pôdy je výber relevantných a dostupných parametrov vrátane vymedzenia limitných kritérií ich hodnotenia. Hodnotenie funkcií pôdy vychádza z výberu pôdnych atribútov nazývaných indikátory kvality pôdy (Larson, Pierce, 1994; Karlen, Stott, 1994; Acton, Gregorich, 1995; Andrews a i., 2004), ktoré poskytujú použiteľné informácie vo vzťahu k stavu a fungovaniu konkrétnej funkcie pôdy. Nami zvolený prístup k hodnoteniu vybraných ekologických funkcií pôd SR je založený na využití priestorovo orientovaných údajov o pôde z dostupných databáz.

V súčasnosti sa čím ďalej, tým viac pozeráme na pôdu nielen ako na základný prostriedok pre výrobu potravín, ale tiež ako na zložku prírody, ktorá zabezpečuje ekologickú stabilitu prostredia a život na našej Zemi. Vyjadriť a ohodnotiť túto funkciu je oveľa zložitejšie ako tomu bolo pri funkcií produkčnej. Napriek mnohým pokusom o kategorizáciu schopnosti pôdy plniť tzv. ekologické funkcie, každé doposiaľ vypracované hodnotenie má svoje nedostatky a to či už v komplexnosti hodnotených funkcií, alebo v presnosti ich vyjadrenia. Doposiaľ neexistuje fundovane prepracovaný systém, ktorý by napr. prostredníctvom kódov umožňoval v krajine identifikáciu i hodnotenie pôdnych jednotiek vzhľadom k schopnosti plniť ekologické funkcie. V snahe urobiť možno prvý krok pri kodifikácií pôd z pohľadu ich neprodukčných funkcií sme sa pokúsili vypracovať systém kombinácie čísel, ktoré by vyjadrovali mieru plnenia podľa nášho názoru ťažiskových ekologických funkcií pôd. Jedná sa o schopnosť poľnohospodárskych pôd Slovenska akumulovať vodu, imobilizovať a transformovať cudzorodé látky.

16.2 MATERIÁL A METÓDY

16.2.1 Princíp tvorby indexu environmentálneho potenciálu pôdy

Index environmentálneho potenciálu pôdy (IEPP) pozostáva z číselného vyjadrenia miery schopnosti zabezpečovať akumuláciu vody, imobilizáciu rizikových prvkov, imobilizáciu organických polutantov a transformáciu organických polutantov. Pri jeho tvorbe boli preto použité parciálne hodnotenia miery schopnosti pôd zabezpečovať uvedené funkcie.

Schopnosť pôdy akumulovať vodu – pre vyjadrenie schopnosti pôd akumulovať vodu boli ako primárne indikátory použité poľná vodná kapacita a hĺbka pôd a ako sekundárne indikátory zrnitostné zloženie, obsah organického uhlíka a objemová hmotnosť pôd. Hodnoty poľnej vodnej kapacity ($cm^3.cm^{-3}$) boli vypočítané pomocou analytického vyjadrenia retenčnej čiary (Van Genuchten, 1980) pre približne 61 000 horizontových záznamov zo sond Komplexného prieskumu pôd Slovenska. Štatisticky boli vyhodnotené pre textúrne kategórie pôd (na základe obsahu celkového ílu) i intervaly obsahu pôdneho organického uhlíka pomocou kontingenčnej tabuľky a následne boli agregované pre zrnitostné kategórie digitálnej vrstvy BPEJ (Džatko, 2002). Takto sa v hodnotení retenčnej schopnosti zohľadnila priestorová distribúcia zrnitosti. Uvedené hodnoty boli následne s prihliadnutím na hĺbku pôdy (v zmysle kategorizácie BPEJ) prepočítané na potenciál pôd akumulovať vodu vyjadrený v mm vodného stĺpca, teda zásobu vody. Pre hodnotenie schopnosti pôd akumulovať vodu bola od poľnej vodnej kapacity (mm) odvodená nasledovná kategorizácia potenciálnej zásoby vody v pôde: veľmi vysoká (nad 400 mm), vysoká (301 – 400 mm), stredná (201 – 300 mm), nízka (100 – 200 mm), veľmi nízka (do 100 mm).

Schopnosť pôdy imobilizovať rizikové látky – pre vyjadrenie schopnosti pôd filtrovať, resp. imobilizovať rizikové prvky bol zvolený postup podľa Makovníkovej (2006, 2007). Algoritmus zohľadňuje tzv. pôdne indikátory (primárne: mobilný obsah a celkový akumulovaný obsah rizikových prvkov, sekundárne: pH, obsah a kvalita organickej hmoty, hrúbka humusového horizontu, celková pórovitosť a obsah pôdnych častíc menších ako 0,01 mm) a indikátory prostredia (ročný úhrn atmosférických zrážok, vstupy rizikových prvkov do pôdy a manažment pôdy). Potenciál schopnosti pôd imobilizovať rizikové prvky je vyjadrený kumulatívnou rovnicou:

Potenciál filtrácie = Potenciál sorpcie + Potenciál celkového obsahu rizikových prvkov

Potenciál sorpcie je funkciou kvalitatívnych faktorov (pH, Q^4_6) a kvantitatívnych faktorov (C_{ox}, hrúbka humusového horizontu). Je vyjadrený v bodoch, pričom veľmi vysokej schopnosti prislúcha hodnota 0 – 1,00 bodov vysokej 1,01 – 2,00, strednej 2,01 – 3,00, nízkej 3,01 – 4,00 a veľmi nízkej nad 4,00 bodov. Potenciál celkového obsahu rizikových prvkov zahrňuje všetky formy, v ktorých sa konkrétny prvok v pôde nachádza a hodnotí sa podľa limitných hodnôt uvedených v zákone č. 220/2004 Z.z. so zohľadnením zrnitostných kategórií. Je vyjadrený v bodoch pričom pôdam s vysokým potenciálom (obsah aspoň jedného prvku je nad 200 % limitu) bola priradená bodová hodnota 5, pôdam so stredným potenciálom (obsah aspoň jedného prvku je od 120 – 200 % limitu) bola priradená bodová hodnota 3, pôdam s nízkym potenciálom (obsah aspoň jedného prvku je od 80 – 120 % limitu) bola priradená bodová hodnota 1 a pôdam s veľmi nízkym potenciálom (obsah všetkých prvkov je nižší ako 80 % limitu) bola priradená bodová hodnota 0. Pre hodnotenie schopnosti pôd imobilizovať rizikové látky boli od bodovej hodnoty potenciálu filtrácie odvodené nasledovné kategórie: veľmi vysoká (< 2,5), vysoká (2,6 – 4,5), stredná (4,6 – 6,5), nízka (6,6 – 8,5), veľmi nízka (> 8,5).

Schopnosť pôdy imobilizovať organické polutanty – pre hodnotenie schopnosti pôdy imobilizovať organické polutanty bol zvolený tzv. minimálny súbor indikátorov (Barančíková, 2002). Pôdne indikátory sú charakterizované množstvom C_{ox} a kvalitou (Q^4_6) pôdnej organickej hmoty, hrúbkou humusového horizontu, obsahom ílu a hĺbkou pôdy. Ako indikátor prostredia bol zvolený ročný úhrn atmosférických zrážok. Hodnotenie schopnosti pôd plniť túto funkciu bolo spracované na základe kategorizácie tzv. indexov imobilizácie, ktoré stanovila Barančíková (2003) nasledovne:

Index imobilizácie = 0,00001(-0,3125*Z+1125)*[0,5076*(13-Q)*C*H+0,44*I*P]*

kde: *Z* – priemerný ročný úhrn zrážok udaný (mm), Q – kvalita organickej hmoty, C – množstvo organického uhlíka v humusovom horizonte (hmotnostné %), H – hrúbka humusového horizontu (m), I – množstvo ílu < 0,001 mm (hmotnostné % – priemer za celý pôdny profil)m, P – hĺbka pôdy (m)

Príslušná kategória schopnosti pôd filtrovať organické kontaminanty sa určí podľa rozsahu indexu imobolizície nasledovne: veľmi vysoká (> 14,35), vysoká (10,12 – 14,35), stredná (6,75 – 10,11), nízka (4,16 – 6,74), veľmi nízka (< 4,16).

Schopnosť pôdy transformovať organické polutanty (transformačná funkcia*)* – degradácia organických kontaminantov v pôde prebieha tak biologickou aj abiotickou cestou, pričom oba typy degradácie prebiehajú paralelne. Pre potreby prezentovaného hodnotenia považujeme oba procesy za nezávislé. Schopnosť pôdy transformovať organické kontaminanty indikuje množstvo (C_{ox}) a kvalita (Q) pôdnej organickej hmoty, obsah ílu (I), pH – t.j. pôdne indikátory a indikátor prostredia – priemerná ročná teplota vzduchu (T). Všeobecná rovnica potenciálnej transformácie organických kontaminantov (Barančíková, 2003) má tvar:

*Index transformácie = 0,66 * Index biotransformácie (IBT) + 0,33 * Index abiotickej transformácie (IAT)*

Podobne ako v prípade imobilizácie organických kontaminantov po dosadení príslušných normalizačných funkcií a po úprave majú rovnice Indexu abiotickej transformácie (IAT) a Indexu biotickej transformácie (IBT) nasledovné tvary:

$$IAT = 0,66 * (13 * C - Q * C + I)$$
$$IBT = 0,01818 * (pH^2 - 13pH + 26,4) * (Q - 13) * (T + 4,9) * C_{red} * X$$

kde C – množstvo humusu; Q – kvalita humusu; I – zastúpenie pôdnych častíc < 0,01 mm; T – priemerná ročná teplota vzduchu; C_{red} – pre C_{ox} > 2,3 sa dosadzuje hodnota 2,3; X – parameter, ktorý sa vypočíta na základe vplyvu pH a zrnitostného zloženia na počet baktérií

Podobne ako v prípade imobilizácie organických kontaminantov tak aj v tomto prípade je schopnosť pôd transformovať organické polutanty rozdelená podľa indexu transformácie nasledovne: veľmi vysoká (> 46,36), vysoká (38,40 – 46,35), stredná (32,62 – 38,39), nízka (27,48 – 32,61), veľmi nízka < 27,47).

16.2.2 Princíp hodnotenia indexu environmentálneho potenciálu pôdy

Ako sme uviedli, samotný kód IEPP je funkciou štyroch vybraných mimoprodukčných funkcií. Pretože každú funkciu vieme samostatne posúdiť i vyjadriť jej mieru schopnosti napr. v bodových, resp. finančných hodnotách (Bujnovsky a kol., 2009), vieme takéto hodnotenie vypracovať aj pre každý kód (IEPP). Schopnosť poľnohospodárskych pôd zabezpečovať environmentálne funkcie sme vyjadrili v bodovom i finančnom hodnotení. V bodovom vyjadrení schopnosti ich plnenia je v škále najnižšia schopnosť 0-20 bodov a najvyššia schopnosť 80 – 100 bodov. Váženým priemerom sa vyjadrila bodovú hodnotu pre každý IEPP.

Pri finančnom vyjadrení sme vychádzali z nasledujúcich predpokladov:

- ✓ Pôda = akumulačnú nádrž pre zadržiavanie vody: náklady na zadržanie 1 m^3 vody sa pohybujú na úrovni 2 € (finančné analýzy rôznych vodných diel budovaných na Slovensku).
- ✓ Pôda = filter: veľmi vysoká schopnosť pôd zachytávať rizikové prvky a organické kontaminanty sa rovná hodnote nákladom potrebných na očistenie vody v čističkách odpadových vôd. Priemerné náklady na Slovensku sú na úrovni 0,4 €.m^{-3}.
- ✓ Pôda = čistička: veľmi vysoká schopnosť pôd transformovať organické polutanty sa rovná hodnote nákladom potrebných na očistenie kontaminovanej pôdy (nad 1000 µg .kg-1 PAU). Z praktických poznatkov z dekontaminácie pôd v európskych krajinách vyplýva, že náklady na takúto činnosť predstavujú asi 30 USD za tonu (*solidification/stabilization in situ*).
- ✓ Pri úvahe, že všetky uvažované funkcie sú rovnocenné a pri akceptovaní uvedeného cenového vyjadrenia ich schopnosti (tzv. substitučná metóda), sme finančnú hodnotu IEPP vyjadrili ako súčet ocenení jej parciálnych zložiek.

16.2.3 Priestorová identifikácia indexu environmentálneho potenciálu pôdy

Indikátory a parametre potrebné pre charakteristiku uvedených funkcií boli identifikované a generované z existujúcich databáz a informačných systémoch o pôdach Slovenska, ktoré spravuje VÚPOP. Výhodou týchto systémov je ich digitalizácia a dostupnosť vo vektorom tvare, čo nám pri selekcii zvolených indikátorov a parametrov umožnilo využiť moderné triediace programy i geografické informačné systémy (GIS). Samotný index environmentálneho potenciálu bol ako priestorová jednotka vygenerovaný v prostredí GIS ARC Info ako prienik príslušných polygónov kategórii hodnotených funkcií.

16.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ekologické funkcie pôdy boli a sú využívané automaticky bez ohľadu na to, či si to spoločnosť uvedomuje alebo nie. To znamená, že ekologické funkcie poľnohospodárskej pôdy v skutočnosti nie sú funkciami ktoré človek priamo a vedome doteraz využíval. Široká verejnosť nie je dostatočne informovaná o ekologických funkciách pôdy a prirodzene inklinuje k tým funkciám, ktoré sa spájajú s priamymi ekonomickými prínosmi pre užívateľa. Hodnota potenciálu ekologických funkcií pôdy sa môže prejaviť vtedy, keď sa ich využívanie premietne do ekonomických nákladov resp. výnosov.

Zároveň si treba uvedomiť, že jednotlivé ekologické funkcie prebiehajú súčasne, t.j. v akomsi vzájomnom komplexe. Aj keď ich môžeme hodnotiť každú samostatne, predsa sa len v konečnom dôsledku jedná o jeden ekosystém a preto je vhodné ho aj takto posudzovať. Takýto prístup platí osobitne pri ohodnotení celkovej schopnosti pôdy plniť ekologické funkcie a tiež pri snahe o jej finančné vyjadrenie.

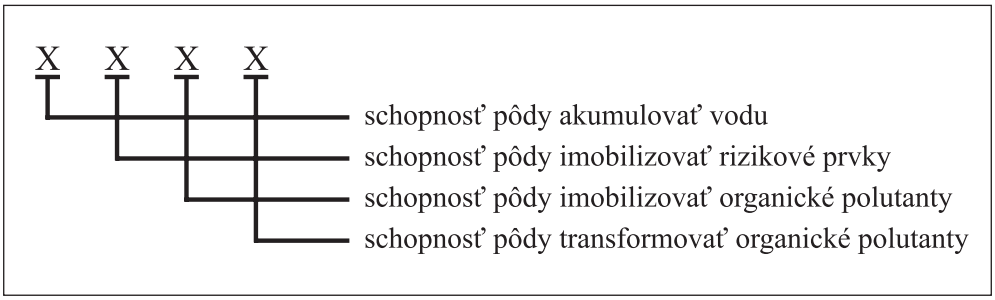
Nami vybrané ekologické funkcie pôdy predstavujú, na súčasnej úrovni poznania danej problematiky, najvýznamnejšie a najprebádanejšie funkcie, ktoré dokážeme priamo merať, resp. modelovo odvodiť ich potenciál. Sme si vedomí, že existuje celý rad iných (a určite nie menej dôležitých) funkcií, ktoré sme do našich analýz nezahrnuli. Ich hodnotenie môže byť po zjednotení metodických postupov predmetom riešenia v ďalších rokoch.

Výsledky nášho bádania vyústili do vyhodnotenia štyroch ekologických funkcii pôd a ich kategorizácie podľa miery schopnosti napĺňať ich (Bujnovský a kol., 2009). Miera schopnosti pôd

akumulovať vodu, imobilizovať rizikové prvky (anorganické polutanty), imobilizovať rizikové látky (organické polutanty) a tieto aj transformovať bola vyjadrená v nasledujúcej stupnici:

1 – veľmi vysoká schopnosť
2 – vysoká schopnosť
3 – stredná schopnosť
4 – nízka schopnosť
5 – veľmi nízka schopnosť.

Kombináciou takéhoto vyjadrenia hodnotených funkcií vznikol 4-miestny kód - index, ktorý vyjadruje potenciál konkrétnej pôdnej jednotky plniť vybrané ekologické funkcie. Nakoľko takéto vyjadrenie potenciálu pôd svojim obsahom naplňa skôr environmentálne ako ekologické vzťahy, domnievame sa, že výsledný index by túto skutočnosť mal zvýrazniť aj vo svojom názve. Na obr. 1 je znázornený Index environmentálneho potenciálu pôd (IEPP). Samotný kód IEPP je funkciou štyroch vybraných mimoprodukčných funkcií.



Obr. 1 Konfigurácia indexu environmentálneho potenciálu pôd

Kombináciou miery schopnosti pôd plniť vybrané ekologické funkcie vzniklo pre územie Slovenska 493 variantov – indexov (kódov). Každý index environmentálneho potenciálu pôd (IEPP) predstavuje relatívne homogénnu územnú jednotku so špecifickou a jemu vlastnou mierou schopnosti pôd plniť príslušné mimoprodukčné funkcie**.** Indexy (kódy) environmentálneho potenciálu boli vypracované pre všetky poľnohospodárske pôdy na Slovensku, ktoré sú zachytené v informačnom systéme VÚPOP.

Skutočnosť, že informačný systém o pôdach Slovenska disponuje požadovanými databázami a umožňuje aj priestorovú interpretáciu jednotlivých indikátorov, umožnila kategorizáciu schopnosti pôd Slovenska zabezpečovať ekologické funkcie aj z hľadiska jej variability v poľnohospodárskej krajine. Vytvorená vrstva o priebehu hraníc a rozšírení indexov environmentálneho potenciálu pôd Slovenska je spracovaná v digitálnom tvare a zahŕňa celú výmeru poľnohospodárskych pôd. Je súčasťou informačného systému o pôdach Slovenska, ktorý spravuje Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava. Prostredníctvom takéhoto výstupu je možné identifikovať environmentálny potenciál tej, ktorej lokality a zároveň takéto poznatky zakomponovať do iných aplikácii, resp. výstupov.

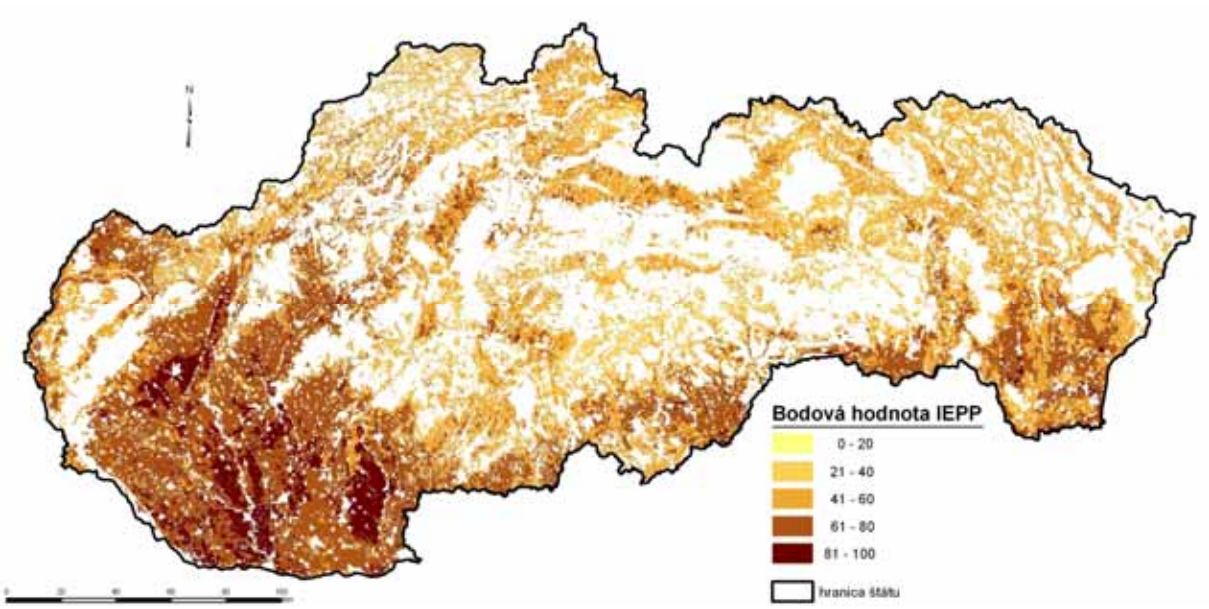
Na území Slovenska evidujeme 493 kombinácii indexov environmentálneho potenciálu poľnohospodárskych pôd. Znamená to teda, že reálne sa nevyskytujú všetky možné kombinácie miery schopnosti pôd zabezpečovať jednotlivé mimoprodukčné funkcie. Neexistuje napr. kombinácia 1125 alebo 5511 a podobne mnohé iné.

Plošne najviac poľnohospodárskych pôd prislúcha k indexu 2233 (64,4 tis. ha), ktorý vyjadruje vysokú schopnosť pôdy akumulovať vodu a imobilizovať rizikové prvky a strednú schopnosť imobilizovať a transformovať organické polutanty. Vysoké je aj zastúpenie pôd prislúchajúcich k indexom 2333 (52,0 tis. ha) a 4343 (50,3 tis. ha). Uvedené indexy reprezentujú pôdy zo strednou a nižšou schopnosťou plniť environmentálne funkcie. Z tzv. „lepších“ pôd v tomto smere dominuje index 2131 (45,7 tis. ha), ktorý vyjadruje vysokú schopnosť pôdy akumulovať vodu, veľmi vysokú schopnosť imobilizovať rizikové prvky a transformovať organické polutanty a strednú schopnosť imobilizovať organické polutanty. Pomerne vysoké zastúpenie má aj index 2132 (44,8 tis. ha).

Obr. 1 Ukážka priestorovej dislokácie indexov environmentálneho potenciálu pôd (IEPP)

16.3.1 Bodová hodnota indexov environmentálneho potenciálu pôd

Pri úvahe, že všetky uvažované funkcie sú rovnocenné a akceptovaní bodového vyjadrenia schopnosti ich plnenia v škále najnižšia schopnosť 0-20 bodov a najvyššia schopnosť 80 – 100 bodov, sme váženým priemerom vyjadrili bodovú hodnotu pre každý IEPP. Informácie o bodovej hodnote IEPP sú uvedené v zozname indexov ekologického potenciálu pôd. Bodová škála sa pre územie Slovenska pohybuje v rozsahu 20 bodov (index 5555) po 100 bodov (index 1111). Priestorovú diferenciáciu bodovej hodnoty IEPP v zvolenej škále kategórii prezentuje obr. 2.



Obr. 2 Kategorizácia bodových hodnôt indexov environmentálneho potenciálu (IEPP)

Priemerná bodová hodnota vyjadrujúca schopnosť poľnohospodárskych pôd Slovenska zabezpečovať ekologické funkcie je 55,3 bodov. Najvyššiu bodovú hodnotu z hľadiska schopnosti zabezpečovať ekologické funkcie majú poľnohospodárske pôdy v Nitrianskom kraji (72 bodov) a okrese Šaľa (82 bodov). Najnižšia bodová hodnota v tomto smere bola zaznamená v Prešovskom kraji (48 bodov) a okrese Košice 1 (42 bodov), resp. Gelnica (41 bodov).

Absolútna hodnota schopnosti poľnohospodárskych pôd Slovenska plniť ekologické funkcie má vo finančnom vyjadrení hodnotu 35,946 miliárd €. Znamená to teda, že priemerná hodnota 1 m^2 je asi 1,42 €. Najvyššiu finančnú hodnotu z hľadiska schopnosti zabezpečovať ekologické funkcie majú poľnohospodárske pôdy v Nitrianskom kraji (1,77 €.m^2) a okrese Šaľa (1,84 €.m^2). Najnižšia bodová hodnota v tomto smere bola zaznamená v Prešovskom kraji (1,17 €.m^2) a okrese Gelnica (0,91 €.m^2).

16.4 ZÁVER

Indexy environmentálneho potenciálu pôd predstavujú relatívne homogénne územné jednotky so špecifickou a im vlastnou mierou schopnosti pôd plniť jednotlivé mimoprodukčné funkcie. Sú vypracované ako štvormiestny kód vyjadrujúci mieru schopnosti pôd akumulovať vodu, imobilizovať rizikové prvky a látky a tieto aj transformovať. Na území Slovenska evidujeme 493 kombinácii indexov environmentálneho potenciálu poľnohospodárskych pôd. Pre každý index bola určená jemu prislúchajúca bodová i finančná hodnota. Priemerná bodová hodnota vyjadrujúca schopnosť poľnohospodárskych pôd Slovenska zabezpečovať ekologické funkcie je 55,3 bodov. Absolútna hodnota schopnosti poľnohospodárskych pôd Slovenska plniť ekologické funkcie má vo finančnom vyjadrení hodnotu 35,946 miliárd €. Priemerná hodnota vypočítaná pre 1 m^2 je asi 1,42 €.

Priestorová identifikácia kódov IEPP i údajová databáza je dostupná vo vektorovej forme prostredníctvom geografických informačných systémov Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava. Priestorová diferenciácia a kvantifikácia environmentálneho potenciálu pôdy môže byť jedným z podkladov pre úpravu doterajších noriem pri trvalých záberoch pôdy, determinovania indikátorov kvality a funkcií pôdy, ako aj podkladom pre určenie ceny pôdy.

Poďakovanie

Autori ďakujú Agentúre na podporu výskumu a vývoja i agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektov APVV-0124-06 a VEGA 1/0072/10, v rámci ktorých vznikol prezentovaný príspevok.

Literatúra

ACTON D. F., GREGORICH L. J. Understanding soil health. In*: The health of our soils. Towards sustainable agriculture in Canada.* Ottawa: Centre for Land and Biological Resources Research, 1995, 5-10, ISBN 0-660–15947-3.

ANDREWS S. S., KARLEN D.L., CAMBARDELLA C.A. The soil management assessment framework. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 2004, 1945-1962.

BARANČÍKOVÁ G., MADARAS M. Attempt to assessment of non-production soil functions – filtration of organic contaminants. In: *Ekológia*, vol. 22, 2003, č.3, 223-336.

BARANČÍKOVÁ G., MADARAS M. Pokus o hodnotenie mimoprodukčných funkcií pôd – transformácia organických kontaminantov. *Zborník príspevkov: Druhé pôdoznalecké dni v SR*, 2003, Stará Lesná, 105-110.

BOUMA J. The land quality concept as a means to improve communications about soils. In Elmholt, S. et al. (eds.), *Soil stress, quality and care.* Proc. NJF seminar 310, Report No. 38. Tjele: DIAS, 2000, 1-14.

BUJNOVSKÝ R., BALKOVIČ J., BARANČÍKOVÁ G., MAKOVNÍKOVÁ J., VILČEK J. *Hodnotenie a oceňovanie ekologických funkcií poľnohospodárskych pôd Slovenska.* VÚPOP Bratislava, 2009, 72 s., ISBN978-80-89128-56-3.

DŽATKO M. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 2002, 88 s. ISBN 80-85361-94-9.

KARLEN D.L., ANDREWS S.S. The soil quality concept: A tool for evaluating sustainability. In: Elmholt,S. et al. (eds.), *Soil stress, quality and care*. Proc. NJF seminar 310, Report No. 38. Tjele: DIAS, 2000, 15-26.

KARLEN D.L., STOTT D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds.*), Defining soil quality for a sustainable environment*. SSAA Spec. Publ. No. 35. Madison: SSSA, WI, 1994, 53-72.

KARLEN D.L., DITZLER C.A., ANDREWS S.S. Soil quality: why and how? *Geoderma,* 114, 2003, 145-156.

LARSON W. E., PIERCE F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Publication, No. 35, Madison: SSSA, 1994, pp. 37-51 ISBN 0-89118-807-X.

MAKOVNÍKOVÁ J., BARANČÍKOVÁ G., DLAPA P., DERCOVÁ K. Inorganic contaminants in soil ecosystem. *Chem. listy*, 100, 2006, 424-432.

MAKOVNÍKOVÁ J., BARANČÍKOVÁ G., PÁLKA B. Approach to the assessment of transport risk of inorganic contamination on the immobilisation capability of soil. *Plant Soil Envir.*, vol. 53, 2007, 365-373.

ROBERT J. *Mobilising the indigenous potential of disadvantaged regions - a new dimension of regional planning. European regional planning.* Study No. 40. Strasbourg: Council of Europe, 1982, 38 p.

VAN GENUCHTEN M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *In Soil Sci. Soc. Am. J.,* 44, 1980, 892-898.

WYTRZENS H.K. 1996. An applied land use planning method appreciating the multifunctionality of agricultural land. In: *Proc. 2nd workshop on „Sustainable land use planning“*. Gödöllö: Univ. Agric. Sciences, 1996, 1-10.

17. DIGITÁLNE PÔDNE PRIESTOROVÉ ÚDAJE SLOVENSKA V STRATEGICKOM ROZVOJI TVORBY INFRAŠTRUKTÚRY PRIESTOROVÝCH INFORMÁCIÍ

17 Digital spatial soil information of Slovakia in strategic development of spatial information infrastructure

Vladimír Hutár, Michal Sviček*

ABSTRAKT
Pôdne priestorové informácie predstavujú významnú tematickú zložku národných informácií jednotlivých členských štátov v Európskej únii. Prístup k existujúcim digitálnym zdrojom je stále limitovaný a nekonzistentný, či už na úrovni technickej alebo sématickej. V rámci smernice INSPIRE (v národnej legislatíve transponovanej ako Zákon o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie, Z.z č. 3/2010) je problematika pôdnej priestorovej informácie explicitne adresovaná ako individuálna téma č.3 (*Annex III*), pričom ale v nadväznosti na environmentálnu, poľnohospodársku a lesnícku problematiku existuje prepojenie na témy z prílohy I, II a III (*Annex II, III*). Významný postup v celoeurópskom meradle ohľadom naplnenia smernice INSPIRE v tematickej oblasti pôda predstavuje eContentplus projekt Európskej únie: Posúdenie a strategický vývoj geoúdajov v súlade s INSPIRE – služby pre európske pôdne údaje (GS-Soil). Uvedený projekt rieši problematiku infraštruktúry pre pôdne priestorové informácie v jej kľúčových bodoch, pričom vychádza z konkrétnych existujúcich údajov na národnej úrovni. Hlavné kroky zabezpečenia integrity postupu budovania infraštruktúry zahrňujú nasledovné body: a) vytvorenie národného tematického pôdneho inventára a tematického katalógu; b) manažment dát a tvorba metaúdajov; c) harmonizácia a sémantická interoperabilita; d) zavedenie integrovanej siete a pôdneho portálu. Začiatok projektu (jún 2009), jeho súčasná realizácia a úspešná finalizácia poskytujú dostatok možností na uskutočnenie záväzných ustanovení k termínu 2012 pre tematickú oblasť pôda (č.3, príloha III). Do projektu je zapojených 18 členských krajín EÚ a na projekte participuje aj Spoločné výskumné centrum EK (JRC EK).
Kľúčové slová: NIPI (INSPIRE), GS-Soil, digitálne pôdne priestorové údaje

ABSTRACT
The soil spatial information represent significant thematic component of national spatial information of individual member states of European Union. Legal access to existing digital sources of spatial information is still limited and not interoperable, neither on a technical nor on a semantic level. In the frame of INSPIRE directive (in Slovak legislative transposed as a Act No. 3/2009 Code: of statue-book on national infrastructure for spatial information) is the topic of soil spatial information explicitly address to individual theme No. 3 (Annex III), but in connection with environmental, agricultural and forest topic there exist link on theme from annex I, II and III. Important progress in the European Member States area represents eContentplus framework program: Assessment and strategic development of INSPIRE compliant Geodata-Services for European Soil Data (GS-Soil). This project deals with problems of soil spatial infrastructure in the key elements, coming out from authentic existing information on national level. The main steps of assigning progress integrity for infrastructure building are included in following steps: a) consolidation of national soil inventory and theme catalogue; b) data management and metadata creation; c) harmonization and semantic interoperability; d) establishment of an integrated network and soil portal. The beginning of the project (Jun 2009) present progress and successful finalization open up enough possibilities for realizing obligatory regulations for the soil specific theme (No. 3, annex III) until the term 2012. 18 membership partners from EÚ are involved into the project, including Joint Research Centre (JRC) European Commission.
Keywords: INSPIRE (NIPI), GS-Soil, digital soil spatial information

* Mgr. Vladimír Hutár, PhD., Ing. Michal Sviček, CSc., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, SR, e-mail: v.hutar@vupu.sk, m.svicek@vupu.sk

17.1 ÚVOD

Aktivity Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP) zahŕňajú široké spektrum činností, ktorých primárnu zložku predstavujú pôdne údaje a údaje s pôdou súvisiace. Orientácia vedecko-výskumnej činnosti je smerovaná predovšetkým na pôdu, krajinu a životné prostredie formou účasti na riešení mnohých národných a medzinárodných projektov EÚ. Tým je zabezpečený kontinuálny rozvoj a zdokonaľovanie teoretických a aplikačných princípov pôdoznaleckej disciplíny.

Využitie verejne dostupného celosvetového systému vzájomne prepojených počítačových sietí, ktoré prenášajú dáta (internet), prináša sprístupnenie pôdnych údajov vo vhodnej a zrozumiteľnej podobe. Pôdne informácie sú takouto formou spolu s priestorovou informáciou prostredníctvom mapového portálu prístupné širokej verejnosti a výrazne tak prispievajú k poznaniu pedosféry. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy takto prispieva k rozvoju problematiky pôdoznalectva v nasledovných oblastiach, ako je: *i)* zdokonaľovanie systému monitorovania vlastností pôd SR; *ii)* rozvoj teoretických základov v oblasti hodnotenia produkčných a mimo-produkčných funkcií pôd; *iii)* budovanie a prevádzkovanie databázových komponentov informačného systému o pôde a tvorba aplikačných modelov pre vývoj expertných systémov pre riešenie čiastkových problémov súvisiacich s využívaním a ochranou pôdy; *iv)* vývoj metód neškodného využívania odpadov na hnojenie pôd a pri ich eliminácii z prírodného prostredia; *v)* vedecké prognózovanie zmien vlastností pôdneho krytu R vplyvom predpokladaného vývoja klimatickej zmeny. *vi)* modelovanie vplyvu využívania poľnohospodárskej pôdy na procesy sekvestrácie skleníkových plynov v pôde a biomase rastlín

17.2 MATERIÁL A METÓDY

Informačný systém VÚPOP prostredníctvom internetu (obr. 1) a mapového servera umožňuje širokej verejnosti *on-line* prezerať informácie o pôde. Pre potreby systematickej harmonizácie digitálnych priestorových údajov v Európskej Únii bola prijatá smernica INSPIRE (EU INSPIRE directive (2007/2/EC)) (v národnej legislatíve transponovanej ako Zákon o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie, Z.z č. 3/2010) stanovujúca všeobecné pravidlá pre budovanie európskej infraštruktúry priestorových informácií predovšetkým na podporu environmentálnych politík a politík, ktoré majú dopad na životné prostredie.

Obr. 1 Pôdny portál VÚPOP Bratislava, úvodná stránka http://www.podnemapy.sk

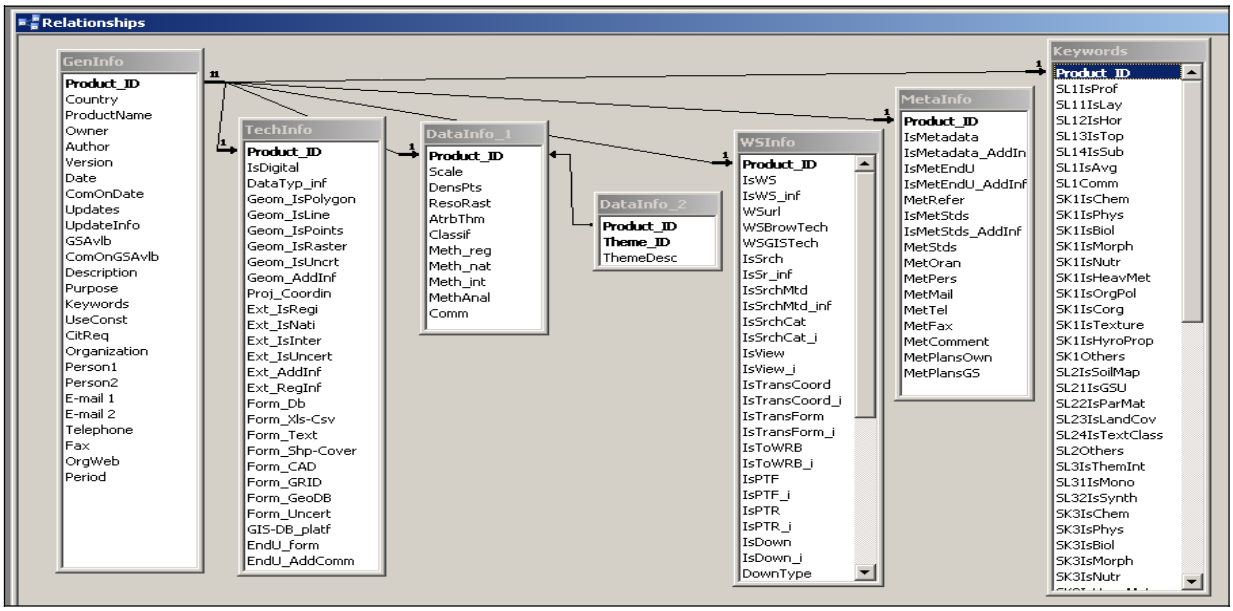
Pôdny portál http://www.podnemapy.sk predstavuje mapový server, kde môžu účastníci prostredníctvom internetu prezerať informácie o pôdnom fonde. Portál je postavený na platforme ESRI, ktorá vďaka službe ArcIMS umožňuje zobrazovať priestorové informácie formou webových máp. Pre účely zdieľania máp (na centrálnom portáli GS Soil Portal, ale aj na národných portáloch Portál NIPI, EnviroGeoPortal) je ešte potrebné vybudovať vývojové prostredie na tvorbu internetových aplikácií, ktorých hlavnou úlohou je poskytovanie priestorovo viazaných údajov vo

forme máp, rastrových snímok a vektorových objektov pre následné publikovanie prostredníctvom webových mapových služieb tzv. WMS. Ako GIS Server má byť využitý ArcGIS Server od Esri.

17.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V štruktúre národných pôdnych digitálnych informácií Slovenska publikovaných prostredníctvom služby www.podnemapy.sk je možné prehľadávať nasledovné tematické informácie bodového charakteru (pôdne sondy): Komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd Slovenska, Geochemický atlas pôd Slovenska, Čiastkový monitorovací systém – Pôda a tematické informácie vektorového polygónového charakteru (pôdne areály): Pôdna mapa Slovenska 1:400 000, Bonitované pôdno-ekologické jednotky Slovenska. Okrem uvedených informácií ktoré spĺňajú predovšetkým charakteristiku pôdnych geografických informácií a informačných sád, je možné prehľadávať a dopytovať informácie charakterizované ako produkty účelovo orientované na špecifickú požiadavku (kontaminácia, produkcia, ochrana atď.). Uvedené produkty využívajú zdrojové údaje pôdnych geografických informácií a informačných sád spolu so špecifickým modelom určeným k účelovej interpretácii zvoleného produktu. Tie postihujú širokú škálu aplikácií, zameraných predovšetkým na aspekty využívania a ochrany poľnohospodárskej pôdy (register pôdy – LPIS, areály chránených poľnohospodárskych pôd, aplikáciu kalov a sedimentov, nitrátová direktíva, imobilita a transport kontaminantov a pod.), ďalej na produkčnú charakteristiku poľnohospodárskych pôd (produkčný potenciál, potenciálna produkcia fytomasy, bilancia organickej hmoty v orných pôdach) a hodnotu pozemkov pre pozemkové úpravy.

Pre vytvorenie národného tematického pôdneho inventára a tematického katalógu pre potreby posúdenia strategického vývoja geoúdajov v súlade s INSPIRE – služby, pre európske pôdne údaje GS-Soil bol použitý štruktúrovaný formulár (obr.2) v prostredí MS Access, zahrňujúci nasledovné časti: 1. všeobecné informácie, 2. technické informácie, 3. tematické informácie, 4. informácie o webových službách, 5. informácie o metadátach, 6. kľúčové slová. Pre každý z formulárov je definovaná sada informácií bližšie špecifikujúca dané okruhy.

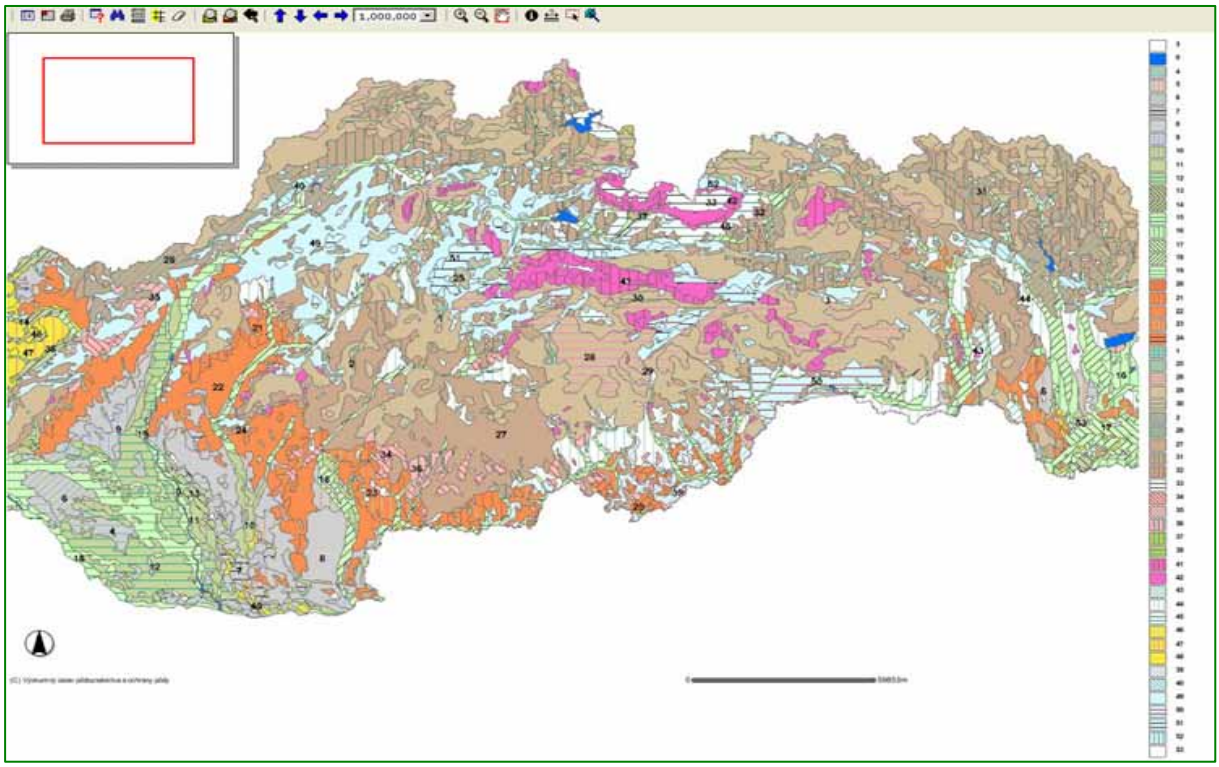


Obr. 2 Ukážka tematického katalógu s charakteristikou vzťahov jeho jednotlivých častí.

Pre testovanie integrity pôdnych priestorových údajov bola vybraná digitálna vrstva Pôdna mapa Slovenska (1:400 000) (obr. 3), ktorá vznikla digitalizáciou analógového mapového podkladu Pôdna mapa Slovenska, 1:400 000 (Hraško *et al.,* 1993). Výsledkom je vektorová dátová vrstva obsahujúca 1859 uzavretých polygónov reprezentujúcich pôdne areály (vrátane 16 polygónov reprezentujúcich vodné plochy). Minimálna veľkosť polygónu je 0,2 km^2, maximálna 1 427,8 km^2. Priemerná hodnota polygónu je 26,4 km^2 čo predstavuje vychýlený odhad strednej hodnoty, keďže 50 % uzavretých

polygónov má veľkosť do 7,6 km^2 (medián) a 75 % uzavretých polygónov má veľkosť do 19,4 km^2 (horný kvartil).

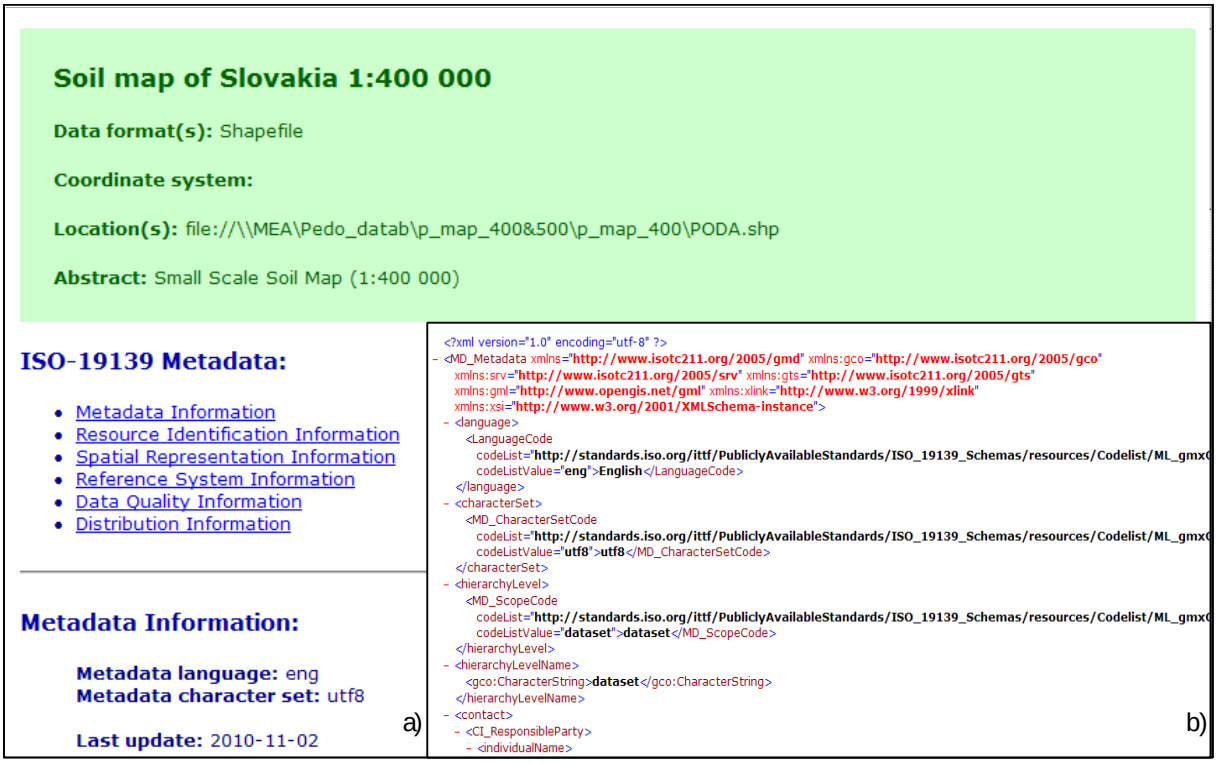
Každý z polygónov je súčasťou jednej z 57 klasifikačných pôdnych jednotiek, pričom je definovaných 13 základných pôdnych typov. Nomenklatúra pôdnych jednotiek vychádza z Morfogenetického klasifikačného systému pôd ČSFR 1991 (Hraško, *et al.* 1991), s transpozíciou do FAO klasifikácie *Elements of the Legeng for the Soil Map of European Scale* 1:1 000 000 (FAO, 1970) a podľa *Key to Soil Units for the Soil Map of the World* (FAO, 1970). Pre potreby sémantickej harmonizácie v narastajúcej informačnej spoločnosti v medzinárodnom kontexte je potrebné zosúladiť spoločné porozumenie. Ako dobrá cesta na zabezpečenie štandardizovaného vedeckého jazyka sa javí vybudovanie spoločného mnohojazyčného tezauru (slovníka poskytujúceho zoznam synoným, niekedy aj antoným) s primárnym anglickým jazykom a prekladmi do ostatných jazykov. Súčasťou pôdneho tezauru majú byť v súčasnosti už vyvinuté slovníky ako Gamet (*General Multilingual Environmental Thesaurus*) a referenčné materiály ako Pôdny slovník ISO 11074, *World reference base for soil resources* (WRB) koncept (IUSS Working group WRB, 2006) a iné. Vzhľadom na viacznačnosť v použitých vstupných materiáloch (Gamet už sám o sebe obsahuje množstvo pôdnych záznamov) je potrebné v navrhovanom tezaure kontrolovať existujúce a navrhované vzájomné prepojenia pre potrebu budovania pôdneho špecifického tezauru.



Obr. 3 Digitálna vrstva Pôdna mapa Slovenska 1:400 000 (Hraško, J., Linkeš, V., Šály, R., Šurina, R., 1993), testovacia vrstva digitálneho pôdneho priestorového údaju pre GS Soil Portal

Jeden z kľúčových elementov nevyhnutných pre vytvorenie infraštruktúry pre priestorové informácie predstavujú metaúdaje a metainformačný systém. Vďaka tomuto systému dostávame základné informácie o údajoch, ktoré sa následne môžu využiť pre ďalšiu prácu. Metaúdaje pre doménu, ktorá sa zaoberá spracovaním geografických údajov sú metaúdaje definované nielen ako údaje popisujúce obsah, vlastnosti a obmedzenia geoúdajov, ale najmä ako údaje, ktoré poskytujú informácie o dátovom zdroji resp. O službách sprostredkujúcich hľadané geoúdaje. Dôležitým faktom zvyšujúcim dostupnosť geoinformácií je koordinovaný postup zúčastnených subjektov a zavádzanie všeobecných pravidiel. Deje sa tak prostredníctvom implementácie medzinárodných štandardov ISO, európskych noriem CEN a národných noriem STN (http://geo.enviroportal.sk).

Budovanie kompatibilných INSPIRE metadátových profilov pre digitálne pôde údaje, údajové sady a služby zahrňujú záväzné a podmienené metadátové prvky pre priestorové údaje a priestorové údajové sady (*Regulation 1205/2008/EC*) ako aj pôdno-špecifické povinné a podmienené metadátové prvky a voliteľné prvky. Takisto existujú záväzné a podmienené metadátové prvky pre priestorové služby (*Regulation 1205/2008/EC*) ako aj pôdno-špecifické povinné a podmienené metadátové prvky pre priestorové služby. Pôdno-špecifické povinné a podmienené metadátové prvky zahrňujú referenčný koordinačný systém, typ a charakter kódovania, zdrojový názov a zdrojový dátum mapovania. Pôdno- špecifické voliteľné metadátové prvky zahrňujú typ priestorovej reprezentácie, podmienky *on-line* digitálneho prepojenia, topologickú úroveň, zdroj mierky mapovania a kvalitu dát (kompletnosť, polohová a tematická presnosť).



Obr. 4 Metadátový INSPIRE- kompatibilný profil digitálnej vrstvy Pôdna mapa Slovenska 1:400 000 podľa štandardu ISO 19115/19139 a) štýl zobrazenia INSPIRE ISO 19139 formát pre ArcGIS b) štýl zobrazenia xml formát

Metadátový profil pre testovaciu vrstvu Pôdna mapa 1: 400 000 bol vytvorený v prostredí ESRI ArcCatalog, pomocou INSPIRE Metadata Editora, ktorý už v sebe obsahuje INSPIRE ISO 19139 prekladanie, ktoré definuje: v zmysle normy ISO 19115 ako majú byť metadáta zaznamenané na popis digitálnych geografických údajov, v zmysle normy ISO 19139 ako majú byť ISO 19115 metadáta ukladané do xml formátu. Základné elementy vytvoreného metadátového profilu predstavujú: i) všeobecné informácie (ako typ zdrojovej informácie, názov, jazyk atď.); ii) zdroj (identifikátor, lokátor); iii) kontakt; iv) história datasetu; v) kvalita údajov; vi) obmedzenia; vii) identifikácia datasetu (ako klasifikácia datasetu a služby, kľúčové slová, mierka a pod.); viii) priestorové informácie (ako koordinačný systém, geografické vymedzenie, prídavné informácie a pod.); ix) údaje o distribúcii (ako úvod, distribútor, digitálna publikácia, formát publikácie a pod.).

Vytvorený metadátový profil (XML) bol validovaný voči EN ISO 19139 využívajúc schéma na nasledovnom linku http://www.inspire-geoportal.eu/index.cfm/pageid/48. Všetkých 30 vytvorených elementov metadátového profilu bolo validovaných ako platné prvky. Uvedený metadátový profil je takto možné publikovať (importovať) v metainformačnom katalógu napríklad na stránke EnviroGeoPortálu, ktorý predstavuje jeden zo stavebných kameňov eNIPI – environmentálnej národnej infraštruktúty pre priestorové informácie, ktorá prispieva do NIPI.

Vďaka základným informáciám o údajoch (metaúdajom) je potom možné budovanie ďalších prvkov zabezpečujúcich podmienky interoperability geografických údajov a služieb v národnej (ale aj medzinárodnej) infraštruktúre pre priestorové informácie.

17.4 ZÁVER

Digitálne pôdne priestorové údaje Slovenska slúžia širokej vrstve užívateľov z radov poľnohospodárskych subjektov, akademickej obce, rezortných pracovísk štátnej a verejnej správy, nevládnych organizácií, občianskych združení aj laickej verejnosti. Vybudovaním štruktúry umožňujúcou efektívnu tvorbu a zdieľanie priestorových údajov ako nevyhnutnej súčasti rozvoja informačnej spoločnosti je možné pôdne priestorové informácie integrovať do národnej infraštruktúry pre priestorové informácie a tak zviditeľniť a identifikovať pedosféru v rámci ostatných geosfér na národnej úrovni.

Takisto je možné integrovať geografické pôdne údaje na medzinárodnej úrovni, podávajúc obraz o pôdnom kryte na Slovensku v celoeurópskom a celosvetovom kontexte. Významným spojovníkom v harmonizácii medzinárodných údajov predstavuje budovanie mnohojazykového tezauru, definícia a využívanie štandardov pre identifikáciu kvality poskytovaných údajov (kompletnosť, polohová a tematická presnosť), organizovanie spoločných pracovných stretnutí a konferencií. Takto je možné vytvoriť podklad pre štandardizované a harmonizované informačné zdroje poznatkov prostredníctvom verejne dostupného celosvetového systému vzájomne prepojených počítačových sietí, internetu.

Literatúra

COMMISSION REGULATION (EC) No 1205/2008 of 3 December 2008 implementing Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council as regards metadata.

EU INSPIRE DIRECTIVE (2007/2/EC) establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community.

FAO 1970. *Elements of the Legend for the Soil Map of Europe at Scale 1: 1 000 000*. Rome, 1970.

FAO 1970. *Key to Soil Units for the Soil Map of the World*, Rome, 1970.

GS Soil [online]. © 2010 eContentplus GS Soil [cit. 2010-09-21]. Dostupné na internete. http://www.gssoil.eu/

GS Soil Portal [online]. Copyright © Koordinierungsstelle PortalU im Nds. Ministerium für Umwelt und Klimaschutz [cit. 2010-09-21]. Dostupné na internete. http://www.gssoil-portal.eu/

HRAŠKO J., LINKEŠ V., ŠÁLY R., ŠURINA B. 1993. *Pôdna mapa Slovenska, 1:400 000*. VÚPOP, SÚGKK, Slovenská kartografia, Bratislava.

HRAŠKO J., NĚMEČEK J., ŠÁLY R., ŠURINA B. 1991. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd ČSFR. Bazálna referenčná taxonómia*. VÚPÚ Bratislava, 1991, 106s.

IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome. 128pp.

EnviroGeoPortal [online]. SAŽP, © 2010 [cit. 2010-09-21]. Dostupné na internete. http://geo.enviroportal.sk/

Portál NIPI [online]. Prif UK Bratislava, © 2004-2007 [cit. 2010-09-21]. Dostupné na internete. http://www.geonet.sk/.

Pôdny portál [online]. VÚPOP, © 2004-2010 [cit. 2010-09-21]. Dostupné na internete. http://www.podnemapy.sk/

KOLEKTÍV 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. VÚPOP Bratislava, 2000, 76s.

Zákon č. 3/2009 Z.z. o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie.

18. PRIESTOROVÁ VARIABILITA A VÝVOJ ACIDIFIKÁCIE NA MONITOROVACEJ LOKALITE

18 Spatial variability and development of acidification on monitoring locality

Jarmila Makovníková, Miloš Širáň*

ABSTRAKT
Mapovanie priestorovej variability hodnôt priameho indikátora acidifikácie (pH v H_2O a pH v $CaCl_2$) na kľúčovej lokalite Istebné (kambizem pseudoglejová, využívaná ako orná pôda), ktorá je súčasťou siete Čiastkového monitoringu pôd, sme uskutočnili na 17 odberových miestach umiestnených vo vzdialenosti 5 m a 10 m od stredu monitorovanej lokality v ôsmich smeroch smerovej ružice svetových strán v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm. Rozdiely hodnôt jednotlivých odberov od priemernej hodnoty celého súboru sa pohybovali od -0,49 do +0,33 v prípade aktívnej pôdnej reakcie a od -0,61 do +0,46 v prípade výmennej pôdnej reakcie v hĺbke 0 – 10 cm a od -0,63 do +0,39 v prípade aktívnej pôdnej reakcie a od -0,84do +0,55 v prípade výmennej pôdnej reakcie v hĺbke 35 – 45 cm. Priestorová variabilita hodnôt pH v H_2O na tejto lokalite definovaná variačným koeficientom bola 4,287 % v hĺbke 0 – 10 cm a 4,096 % v hĺbke 35 – 45 cm. S využitím programu Surfer 7 sme získali priestorový model variability indikátorov acidifikácie na monitorovacej lokalite v hĺbke 0 – 10 cm a v hĺbke 35 – 45 cm. Na základe obojstranného konfidenčného intervalu pre strednú hodnotu a miery neurčitosti analytického stanovenia hodnôt pH v H_2O a pH v $CaCl_2$ sme stanovili interval preukaznosti zmien indikátorov acidifkácie časových radov na kľúčovej monitorovacej lokalite. Prekrytím vývojových časových radov s intervalom preukazných zmien sme stanovili vývojové zmeny hodnôt priameho indikátora acidifikácie v čase na monitorovacej lokalite Istebné. V priebehu rokov 1995 – 2009 v siedmich rokoch došlo k preukazným zmenám hodnôt aktívnej pôdnej reakcie, pričom v štyroch rokoch 1998, 2001, 2005 a 2009 išlo o negatívne zmeny, zníženie hodnôt pôdnej reakcie. Pri porovnaní hodnôt priameho indikátora pH v H_2O v roku 1995 a v roku 2009 ide o pokles hodnoty pôdnej reakcie o 0,99 jednotiek, t.j. prechod zo slabo kyslej do kyslej oblasti so zvýšenou mierou negatívnych dôsledkov acidifikácie.
Kľúčové slová: priestorová variabilita pôdnej reakcie, indikátor acidifikácie, konfidenčný interval

ABSTRACT
Detail spatial variability mapping of direct indicators of acidification (pH v H_2O a pH v $CaCl_2$) were realized on key monitoring locality Istebné (Stagnic Cambisol used as arable land) what is a part of Partial Soil Monitoring Network. Tested 17 samples were collected in 5 m and 10 m distances from centre of locality in eight direction of cardinal points in depth 0 – 10 cm and 35 – 45 cm. Differences between individual soil samples values and arithmetic mean of data file range from -0.49 to +0.33 in the case of active pH value and from -0.61 to +0.46 in the case of exchange pH value (in the depth 0 – 10 cm. Differences in the depth 35 – 45 cm moved from -0.63 to +0.39 in the case of active pH value and from -0.84 to +0.55 in the case of exchange pH value. Spatial variability of pH value (in H_2O) defined by coefficient of variation was 4.287 % in the depth 0 – 10 cm and 4.096 % in the depth 35 – 45 cm. Spatial variability models of soil reaction (in the depth 0 – 10 cm and 35 – 45 cm) were done in the soft. Surfer7. On the base of confidence interval and uncertainly rate of pH value measure methodology (pH in H_2O and pH in $CaCl_2$) intervals of significant changes were determined. Time series of pH value were overlap with intervals of significant changes to obtain significant pH value changes. The pH value changes were significant in seven years (during the period 1995 – 2009). Negative changes (decrease of pH value) were observed in 1998, 2001, 2005 and 2009 years. Difference between pH value in 1995 year and pH value in

* RNDr. Jarmila Makovníková, CSc., Ing. Miloš Širáň, PhD., Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, SR, e-mail: j.makovnikova@vupop.sk

2009 year was 0.99 that means shift of p-value to acid area with increased rate of all negative impacts of acidification.
Key words: spatial variability of pH value, indicator of acidification, confidence interval

18.1 ÚVOD

Acidifikácia pôd patrí podľa zákona č. 220/2004 Z.z. k degradačným procesom. Každý vlastník poľnohospodárskej pôdy je preto povinný vykonávať vhodné agrotechnické opatrenia zamerané na zachovanie kvality pôdy a ochranu pred jej poškodením a degradáciou. Aj keď je acidifikácia vratným procesom, dôsledky acidifikácie v agroekosystéme sú nevratné. Degradačný proces acidifikácie pôd je determinovaný priamymi a nepriamymi indikátormi (Makovníková, 2007). Priamym indikátorom stavu acidifikácie pôdy je hodnota pôdnej reakcie. Pôdna reakcia indikuje acido-bázické reakcie v pôde a je výsledkom celkovej bilancie iónov v pôdnom roztoku. Optimálna hodnota pôdnej reakcie patrí ku kľúčovým aspektom pri hodnotení kvality pôdy (Johnston, 2004) ako aj pri hodnotení produkčných a environmentálnych funkcií pôdy (Makovníková, Barančíková, Pálka, 2007, Makovníková, Barančíková, 2009). Sledovanie acidifikačných tendencií vyplývajúcich zo zmien hodnôt pôdnej reakcie (aktívnej a výmennej) je jednou z úloh monitoringu pôd.

Systém monitorovania pôd je založený na sieti monitorovacích lokalít (základnej sieti a sieti kľúčových lokalít) a zaznamenáva časové zmeny vybraných vlastností pôd. Stred monitorovacej plochy je charakterizovaný pedologickou sondou s jej morfologickým popisom a identifikačným údajmi. Monitorovacie lokality sú geodeticky zamerané v sústave JTSK (Kobza a kol., 2009). Monitoring na kľúčových lokalitách zabezpečuje podrobné kontinuálne sledovanie pôdnych parametrov so zohľadnením priestorovej variability a to na ploche kruhového tvaru o polomere 10 m a celkovej ploche 314 m^2 v 1-ročných intervaloch v jarnom období. Barrenstein Leuchs (1991) pokladajú odberovú plochu do 400 m^2 za dostatočnú pre charakteristiku kľúčovej lokality. Odber pôdnych vzoriek sa uskutočňuje v sonde umiestnenej v strede monitorovacej lokality a okrem toho zo štyroch separátnych miest, z náhodne určených miest z plochy monitorovacej lokality. V monitoringu pôd je nevyhnutné sledovať tendencie zmien sledovaných parametrov aj so zohľadnením priestorovej heterogenity. Pri analýze časových radov a stanovení preukazných zmien je preto dôležité poznať priestorovú variabilitu konkrétneho parametra a to na konkrétnej lokalite, aby sa rozdiely v priestore nezamieňali za nevratné vývojové zmeny v čase, čím by sa vytvárali neobjektívne informácie o vývoji pôd

18.2 MATERIÁL A METÓDY

Lokalita Istebné, (obr. 1) kambizem pseudoglejová vyvinutá na flyši, stredne ťažká pôda, so stredným obsahom humusu, sa nachádza vo Veličianskej doline v Stredných Beskydoch v oblasti Oravskej vrchoviny. Lokalita Istebné sa využíva ako orná pôda, v období monitorovania sa na lokalite striedala obilnina s dočasnou ďatelinotrávnou miešankou (4 až 5-ročné porasty).

Mapovanie priestorovej variability hodnôt priameho indikátora acidifikácie (pH v H_2O a pH v $CaCl_2$) na kľúčovej lokalite Istebné sme uskutočnili na jar v roku 2009 podľa polárneho rastra (ISO/CD 10 381, 1992) na 17 odberových miestach umiestnených vo vzdialenosti 5 m a 10 m od stredu monitorovanej lokality v ôsmich smeroch smerovej ružice svetových strán v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm.. V odobratých vzorkách bola stanovená aktívna pôdna reakcia, výmenná pôdna reakcia (roztokom neutrálnej soli $CaCl_2$) potenciometricky (Fiala, a kol., 1999).

Štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v programe STATGRAPHIC 5.0, grafické spracovanie v programe Surfer7.

Obr. 1 Lokalita Istebné

18.3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnotenie pôdnej reakcie na kľúčovej lokalite Istebné, kambizem využívaná ako orná pôda, z hľadiska zachovania predpokladov štatistického hodnotenia vyhovovalo podmienkam normality rozdelenia (Shapiro-Wiksov test), preto sme sledované parametre charakterizovali popisnou štatistikou normálneho rozdelenia (tab. 1, tab. 2).

Tab. 1 Popisná štatistika hodnôt pH v H_2O v hĺbke 0 – 10 cm a v hĺbke 35 – 45 cm

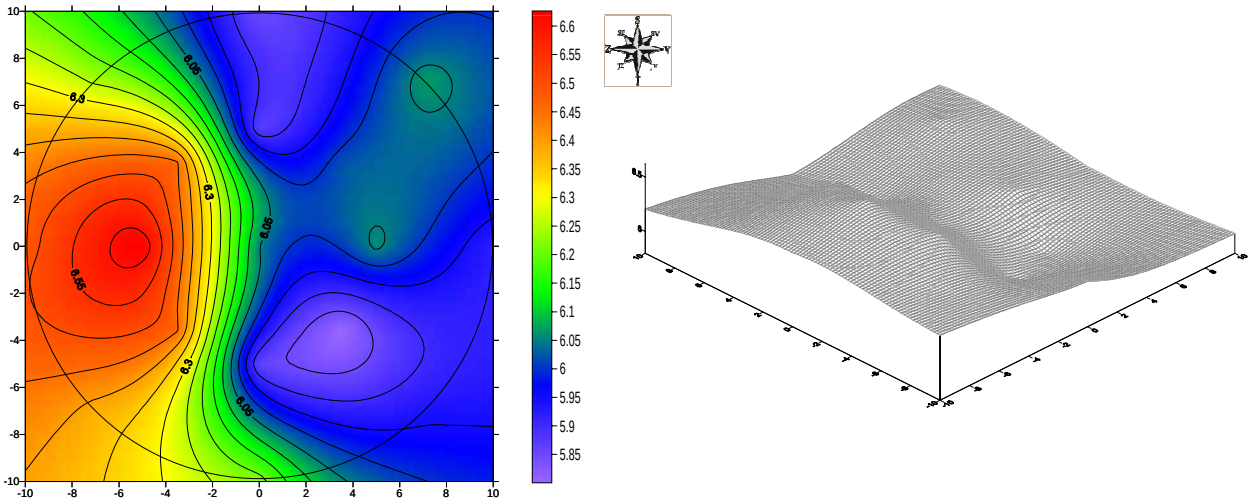
Štatistické parametre	**pH v H2O v hĺbke 0 – 10 cm**	**pH v H2O v hĺbke 35 – 45 cm**
priemer	6,136	6,688
minimum	5,800	6,290
maximum	6,630	7,320
stredná kvadratická odchylka	0,263	0,274
variačný koeficient v %	4,287	4,096
Shapiro-Wilksov test	0,131	0,482

Tab. 2 Popisná štatistika hodnôt pH v $CaCl_2$ v hĺbke 0 – 10 cm a v hĺbke 35 – 45 cm

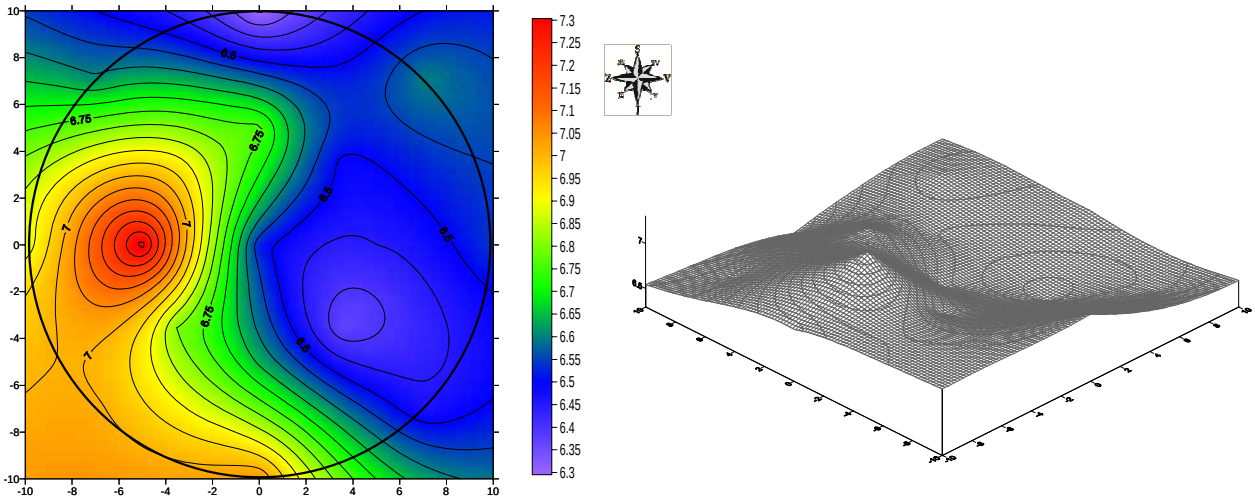
Štatistické parametre	**pH v CaCl2 v hĺbke 0 – 10 cm**	**pH v CaCl2 v hĺbke 35 – 45 cm**
priemer	5,834	6,390
minimum	5,370	5,840
maximum	6,450	7,230
stredná kvadratická odchylka	0,351	0,374
variačný koeficient v %	6,003	5,866
Shapiro-Wilksov test	0,147	0,159

Hodnota pôdnej reakcie patrí k parametrom pôdy s nižšou priestorovou variabilitou v porovnaní s obsahom prístupných živín ako aj obsahom organického uhlíka (Deurer, Bottcher, 2007; Penížek, Rohošková, 2004), zmeny pH v intervale od 0,5 do 1 na transektoch od 0 do 100 m udáva Hédl a kol. (2004). Variačný koeficient pre hodnotu pH sa pohyboval od 4, 096 % do 6,003 %, s mierne vyššími hodnotami v hĺbke 0 – 10 cm ako aj v prípade pH v CaC_2 v porovnaní s pH v H_2O.

Pomocou Surfer7, s aplikáciou krígingu s autokoreláciou susedných bodov sme získali priestorový model plošnej variability priamych indikátorov acidifikácie na monitorovacej lokalite v hĺbke 0 – 10 cm (obr. 2) a v hĺbke 35 – 45 cm (obr. 3).



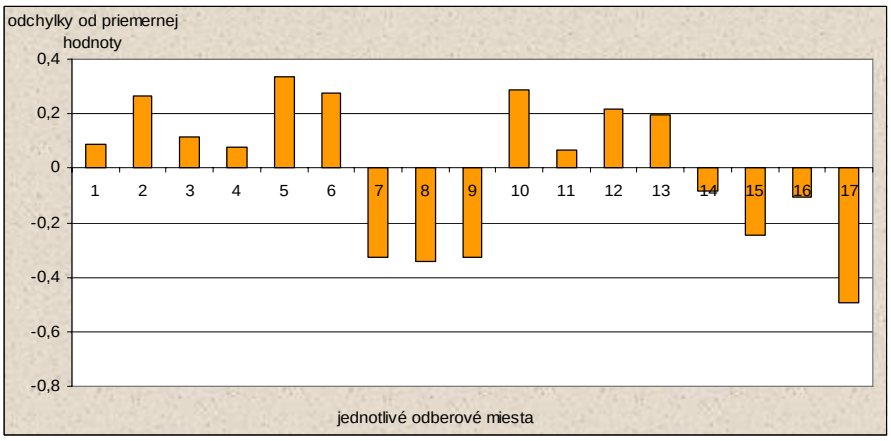
Obr. 2 Priestorový model variability pH v H_2O v hĺbke 0 – 10 cm na monitorovacej lokalite



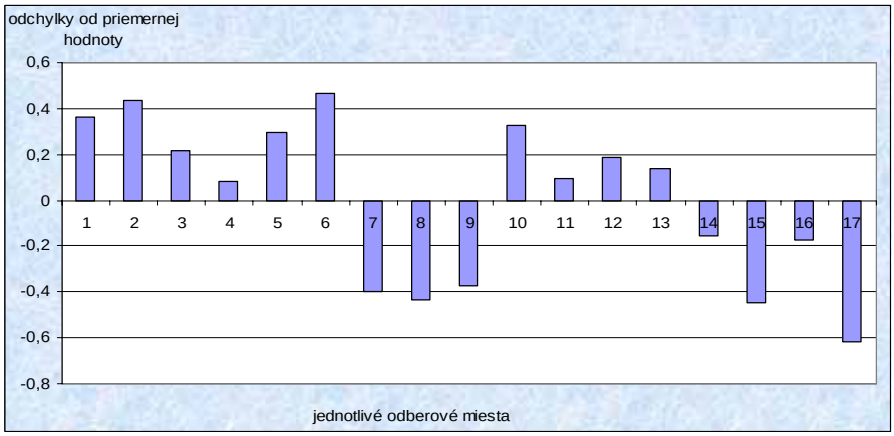
Obr. 3 Priestorový model variability pH v H_2O v hĺbke 35 – 45 cm na monitorovacej lokalite

Priestorové rozloženie hodnôt pH v H_2O na lokalite Istebné je rozdielne v severovýchodnej časti lokality, kde sa hodnoty v hĺbke 0 – 10 cm pohybujú od 5,80 do 6,10, oproti juhozápadnej časti lokality, kde sú všetky hodnoty pH vyššie. Podobná situácia je aj v hĺbke 35 – 45 cm.

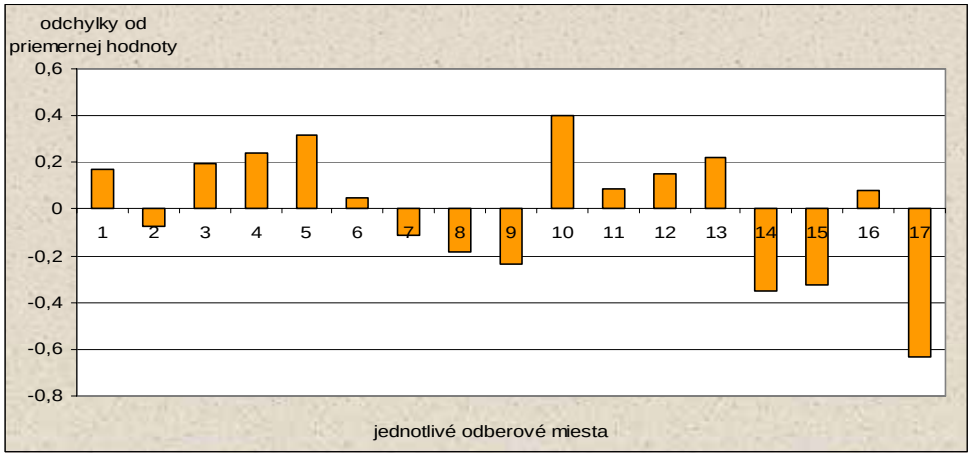
Rozdiely hodnôt jednotlivých odberov od priemernej hodnoty celého súboru (obr. 4a, 4b a obr. 5a, 5b) sa pohybovali od -0,49 do +0,33 v prípade aktívnej pôdnej reakcie a od -0,61 do +0,46 v prípade výmennej pôdnej reakcie v hĺbke 0 – 10 cm. Vyššie rozdiely sme stanovili v hĺbke 35 – 45 cm, a to od -0,63 do +0,39 v prípade aktívnej pôdnej reakcie a od -0,84do +0,55 v prípade výmennej pôdnej reakcie.



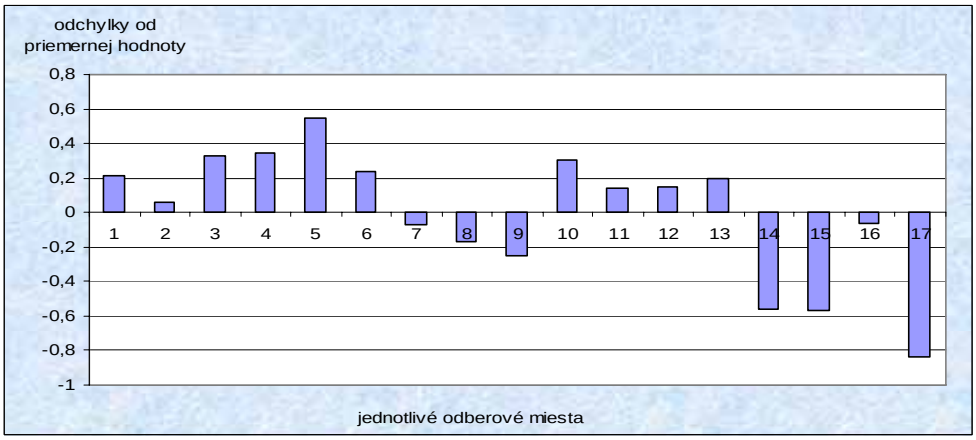
Obr. 4 a Rozdiely jednotlivých odberov od priemernej hodnoty pre pH v H_2O v hĺbke 0 – 10 cm



Obr. 4 b Rozdiely jednotlivých odberov od priemernej hodnoty pre pH v $CaCl_2$ v hĺbke 0 – 10 cm



Obr. 5a Rozdiely jednotlivých odberov od priemernej hodnoty pre pH v H_2O v hĺbke 35 – 45 cm



Obr. 5b Rozdiely jednotlivých odberov od priemernej hodnoty pre pH v $CaCl_2$ v hĺbke 35 – 45 cm

Priestorovú variabilitu priameho indikátora acidifikácie na monitorovacej lokalite sme využili ako podklad pre vymedzenie intervalu preukazných zmien vývojových časových radov.

Obojstranný konfidenčný interval pre aritmetický priemer **μ** normálneho rozdelenia na hladine pravdepodobnosti 95 % bol stanovený v programe STATGRAPIHCS 5.0 podľa vzorca:

$$\mathbf{x - 2\,\sigma/\sqrt{n} \le \mu \le x + 2\sigma/\sqrt{n}},$$

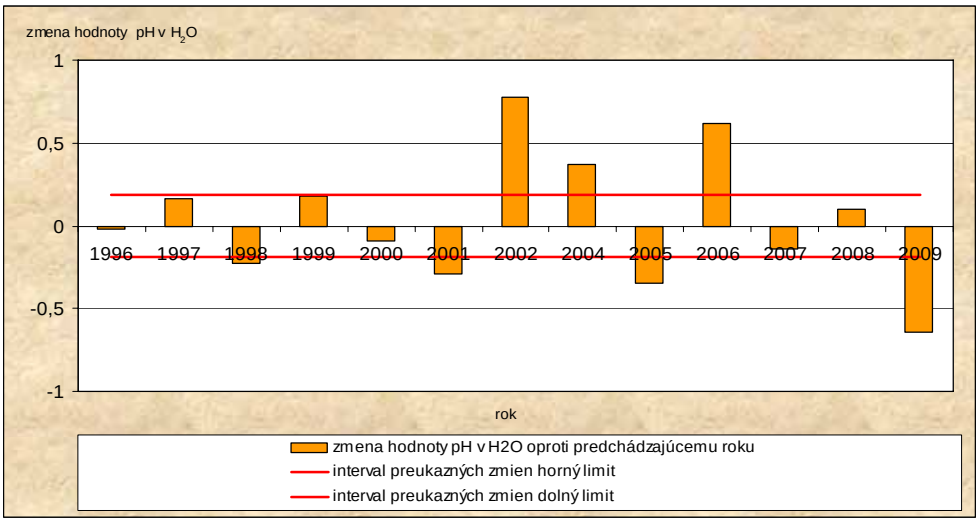
kde stredná kvadratická odchýlka odhadu σ je definovaná ako súčet druhej mocniny vychýlenia odhadu a disperzie odhadu a n je počet meraní.

Na základe obojstranného konfidenčného intervalu pre strednú hodnotu a miery neistoty analytického stanovenia hodnôt pH v H_2O a pH v $CaCl_2$ (± 0,02 až ± 0,05, Fiala a kol., 1999) sme stanovili interval preukaznosti zmien indikátorov acidifkácie časových radov na kľúčovej monitorovacej lokalite Istebné (tab. 3). Konfidenčné intervaly a intervaly preukazných zmien pre jednotlivé parametre a hĺbky sú v tab. 3.

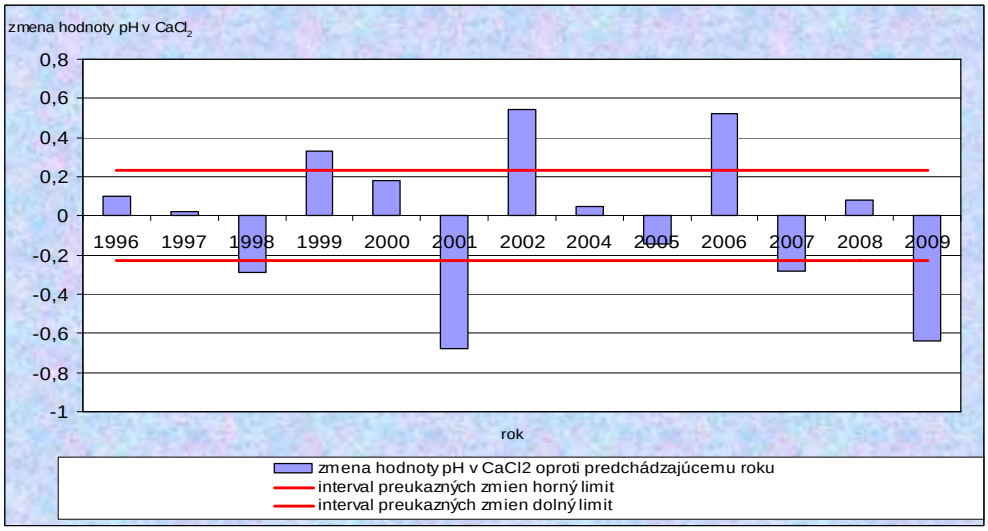
Tab. 3 Konfidenčné intervaly a intervaly preukazných zmien pre pH v H_2O a pH v $CaCl_2$

Parameter	Konfidenčný interval		Interval preukazných zmien
pH v H2O v hĺbke 0 – 10 cm	6,006 – 6,271	6,136±0,135	±0,185
pH v H2O v hĺbke 35 – 45 cm	6,547 – 6,829	6,688±0,141	±0,191
pH v CaCl2 v hĺbke 0 – 10 cm	5,655 – 6,015	5,834±0,180	±0,230
pH v CaCl2 v hĺbke 35 – 45 cm	6,197 – 6,583	6,390±0,193	±0,243

Prekrytím zmien hodnôt pôdnej reakcie v časových radoch s sme stanovili preukazné zmeny hodnôt priameho indikátora acidifikácie v čase (napr. zmena v roku 1996 = hodnota pH v roku 1996 – hodnota pH v roku 1995) na monitorovacej lokalite Istebné v hĺbke 0 – 10 cm (obr. 6, obr. 7).



Obr. 6 Zmeny hodnôt pH v H_2O v čase na monitorovacej lokalite Istebné v hĺbke 0 – 10 cm



Obr. 7 Zmeny hodnôt pH v $CaCl_2$ v čase na monitorovacej lokalite Istebné v hĺbke 0 – 10 cm

V priebehu rokov 1995 – 2009 v siedmich rokoch došlo k preukazným zmenám hodnôt aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie, pričom v štyroch rokoch 1998, 2001, 2005 a 2009 išlo o negatívne zmeny, zníženie hodnôt pôdnej reakcie. K zníženiu hodnôt pôdnej reakcie došlo v rokoch pestovania ďatelinotrávnej miešanky. Najvýraznejšia negatívna zmena nastala v roku 2009. Pri porovnaní konkrétnych hodnôt indikátora pH v H_2O v roku 1995 a v roku 2009 ide o pokles hodnoty aktívnej pôdnej reakcie o 0,99 jednotiek, čo už znamená prechod zo slabo kyslej do kyslej oblasti so zvýšenou mierou negatívnych dôsledkov acidifikácie.

18.4 ZÁVER

V monitoringu pôd je nevyhnutné sledovať tendencie zmien sledovaných parametrov aj so zohľadnením priestorovej heterogenity. Pri analýze časových radov a stanovení preukazných zmien je preto dôležité poznať priestorovú variabilitu konkrétneho parametra a to na konkrétnej lokalite, aby sa rozdiely v priestore nezamieňali za nevratné vývojové zmeny v čase, čím by sa vytvárali neobjektívne informácie o vývoji pôd.

Literatúra

BARRENSTEIN A., LEUCHS W. 1991. Strategien und Techniken zur Gewinnung von Feststoffen. *LWA Materialen* 1/91, Probennahme bei Altlasten, Dusseldorf.

BORŮVKA L., BRODSKÝ L.2004. Moderní metody hodnocení půdní variability. In: *Pedologické dny 2004, Sborník z konference na téma Biodiverzita, (ed. Rohošková, M.) Roztoky u Krivoklátu*, ČZU Praha, str.139 – 148, ISBN 80 – 213-1248-3

DEURER M., BOTTCHER J. 2007. Evaluation of models to upscale the small scale variability of Cd sorption in a case study. *Geoderma* 137, 2007, 269-278.

FIALA, K. a kol., 1999. *Návrh metodík chemického rozboru pôd pre účely pôdneho monitoringu*. Bratislava, 60s., ISBN 80-85361-55-8

HÉDL R., PETRÍK P., BOULÍK K. 2004. Acidifikace lesních půd Jeseníku, metodologické a stanovištní vplyvy. In: *Pedologické dny 2004, Sborník z konference na téma Biodiverzita, (ed. Rohošková, M.) Roztoky u Krivoklátu,* ČZU Praha, 40-42, ISBN 80 – 213-1248-3.

JOHNSTON A.E. 2004. Soil Acidity – Resilience and Thresholds. In: Schjonning, P, Elmholt, S. Christenses, B. T. (eds.): *Managing soli quality*. CABI Publishing, 344 p., ISBN 85-1996-71-X

KOBZA J., BARANČÍKOVÁ G., ČUMOVÁ L., DODOK R., HRIVŇÁKOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., NÁČINIAKOVÁ-BEZÁKOVÁ Z., PÁLKA B., PAVLENDA 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, 2009, 200 s., ISBN 978-80-89128-54-9.

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.

MAKOVNÍKOVÁ J**.,** BARANČÍKOVÁ G**.** 2009. Assessment of transport risk of cadmium and lead on the basis of immobilisation capability of soil. *Soil and Water Research,* vol. 4, č.1, 10-16.

PENÍŽEK V., ROHOŠKOVÁ M. 2004. Variabilita vybraných půdních vlastností antropozemní výsypky Pokrok., In*: Pedologické dny 2004, Sborník z konference na téma Biodiverzita, (ed. Rohošková, M.) Roztoky u Krivoklátu*, ČZU Praha, 162-164, ISBN 80 – 213-1248-3.

ISBN 978-80-89128-90-7
9 788089 128907