



Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava

# TVORBA A HODNOTENIE POZNATKOV O VÝVOJI VLASTNOSTÍ PÔDNEHO KRYTU SR PRE EFEKTÍVNU OCHRANU PÔDY V POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINE

(záverečná správa za roky 2006-2009)



**Koordinátor výskumnej úlohy:  
doc. Ing. Jozef Kobza, CSc.**

**Bratislava, december 2009**

**Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava**

**TVORBA A HODNOTENIE POZNATKOV O VÝVOJI  
VLASTNOSTÍ PÔDNEHO KRYTU SR PRE  
EFEKTÍVNU OCHRANU PÔDY  
V POLNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINE**

**(záverečná správa za roky 2006-2009)**

**Koordinátor výskumnej úlohy:  
doc. Ing. Jozef Kobza, CSc.**

**Bratislava, december 2009**



## TITULNÝ LIST

**Riešiteľské pracovisko:** Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava

**Štatutárny zástupca:** prof. RNDr. Pavol Bielek, DrSc.

**Názov kontraktu:**

**Názov výskumnej úlohy:** Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine

**Typ výskumnej úlohy:** záverečná 2006-2009

**Zodpovedný riešiteľ:** doc. Ing. Jozef Kobza, CSc.

**Riešiteľský kolektív:** RNDr. Gabriela Barančíková, CSc.  
Mgr. Rastislav Dodok, PhD.  
Ing. Katarína Hrivňáková  
RNDr. Jarmila Makovníková, CSc.  
Ing. Jozef Mališ  
Ing. Ján Styk, PhD.  
Ing. Miloš Širáň, PhD.

**Začiatok riešenia:** I./2006

**Ukončenie riešenia:** XII./2009





## OBSAH

1. Problematika a cieľ (J. Kobza).....	7
2. Ciele riešenia úlohy výskumu (J. Kobza).....	7
3. Vecná štruktúra úlohy výskumu a vývoja (J. Kobza).....	8
4. Základné metodické postupy riešenia úlohy (J. Kobza).....	10
5. Zmeny v riešení úlohy v porovnaní s metodikami a ich zdôvodnenie (J. Kobza)..	12
6. Výsledky (Kolektív).....	13
6.1 Vývoj pôd a metódy jeho hodnotenia (J. Kobza, J. Makovníková).....	13
6.2 Acidifikácia pôd (J. Makovníková).....	18
6.3 Salinizácia a sodifikácia pôd (R. Dodok).....	29
6.4 Kontaminácia pôd (K. Hrivňáková).....	44
6.5 Obsah makro- a mikroelementov (J. Kobza).....	57
6.6 Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty (G. Barančíková).....	64
6.7 Súčasný stav a vývoj kompaktie pôd (M. Širáň, J. Mališ).....	75
6.8 Hodnotenie erózie poľnohospodárskej pôdy (J. Styk).....	89
7. Prínosy riešenia (J. Kobza).....	106
8. Realizácia výsledkov riešenia (J. Kobza).....	106
9. Plnenie úloh a uznesení z poslednej priebežnej oponentúry (J. Kobza).....	107
10. Čerpanie finančných zdrojov a porovnanie s plánom (J. Kobza).....	108
11. Súhrn (J. Kobza).....	109
12. Realizačné výstupy (Kolektív).....	110
13. Zoznam vypracovaných správ riešiteľského kolektívu k úlohe za dobu jej riešenia (Kobza a kol.).....	113
14. Zoznam publikovaných prác autora správy a riešiteľského kolektívu k predmetnej problematike za dobu riešenia úlohy (2006-2009).....	114



## 1. PROBLEMATIKA A CIEĽ

Vstupom SR so EÚ sme sa stali súčasťou Európskej pôdnej politiky. Jej úsilím je mobilizovať a akcelerovať všetky Európske výskumné a vedecké kapacity zaoberajúce sa pôdou, jej postavením, úlohou a funkciami v životnom prostredí s dôrazom na jej ochranu v snahe zachovať ju v trvalom udržateľnom stave aj pre budúce generácie. Východiskovým bodom pre efektívnu ochranu pôdy je práve poznanie aktuálneho stavu pôdných vlastností a ich vývoj v čase vo väzbe na príčiny a faktory, ktoré zmenu stavu spôsobujú. Koncepcia európskej politiky a stratégie ochrany pôdy a jej udržateľného využitia bola zakotvená v návrhu Európskej komisie (EK) na 6. Environmentálnom akčnom programe, ktorý bol prijatý Európskou radou a Európskym parlamentom dňa 22. júla 2002, kde jedna zo základných stratégií je práve pôda a sledovanie jej ďalšieho vývoja.

Hlavným cieľom riešenej problematiky je poznanie jednak najaktuálnejšieho stavu našich pôd, ako aj sledovanie tých vlastností pôd, ktoré sú rozhodujúce tak z hľadiska produkčných, tak aj mimoprodukčných funkcií pôd. Sledovaný a vyhodnocovaný bol celý rad pôdných parametrov, ktoré sú dôležité z hľadiska konkrétnych ohrození pôdy (v zmysle návrhu Európskej komisie pre monitoring pôd) – ako je kontaminácia pôdy, salinizácia a sodifikácia pôdy, úbytok pôdnej organickej hmoty, kompácia (utlačanie) a erózia pôdy. V kontexte s návrhom Európskej komisie ide o systematické sledovanie pôdných premenných vo vzťahu k ich zmenám v kvalite, ako aj ochrane pôdy a pre zabezpečenie environmentálnej kontroly.

## 2. CIELE RIEŠENIA ÚLOHY VÝSKUMU

Konkrétne ciele riešenia úlohy možno zahrnúť do nasledovných bodov:

- hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja vlastností pôd v poľnohospodárskej krajine vo väzbe na spôsob jej využívania
- priestorová identifikácia rizikových oblastí ochrany pôdy s ohľadom na jej vlastnosti, spôsob využívania a environmentálne limity
- strategické opatrenia pre zvýšenie efektívnosti ochrany pôdy v poľnohospodárskej krajine
- zabezpečenie aktuálnych informácií z tvorby a hodnotenia poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR s dopadom na environmentálnu situáciu v SR a ich následné vyhodnocovanie a poskytovanie pre decíznu sféru, orgány štátnej správy, inštitúcie a univerzity environmentálneho zamerania, ako aj pre širokú verejnosť
- priebežná aktualizácia www stránok monitoringu pôd SR (MP SR, SAŽP, MŽP SR)

Uvedené ciele sú v súlade s cieľom vecného smerovania výskumu a vývoja „Podpora trvalo udržateľného rozvoja“ a jeho treťou prioritou, zameranou na monitorovanie a analýzy produkčného potenciálu slovenskej krajiny z hľadiska očakávaných zmien a reálnych možností jej ekonomického využívania, sociálnych a environmentálnych funkcií, ako aj na nástroje pre vytváranie vhodnej štruktúry poľnohospodárskej krajiny z hľadiska jej udržateľného rozvoja.

Uvedené ciele boli riešené priebežne počas rokov riešenia úlohy 2006 – 2009.

### 3. VECNÁ ŠTRUKTÚRA ÚLOHY VÝSKUMU A VÝVOJA

Riešenie úlohy vyplývalo zo schváleného návrhu riešenie úlohy na roky 2006 – 2009. Riešenie úlohy bolo v roku 2009 realizované podľa nasledovných odborných okruhov:

#### *Vývoj pôd a metódy jeho hodnotenia*

V roku 2009 bola vypracovaná nová publikácia, ktorá zahŕňa analytické metódy a postupy aj vrátane doporučených metód Európskou komisiou pre monitoring pôd. Táto publikácia bude vydaná v Edičnom stredisku Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy v Bratislave. Súčasťou riešenia je aj vypracovanie multiplikatívnych modelových vzťahov ako aj skórovacích funkcií pre stanovenie zraniteľnosti ekologických funkcií pôd na príklade kľúčových lokalít.

#### *Acidifikácia pôd*

Cieľom riešenia tejto časti je sledovanie stavu a vývoja indikátorov acidifikačných zmien, modelovanie potenciálnej zraniteľnosti pôd vzhľadom k acidifikácii a modelovanie vertikálnej a horizontálnej variability parametrov acidifikácie na vybranej lokalite.

#### *Salinizácia a sodifikácia pôd*

Monitoring vývoja solných pôd pokračoval aj v roku 2009 na vybudovanej sieti stacionárnych monitorovacích lokalít. Intenzita procesov zasoľovania je sledovaná a hodnotená pomocou charakteristík vodného výluhu a nasýteného extraktu pôdy.

#### *Kontaminácia pôd*

Na už uvedených skupinách pôd sme analyzovali a hodnotili rizikové prvky. Súčasne na kľúčových lokalitách aj analýzy a hodnotenie organických polutantov (PAU, PCB, NEL a chlórované pesticídy, ktoré v tejto sieti zároveň overujeme).

#### *Obsah makro- a mikroelementov*

Súčasťou riešenia je stanovenie a hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja základných makroelementov (P, K, Mg) a mikroelementov (Cu, Zn, Mn) v poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

#### *Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty*

Predmetom riešenia tejto časti je hodnotenie základných kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov pôdnej organickej hmoty v poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

#### *Súčasný stav a vývoj kompaktie pôd*

Súčasťou riešenia je hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja kompaktie na orných pôdach vo vzťahu k jej limitom pre jednotlivé pôdne druhy a zmysle zákona č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a jeho aktualizovanej verzie č. 219/2008 Z.z.

### *Hodnotenie erózie poľnohospodárskej pôdy*

Riešenie v roku 2009 zahŕňalo sledovanie a vyhodnocovanie negatívneho vplyvu vodnej erózie na kvantitatívne zmeny základných pôdných parametrov (pH, Cox, zrnitosť, prístupný fosfor a draslík, objemová hmotnosť). Súčasťou riešenia je tiež modelovanie vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach s využitím empirického modelu univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE).

#### 4. ZÁKLADNÉ METODICKÉ POSTUPY RIEŠENIA ÚLOHY

Metodické postupy boli riešené špecificky vo vzťahu k jednotlivým odborným okruhom, ktoré sú zahrnuté v predchádzajúcej štruktúre úlohy. Terénne aj analytické práce prebiehali v nadväznosti na už vypracovanú publikáciu Fiala a kol., 1999 s tým, že postupne boli testované a zaraďované do sledovania postupy navrhované EÚ podľa doporučených ISO noriem, avšak tak, aby nebola prerušená kontinuita pri doterajšom sledovaní vývoja pôd. Do určitej miery sme to riešili relevantným prepočtom pri porovnávaní 2 metód (napr. pri prístupných živinách – P, K a Mg), čo sme už uvádzali v správe za rok 2008 a k čomu sme vydali samostatnú publikáciu (Kobza, Gáborík, 2008). Súčasne sme sa snažili rešpektovať aj náš Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a jeho novelou 219/2008 Z.z. Ide predovšetkým o zavedenie lúčavky kráľovskej pri kontaminácii pôd. Keďže ide o určenie celkového (totálneho) obsahu rizikových prvkov, namerané hodnoty budú slúžiť skôr k jednorázovej charakteristike pôdných monitorovacích lokalít. Pri niektorých špecifických parametroch uplatňujeme už zaužívané metódy. Súčasťou riešenia je aj príprava a finalizácia aktualizovanej verzie rozborov pôd.

Počas obdobia riešenia v rokoch 2006 – 2009 boli hodnotené vybrané pôdne predstavitelé (hlavne kambizeme na rôznych substrátoch, rendziny, černoze) podľa spôsobu ich využívania. Rok 2007 bol zároveň odberovým rokom 4. monitorovacieho cyklu, kedy boli odobrané pôdne vzorky zo všetkých 318 monitorovacích lokalít Slovenska. Odobrané pôdne vzorky sa priebežne spracúvajú, homogenizujú a analyzujú. Analyzované a hodnotené boli dôležité parametre vlastností pôd, ktoré sú významné pre konkrétne degradačné procesy pôd v zmysle návrhu a doporučení EK pre jednotný európsky monitoring pôd (Van-Camp et al., 2004) nasledovne:

##### **Kontaminácia pôd**

- Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Hg, As, Se, Co (v lúčavke kráľovskej)
- F vodorozpustný
- PAU
- PCB

##### **Acidifikácia pôd**

- pH/H<sub>2</sub>O, pH/KCl, pH/CaCl<sub>2</sub>
- výmenné kationy (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>)
- aktívny Al podľa Sokolova (len ak pH/KCl < 6,0)

##### **Salinizácia a sodifikácia pôd**

- elektrická vodivosť (ECe)
- obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP)
- sodíkový adsorpčný pomer (SAR)
- pH/H<sub>2</sub>O
- výmenné kationy a anióny (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

## **Kvantitatívne a kvalitatívne zloženie pôdnej organickej hmoty**

- $C_{ox}$
- $N_t$
- HK, FK,  $Q_6^4$
- elementárna analýza (C, H, N, O)

## **Obsah makro- a mikroelementov**

- P, K, Mg (Mehlich III.)
- Cu, Zn, Mn (DTPA)

## **Kompakcia pôdy**

- objemová hmotnosť ( $\zeta^d$ )
- pórovitosť (P)
- maximálna kapilárna kapacita (MKK)
- zrnitosť (podľa FAO)

## **Erózia pôdy**

- $^{137}Cs$
- pH/KCl
- $C_{ox}$
- P, K
- zrnitosť (podľa FAO)

Uvedené metódy sú detailne popísané v Záväzných metódach rozborov pôd pre ČMS-Pôda (Fiala a kol., 1999).

Pre vyhodnotenie nameraných údajov boli využité dané technické možnosti (hardwarové a softwarové vybavenie), pričom bude potrebné v budúcnosti počítať aj s využitím nových softwarových balíkov ohľadne modernejších matematicko-štatistických postupov a pre tvorbu výstupov v prostredí GIS.



## **5. ZMENY V RIEŠENÍ ÚLOHY V POROVNANÍ S METODIKAMI A ICH ZDÔVODNENIE**

Riešenie úlohy prebiehalo podľa schváleného východzieho projektu na roky 2006 – 2009. Sú v ňom zahrnuté všetky ťažiskové problémy, ktoré sa dotýkajú konkrétnych ohrození pôdy v zmysle návrhu EK pre monitoring pôd. Počas riešenia sme implementovali nové metódy v zmysle návrhu a doporučení EK, ako aj ISO noriem. Súčasne bola vypustená časť „Budovanie systému monitoringu pôd SR podľa európskej smernice monitoringu pôd“, pretože tento návrh bol už viac-menej implementovaný do nášho systému monitorovania a hodnotenia pôd. Tiež bola vypustená tzv. „Lokálna kontaminácia pôd“. Táto sa totiž hodnotí v rámci zaťažných regiónov (v r. 2009 sme vydali publikáciu k hodnoteniu degradačných procesov v Žiarskej kotline – Kobza a kol., 2009). Uvedené zmeny však v pravom slova zmysle nepredstavujú zmeny, pretože neboli vypustené z riešenia, zostávajú predmetom v rámci riešenia a tvorby samostatných výstupov, ktoré sú súčasťou projektu.

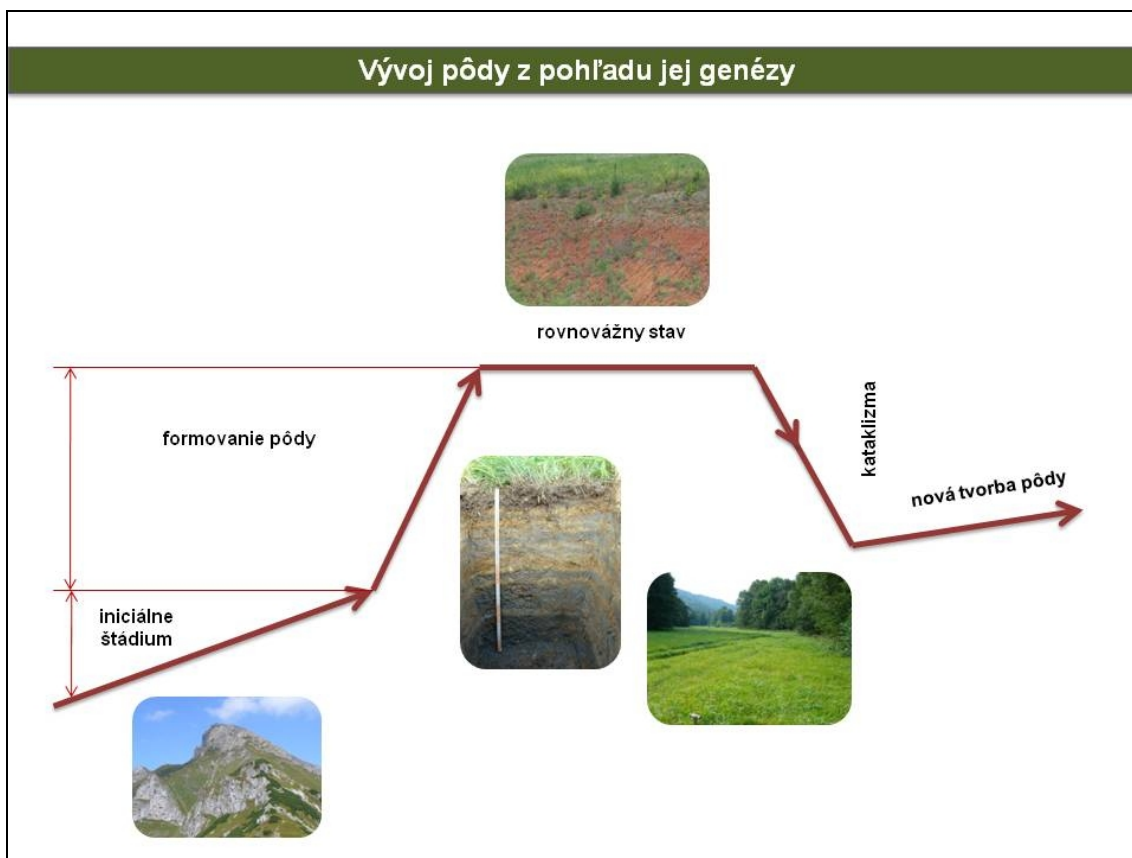
## 6. VÝSLEDKY

### 6.1 Vývoj pôd a metódy jeho hodnotenia

Pôda na rozdiel od ostatných zložiek prírodného prostredia má špecifické postavenie, pretože táto predstavuje trojfázový systém (pevná, kvapalná a plynná fáza), obsahuje minerály a organický podiel, taktiež sa vyznačuje dynamickými, pozvoľne sa meniacimi až prakticky stabilnými vlastnosťami pôd. Akákoľvek monitorovacia sieť pôd – čím obsahuje väčší počet pozorovacích stanovišť, tým prichádzame do styku so širším spektrom pôd a ich vlastností. Tieto sú totiž odrazom doterajšieho vývoja konkrétnych pôd, na ktoré nazeráme v určitom priestore a čase. Keďže Slovensko sa vyznačuje pestrým geologickým zložením, ktoré je výsledkom pestrého a často búrlivého vývoja, túto skutočnosť odráža aj pôdny pokryv, ktorý je značne členitý a heterogénny. Predovšetkým na území Slovenska nachádzame pôdy, ktoré sa nachádzajú v tzv. iníciaľnom štádiu svojho vývoja (napr. mnohé fluvizeme, ako aj plytké pôdy vysokohorských polôh, kde plytký pôdny pokryv je často rozrušovaný nepriaznivými klimatickými podmienkami), na druhej strane sú to pôdy oveľa staršie, ktoré už vo svojom vývoji dosiahli tzv. štádium klimaxu, a teda dosiahli určitý rovnovážny stav pôdnych vlastností. Jedná sa hlavne o pôdy – pozostatky starej kôry zvetrávaním (napr. niektoré rubefikované pôdy, ale aj pôdy s výrazným zastúpením ílových minerálov typu kaolinitu, ktorý sa v súčasných podmienkach mierneho klimatického pásma netvorí, ale je reliktom z dôb, kedy u nás prevládali klimatické podmienky blízke súčasným subtropickým oblastiam – napr. pôdy Točnickej formácie, ale aj ďalšie).

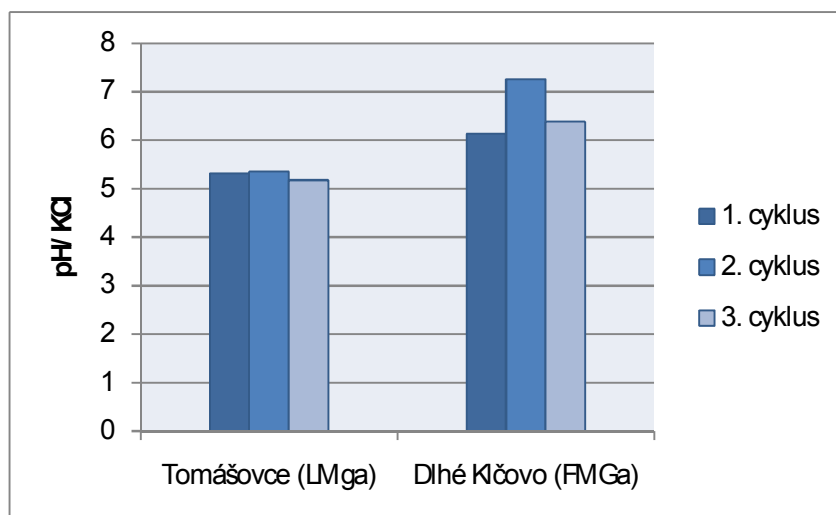
Na nasledovnej schéme je znázornená vývojová hierarchia rôznych vývojových štádií pôd (jedná sa o lokality základnej monitorovacej siete pôd Slovenska), ktoré sa odlišujú rozdielnym charakterom i vývojom vlastností pôd.

Obr. 1

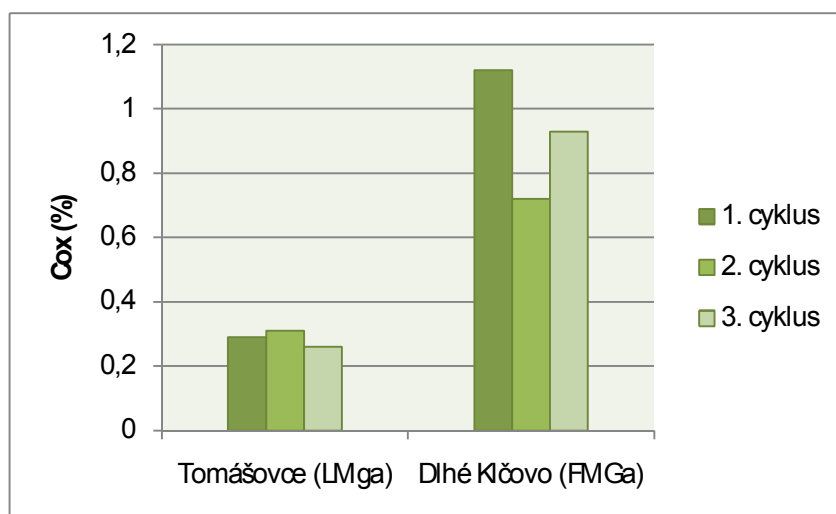


Na nasledovných obrázkoch 2–3 je znázornený príklad vekovo dvoch odlišných pôd, a to na vekovo starších neogénnych polohách z oblasti Točnickej formácie (Tomášovce pri Lučenci), ako aj na vekovo mladších fluviálnych sedimentoch (Dlhé Klčovo v povodí rieky Ondava), kde na príklade dvoch vybraných parametrov (pH/KCl a Cox) chceme poukázať na ich určitú vývojovú odlišnosť, danú genézou uvedených pôd.

**Obr. 2** Vývoj pH/KCl v podornici (35-45 cm)



**Obr. 3** Vývoj Cox v podornici (35-45 cm)



Vybrané parametre sú hodnotené len v podornici (35-45 cm), pretože ornica je výraznejšie ovplyvnená kultivačnou činnosťou človeka, najmä orbou, ale aj hnojením, príp. i vápnením. Hodnoty pôdnej reakcie (pH/KCl) sú v podornici luvizeme pseudoglejovej kultizemnej (LMGa) pomerne vyrovnané, viac variabilnejšie sú v podornici fluvizeme glejovej kultizemnej (FMGa), čo môže byť ovplyvnené heterogenitou fluviálnych sedimentov rieky Ondavy. Hodnoty pôdnej reakcie na LMGa sú pomerne nízke, aj keď sa jedná o ornú pôdu. Lokalita sa totiž nachádza v oblasti Točnickej formácie s prevládajúcim ílovým minerálom typu kaolinitu (Kobza, 2003), kde vystupujú neogénne sedimenty blízko k povrchu. Tento ílový minerál je často klasifikovaný ako tuhá kyselina (Betehtin, 1955), čo všeobecne zahŕňa prítomnosť Brönstedtových a najmä Lewisových kyslých centier na povrchu kaolinitických kryštálov. Výsledkom sú pomerne nízke hodnoty pôdnej reakcie na tejto pôdnej lokalite, aj

keď sa jedná o intenzívne obhospodarovanú pôdu. Navýše výskyt kaolinitu je tu reliktom, ktorý sa v súčasných podmienkach mierneho klimatického pásma netvorí (Kobza, 2003).

V období rokov 2006 – 2009 sme sa okrem vlastných hodnotení vlastností pôd zamerali aj na implementáciu analytických metód doporučených EK pre monitoring pôd, najmä na ich postupné zavádzanie do nášho systému monitorovania pôd. Ide pomerne o zložitý proces, ktorý neustále prebieha, pretože prichádzame do styku so širokou škálou pôd a meraných pôdných vlastností, od pôd kyslých až veľmi kyslých až po pôdy karbonátové a alkalické. Ukazuje sa, že v niektorých prípadoch nebude zrejme možné použiť jednu univerzálnu metódu, ale aspoň 2 metódy zvlášť pre oblasť kyslú až neutrálnu a zvlášť pre oblasť alkalickú. V súčasnosti je v stave rozpracovanosti meranie sorpčných vlastností pôd. Súčasne ako samostatný výstup z riešenia pripravujeme novú publikáciu ohľadne aktualizovaných metód rozborov pôd, kde budú zahrnuté už aj novšie doporučené metódy EK.

### *Vývoj vybraných indikátorov ekologických funkcií pôd – kambizeme*

Doran a Parkin (1994) definovali kvalitu pôdy ako "kapacitu pôdy fungovať v rámci ekosystému tak, aby sa trvalo udržala biologická produktivita, udržiavala kvalita životného prostredia a podporovalo zdravie rastlín a živočíchov" Kvalita pôdy vyjadruje schopnosť pôdy zabezpečovať v optimálnom rozsahu všetky funkcie pôdy pri konkrétnom spôsobe jej využitia.

Antropický prístup k hodnoteniu funkcií pôdy vychádza z hľadiska trvalo udržateľného vývoja ľudskej spoločnosti i životného prostredia a delí funkcie pôdy na produkčné a mimoprodukčné, pričom mimoprodukčné funkcie môžeme rozdeliť na dve podskupiny - ekologické (funkcie pôd nevyhnutné pre prirodzenú činnosť ekosystému) a socio-ekonomické. K ekologickým funkciám patrí produkcia celkovej biomasy, filtračná, pufrčná a transformačná funkcia, génova rezerva, biologické stanovište a asanačná funkcia.

V roku 2009 sme sa zamerali na hodnotenie kambizemí, našich najrozšírejších pôd. Aktuálna hodnota pôdnej reakcie pH je priamym indikátorom acidifikácie pôd. Na základe porovnanie vývoja hodnôt pôdnej reakcie v rámci rokov 1993 až 2007 sme zaznamenali najväčší pokles priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie v celom sledovanom období v hĺbke 0 – 10 cm v skupine kambizemí na kyslých substrátoch využívaných ako orné pôdy o to 0,59 jednotiek. Celkovo došlo k zníženiu priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní s rokom 1993) v štyroch skupinách pôd v rámci piatich hodnotených skupín pôd. Tieto výsledky upozorňujú na znepokojivý trend vo vývoji slabo kyslých pôd, ktorý má od roku 1995 stúpajúcu tendenciu (Makovníková, 2007). Je to predovšetkým dôsledok zníženia aplikácie agrotechnických opatrení zameraných na úpravu pôdnej reakcie kyslých a slabo kyslých pôd.

Odolnosť pôd vzhľadom k acidifikácii, pufrčná schopnosť kambizemí, je pomerne heterogénna a závisí od pôdotvorného substrátu. Nasýtené kambizeme na karbonátových substrátoch, môžeme zaradiť k rezistentným pôdam vzhľadom k acidifikácii, naopak, kambizeme na kyslých substrátoch patria k slabo rezistentným pôdam (Bedrna, 1994, Demo a kol., 1998)

Akumulačná funkcia sčasti súvisí so základným pôdotvorným procesom, tj. akumuláciou organických látok, na druhej strane v kontexte s filtračnou funkciou a pufrčnou funkciou môže dôjsť v humusovom horizonte k akumulácii polutantov (Demo a i., 1998). Kambizeme majú nižšiu akumuláciu schopnosť orientovanú na organickú hmotu (Demo a i., 1998). Na takmer všetkých skupinách kambizemí OP i TTP sa hodnoty pôdnej organickej hmoty v poslednom monitorovacom cykle (2007) nelíšia od počiatočných hodnôt na týchto

pôdnych skupinách. Nárast pôdneho organického uhlíka bol zistený iba na trvalých trávnych porastoch kambizemí na karbonátových substrátoch, pričom iba na tejto skupine kambizemí je hodnota POC z posledného odberu vyššia ako počiatočná koncentrácia pôdneho organického uhlíka (Barančíková, 2010).

Filtračnú schopnosť kambizemí determinuje hrúbka a zloženie kambického horizontu ako aj obsah skeletu. Pri antropogénnom zaťažení týchto pôd, dochádza k ohrozeniu ich filtračnej funkcie vzhľadom na ťažké kovy. Akumulácia polutantov je ovplyvnená obsahom a kvalitou organickej hmoty, v skupinách s vyšším obsahom skeletu je obmedzená aj schopnosť akumulácie vody. Vyšší obsah skeletu je charakteristický pre kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (10 – 40 obj. %), ktoré sa vyznačujú nižšou retenčnou schopnosťou. Antropogénne zaťažené pôdy s prirodzene nižšou retenčnou schopnosťou aj pri nízkej hodnote celkového obsahu rizikových prvkov si vyžadujú zvýšenú mieru pozornosti, zameranú práve na mobilné obsahy týchto prvkov v systéme pôda-rastlina. V skupinách pôd s tendenciou k zhutneniu dochádza ku kompácii (Širáň, 2010) a tým aj k zhoršeniu filtračnej schopnosti pôdy.

Priamy indikátor filtračnej funkcie, prístupný obsah ťažkých kovov, nie je súčasťou databázy základnej siete, určité trendy však môžeme sledovať na základe zmien celkového obsahu týchto prvkov.

Kumulácia rizík v skupinách kambizemí vyvinutých na flyši a skupinách kambizemí vyvinutých na kyslých substrátoch je stredne vysoká.

**Tab. 1** Kumulácia rizík v sledovaných skupinách pôd

Pôdny predstaviteľ <sup>1</sup>	funkcia			Kumulácia rizika
	pufračná	akumulačná	filtračná	
kambizeme na flyši TTP	+	-	+	++
kambizeme na flyši OP	+	-	+	++
kambizeme na kyslých substrátoch TTP	+	-	+	++
kambizeme na kyslých substrátoch OP	+	-	+	++
kambizeme na karb. substrátoch TTP	*	*	-	-

+ negatívny trend, - nezmenený stav, \* pozitívny trend

++ stredne vysoké riziko

## Literatúra

- Barančíková, G., 2010: Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty .In: Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M.: Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2009. VÚPOP Bratislava, 2010
- Bedrna, Z., 1994: Resistibility of Landscape to acidification. Ekologia, 13, 1994, str. 77-86
- Betehtin, A.G., 1955: Mineralógia. SVTL Bratislava, 1955, 800 s.
- Demo, M. a i., 1998: Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine. Nitra, 1998, 302 s, ISBN 80-7137-525-X
- Doran, J.W. a Parkin, T.B., 1994: Defining and assessing soil quality. In: Doran et al.: Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35
- Kobza, J., 2003: Textúrne diferencované pôdy ako indikátor antropogénnej záťaže v podmienkach Slovenska. VÚPOP Bratislava, 2003, 144 s., ISBN 80-89128-08-4
- Makovníková, J. 2007: Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy. Bratislava : VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.

Širáň, M., 2009: Súčasný stav a vývoj kompakcie pôd. In: Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M.: Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2009. VUPOP Bratislava, 2010

## 6.2 Acidifikácia pôd

Acidifikácia pôd patrí podľa zákona č. 220/2004 Z.z. k degradačným procesom. Každý vlastník poľnohospodárskej pôdy je povinný vykonávať vhodné agrotechnické opatrenia zamerané na zachovanie kvality pôdy a ochranu pred jej poškodením a degradáciou. Acidifikácia je vratným procesom, dôsledky acidifikácie v agroekosystéme sú nevratné.

Acidifikácia prebieha v prírodných podmienkach vplyvom pôdotvorných procesov (Čurlík a kol., 2003), výraznejšie ovplyvňujú proces acidifikácie antropogénne zdroje. Priamym indikátorom stavu acidifikácie pôdy je hodnota pôdnej reakcie a pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov  $Al^{3+}/Ca^{2+}$ . 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).

Pôdna acidita ovplyvňuje rast a činnosť koreňového systému rastlín, skladbu druhového zloženia v ekosystéme a úrody rastlín. Pôdna acidita má priamy vplyv na koncentrácie Al, Mn ako aj na koncentrácie anorganických polutantov v pôde, predovšetkým ťažkých kovov (Bedrna, 1994, Makovníková a Kanianska, 1996).

Cieľom riešenia tejto čiastkovej úlohy je sledovanie acidifikačných tendencií vyplývajúcich zo zmien hodnôt pôdnej reakcie (aktívnej a výmennej) a relatívneho zastúpenia iónov v sorpčnom komplexe s dôrazom na ekologické riziká toxicky pôsobiacich iónov, ktorých potenciálna mobilita a tým aj bioprístupnosť je vnútorne regulovaná v prevažnej miere hodnotou pôdnej reakcie (Makovníková, Kanianska, 1996, Kanianska, 2000, Makovníková, 2004).

### *Materiál a metóda*

V pôdnych vzorkách základnej siete ČMS-P odobraných v 4. (rok 2007) odberovom cykle z monitorovacích lokalít vybraných skupín pôd (1 – kambizeme na flyši - TTP, 2 - kambizeme na flyši – OP, 3, - kambizeme na kyslých substrátoch – TTP, 4 – kambizeme na kyslých substrátoch – OP, 5 – kambizeme na karbonátových substrátoch - TTP, 6 – kambizeme na karbonátových substrátoch - OP ), v prípade orných pôd (OP) z hĺbok 0-10 cm a 35-45 cm, v prípade trvalých trávnych porastov (TTP) z hĺbok 0-10 cm, 20-30 cm a 35-45 cm, bola stanovená aktívna pôdna reakcia, výmenná pôdna reakcia (roztokom neutrálnej soli KCl a  $CaCl_2$ ) potenciometricky a obsah výmenných bázických katiónov (Fiala a kol., 1999). Vo vzorkách s hodnotou pH v KCl nižšou ako 6,0 bol stanovený aktívny Al podľa Sokolova (Fiala a kol., 1999). V súvislosti s prechodom z doteraz používaných interných metodík pre stanovenie pôdnej reakcie ČMS-P (Fiala a kol., 1999) na metodiky podľa ISO normy (STN ISO 10 390) sme porovnali výsledky stanovení aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie na súbore kľúčových lokalít, ktoré reprezentujú širokú škálu pôdnych typov (Makovníková, 2009). Výsledky dosiahnuté pôvodnou internou metódou a metódou stanovenia pH podľa STN ISO 10 390 sa výrazne líšili v oblasti slabo alkalickéj až alkalickéj, preto hodnotíme vývoj acidifikácie pôd v základnej sieti naďalej podľa pôvodnej internej metódy.

V pôdnych vzorkách odobraných v rokoch 1995-2009 z kľúčových lokalít reprezentujúcich hodnotené skupiny pôd bola stanovená aktívna a výmenná pôdna reakcia (STN ISO 10390, Fiala a kol., 1999), aktívny hliník podľa Sokolova, obsah Al a Mn vo výluhu  $1 \text{ mol.l}^{-1} \text{ NH}_4\text{NO}_3$  a obsah výmenných bázických katiónov. Na kľúčových lokalitách stanovujeme pôdnu reakciu súbežne pôvodnou internou metódou aj STN ISO 10 390. Štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v programe STATGRAPHIC 5.0.

## Výsledky a diskusia

### 6.2.1. Vyhodnotenie stavu a vývoja hodnôt pôdnej reakcie a stavu bázičných katiónov vo vybraných skupinách pôd zo základnej siete

Hodnotenie pôdných parametrov vo vybraných skupinách pôd z hľadiska zachovania predpokladov štatistického hodnotenia vyhovovalo podmienkam normality rozdelenia v skupinách (1, 2, 3, 4, 5), kde sme sledované parametre charakterizovali popisnou štatistikou normálneho rozdelenia (aritmetický priemer, minimálna a maximálna hodnota) (tab. 1), skupina 6 je pre nízku početnosť v skupine hodnotená len minimálnou a maximálnou hodnotou.

**Tab. 1** Popisná štatistika hodnôt pH vo vybraných skupinách pôd v odberovom roku 2007 (4. cyklus)

Pôdny predstaviteľ <sup>1</sup>	Hĺbka odberu vzorky <sup>2</sup> / cm/	pH/H <sub>2</sub> O			pH/ KCl			pH/CaCl <sub>2</sub>		
		Min	Max	x <sup>3</sup>	Min	Max	X <sup>3</sup>	Min	Max	x <sup>3</sup>
kambizeme na flyši TTP	0-10	4,40	6,94	5,39	3,62	6,74	4,82	3,82	6,88	4,91
	20 - 30	4,31	6,67	5,44	3,55	6,13	4,64	3,69	6,33	4,88
	35-45	4,29	6,89	5,72	3,58	6,26	4,81	3,70	6,90	5,18
kambizeme na flyši OP	0-10	4,84	7,36	6,27	4,24	7,18	5,79	4,33	7,20	5,87
	35-45	5,35	7,63	6,45	4,40	7,19	5,67	5,00	7,33	6,05
kambizeme na kyslých substrátoch TTP	0-10	4,36	6,77	5,21	3,53	6,03	4,66	3,84	6,03	4,68
	20 - 30	4,50	6,35	5,31	7,49	5,70	4,55	3,74	5,68	4,68
	35-45	4,56	6,71	5,47	3,63	5,65	4,62	3,72	5,99	4,82
kambizeme na kyslých substrátoch OP	0-10	5,25	7,13	5,95	4,59	6,46	5,44	4,68	6,39	5,66
	35-45	4,98	6,77	5,94	4,04	6,01	5,08	4,58	6,06	5,55
kambizeme na karb. substrátoch TTP	0-10	4,53	7,00	6,36	3,52	6,67	5,76	3,55	6,84	5,87
	20 - 30	4,57	7,38	6,80	3,93	6,75	6,12	3,86	6,91	6,24
	35-45	4,77	7,64	6,71	4,04	7,05	5,94	3,97	7,12	6,03
kambizeme na karb. substrátoch OP	0-10	6,14	7,21	-	6,73	6,83	-	5,49	6,81	-
	35-45	7,28	7,39	-	6,532	6,55	-	6,96	7,03	-

OP - orná pôda, TTP - trvalý trávny porast

V celom súbore kambizemí je veľmi výrazný rozptyl hodnôt pôdnej reakcie v orničnom horizonte, hodnoty aktívnej pôdnej reakcie sa pohybujú od silne kyslej (4,36 v hĺbke 0-10 cm) až po slabo alkalickú, (7,36 v hĺbke 0-10 cm), čo sa odráža aj v typologicko-produkčných kategóriách kambizemí pohybujúcich sa v rozmedzí od produkčných orných pôd až po málo produkčné trvalé trávne porasty. Najvyššie priemerné hodnoty aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie vo všetkých hĺbkach sme stanovili v skupine kambizemí vyvinutých na karbonátových substrátoch, ktoré sú využívané ako trvalý trávny porast. Najnižšie priemerné hodnoty aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie sme stanovili v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (trvalý trávny porast) vo všetkých hĺbkach. Hodnoty pôdnej reakcie v slabo kyslej až kyslej oblasti zhoršujú kvalitu týchto pôd, poukazujú na prítomnosť výmenného hliníka, nižšiu nasýtenosť sorpčného komplexu bázami ako aj potenciálne vyšší obsah biopristupných polutantov, ktorých prístupnosť je v prevažnej miere riadená hodnotou pôdnej reakcie (Borůvka a kol., 1997, Mestek a Volka, 1993, Makovníková, 2000). Odolnosť pôd vzhľadom k acidifikácii, pufrčná schopnosť kambizemí, je pomerne heterogénna a závisí od pôdotvorného substrátu. Kambizeme na karbonátových pôdach, vďaka vysokému obsahu karbonátov v pôdnom profile, môžeme zaradiť k rezistentným pôdam vzhľadom k acidifikácii, naopak, kambizeme na kyslých substrátoch patria k slabo rezistentným pôdam (Bedrna, 1994, Demo a kol., 1998)). Intenzívny vplyv

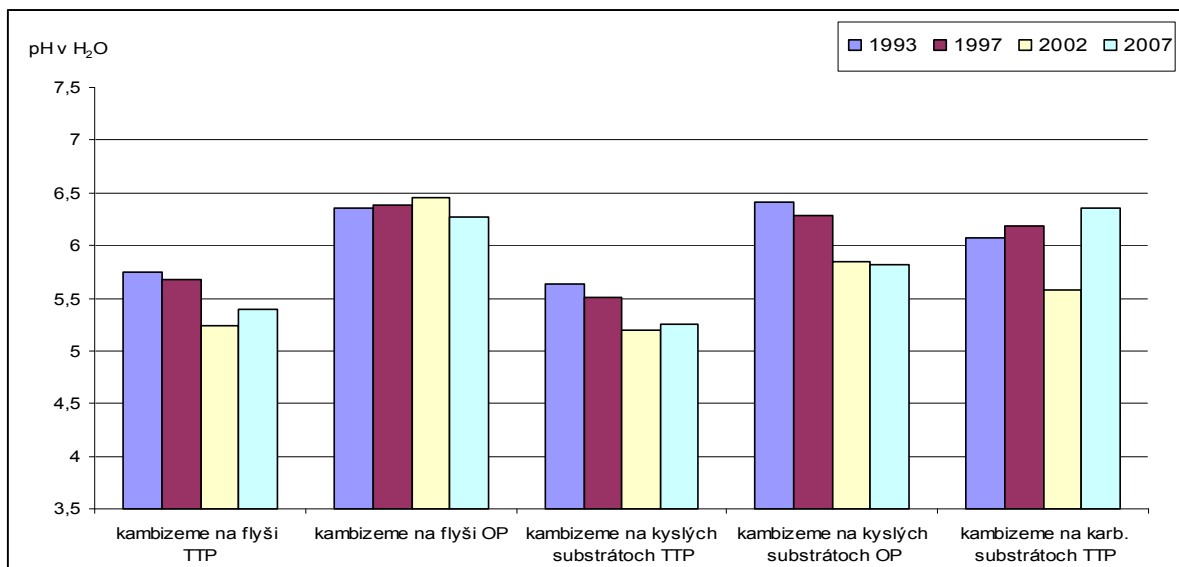


skultúrnenia sa prejavil na orných pôdach vyššími hodnotami pôdnej reakcie v orníčovom horizonte oproti pôdam, ktoré sú vyvinuté na tých istých substrátoch a sú využívané ako trvalé trávne porasty, v skupinách kambizemí vyvinutých na flyši je to 0,88 jednotiek a v skupinách kambizemí vyvinutých na kyslých substrátoch rozdiel predstavuje 0,74 jednotiek. Táto nasýtenosť orných horizontov orných pôd pochádza z predchádzajúcich rokov (Makovníková, 2007), kedy sa občas vápnilo až nadbytočne. Nejde však o stabilizovaný stav, pretože ako potvrdzujú pokusy, konečným dôsledkom absencie vápnenia je pokles pôdnej reakcie, hlavne v prípade pôd s nižšou pufracnou schopnosťou, ku ktorým patria aj niektoré variety kambizemí.

Vo všetkých sledovaných skupinách kambizemí je pomerne vysoký rozptyl hodnôt aktívnej pôdnej reakcie, najvyšší je v skupine kambizemí na flyši (trvalý trávny porast 2,54 jednotiek, orné pôdy 2,52 jednotiek).

Okrem priestorových zmien v profile sme sledovali aj časové zmeny pôdnej reakcie na lokalitách s uskutočneným odberom vo všetkých štyroch odberových rokoch. Priemerné hodnoty aktívnej a výmennej pôdnej reakcie v sledovaných skupinách pôd v jednotlivých cykloch monitoringu pôd, hodnotené vzhľadom na druh pozemku (orné pôdy – OP a trvalé trávne porasty – TTP), sú uvedené na obr.1 a 2.

**Obr. 1** Hodnoty pH v H<sub>2</sub>O v hodnotených skupinách pôd v rokoch 1993, 1997, 2002, 2007 (hĺbka 0-10 cm)

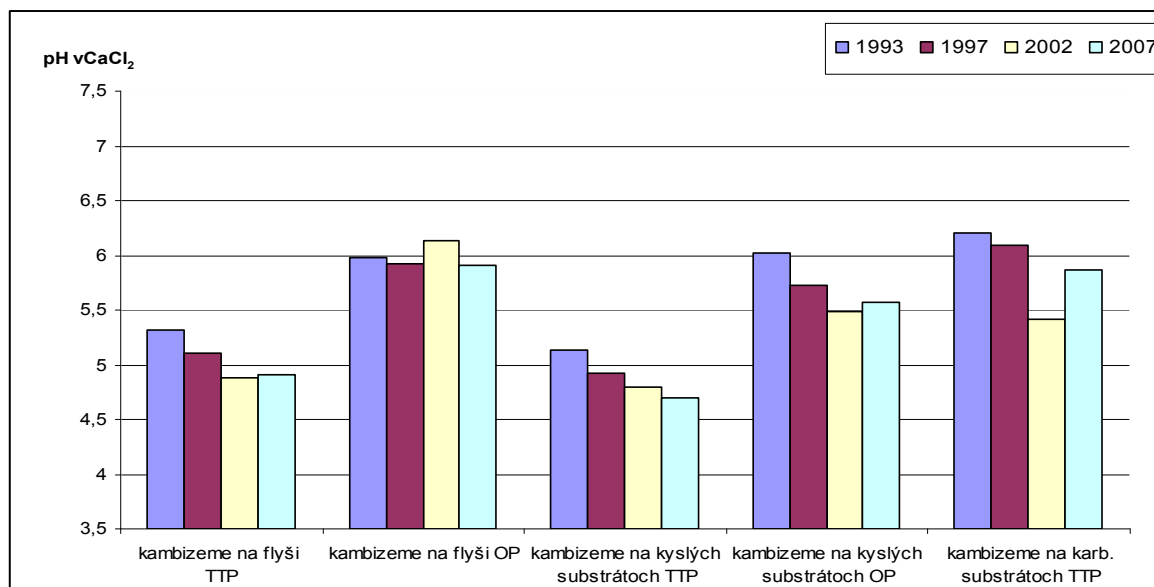


Najväčší pokles priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie v celom sledovanom období v hĺbke 0-10 cm sme zaznamenali v skupine kambizemí na kyslých substrátoch využívaných ako orné pôdy o to 0,59 jednotiek. Celkovo došlo k zníženiu priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní s rokom 1993) v štyroch skupinách pôd v rámci piatich hodnotených skupín pôd. Tieto výsledky upozorňujú na znepokojivý trend vo vývoji slabo kyslých pôd, ktorý má od roku 1995 stúpajúcu tendenciu (Makovníková, 2007). Je to predovšetkým dôsledok zníženia aplikácie agrotechnických opatrení zameraných na úpravu pôdnej reakcie kyslých a slabo kyslých pôd.

Sorpčná schopnosť pôdy ako aj zloženie výmenných katiónov v pôde sú výsledkom priebehu pôdotvorného procesu v kontexte s klimatickými podmienkami, sú ovplyvňované využívaním pôdy a agrotechnickými vstupmi do pôdy. Zloženie a kvalita sorpčného komplexu spolu s obsahom a kvalitou organickej hmoty v pôde patria k priamym indikátormi kvality pôdy (Hanes, 2002, Makovníková, Barančíková, 2004). Zastúpenie výmenných

katiónov v sorpčnom komplexe pôdy v jednotlivých skupinách pôd je uvedené v tabuľke 2a, 2b.

**Obr. 2** Hodnoty pH v CaCl<sub>2</sub> v hodnotených skupinách pôd v rokoch 1993, 1997, 2002, 2007 (hĺbka 0-10 cm)



**Tab. 2a** Popisná štatistika výmenných bázičkových katiónov v hĺbke 0 – 10 cm v roku 2007

Pôdny predstaviteľ <sup>1</sup>	Na v cmol(p <sup>+</sup> ).kg <sup>-1</sup>			K v cmol(p <sup>+</sup> ).kg <sup>-1</sup>			Ca v cmol(p <sup>+</sup> ).kg <sup>-1</sup>		
	Min	Max	X <sup>2</sup>	Min	Max	X <sup>2</sup>	Min	Max	X <sup>2</sup>
kambizeme na flyši TTP	0,02	0,95	0,23	0,07	2,58	0,35	1,80	19,49	9,56
kambizeme na flyši OP	0,01	0,60	0,12	0,28	1,43	0,78	3,93	26,05	11,85
kambizeme na kyslých substrátoch TTP	0,04	0,87	0,47	0,79	9,01	2,28	1,31	17,07	7,89
kambizeme na kyslých substrátoch OP	0,01	0,42	0,09	0,39	1,39	0,79	3,20	12,01	8,94
kambizeme na karb. substrátoch TTP	0,03	0,57	0,16	0,25	0,80	0,585	9,88	36,09	21,18
kambizeme na karb. substrátoch OP	0,02	0,07	-	0,64	1,22	-	5,54	25,38	-

**Tab. 2b** Popisná štatistika výmenných katiónov v hĺbke 0 - 10 cm v roku 2007

Pôdny predstaviteľ <sup>1</sup>	Mg v cmol(p <sup>+</sup> ).kg <sup>-1</sup>			Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>		
	Min	Max	X <sup>2</sup>	Min	Max	X <sup>2</sup>
kambizeme na flyši TTP	0,30	4,03	1,38	3,72	31,00	8,85
kambizeme na flyši OP	0,62	2,22	1,34	3,67	23,90	9,69
kambizeme na kyslých substrátoch TTP	0,17	4,49	1,40	4,21	16,30	7,39
kambizeme na kyslých substrátoch OP	0,66	3,21	1,70	2,93	10,90	5,91
kambizeme na karb. substrátoch TTP	0,46	3,60	1,49	8,88	40,70	20,06
kambizeme na karb. substrátoch OP	0,90	4,42	-	4,69	28,20	-

OP - orná pôda, TTP - trvalý trávny porast

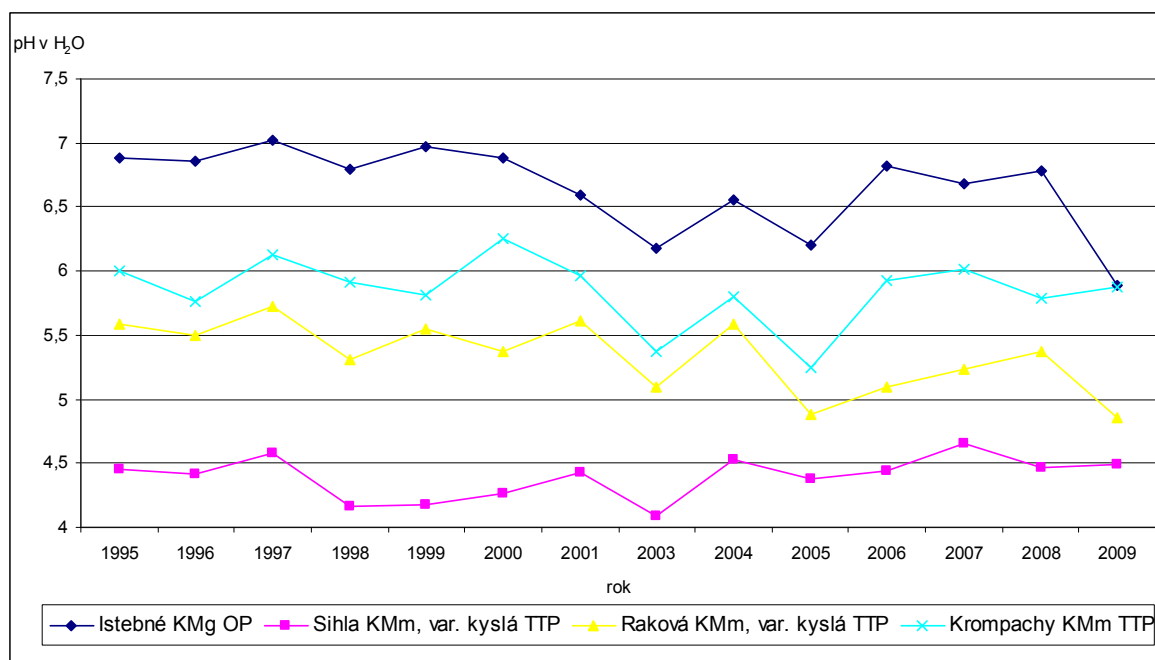
Najvyššie priemerné zastúpenie výmenného vápnika je v skupine kambizení na karbonátových substrátoch (trvalý trávny porast) a to 91 %, v skupine kambizení na flyši je to 82 % pre trvalý trávny porast a 83 % pre ornú pôdu, o niečo nižšie je zastúpenie výmenného vápnika v skupine kambizení na kyslých substrátoch, a to 65% pre trvalý trávny porast a 77 % pre ornú pôdu. Priemerné hodnoty pomeru  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  sa pohybujú od 20,06 : 1 v skupine kambizení vyvinutých na karbonátových substrátoch využívané ako trvalý trávny porast po 5,91 : 1 v skupine kambizení na kyslých substrátoch využívané ako orné pôdy. Pomer katiónov  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  v rozmedzí od 4:1 do 6:1 uvádza Čurlík (2003) ako najpriaznivejší pre poľnohospodársky využívané pôdy. Pri celkovom hodnotení všetkých orných pôd z jednotlivých skupín kambizení, na 17 % lokalít sme stanovili pomer katiónov  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  v uvedenom rozmedzí, na 20 % lokalít je pomer týchto katiónov nižší ako 4 : 1 a až na 63 % lokalít je pomer  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  vyšší ako 6 : 1. V hodnotených skupinách kambizení, využívaných ako orné pôdy, je nízky obsah horčíka v porovnaní s obsahom vápnika pre optimálny rast poľnohospodárskych plodín.

### 6.2.2. Vyhodnotenie pôdnej reakcie a bázických katiónov na kľúčových lokalitách

Na kľúčových lokalitách s periodickým, každoročným monitorovaním pôdnej reakcie v rokoch 1995 až 2009 môžeme zaznamenať vývojové trendy podmienené kapacitou a potenciálom pufrujúceho systému sledovaných pôd (od roku 2008 na kľúčových lokalitách analyzujeme pôdnu reakciu súbežne pôvodnou aj ISO metódou).

Hodnotené skupiny pôd reprezentujú štyri kľúčové lokality, lokalita Istebné využívaná ako orná pôda a lokality Raková, Sihla a Krompachy, využívané ako trvalý trávny porast (obr. 3). Najvýraznejšie negatívne zmeny sme zaznamenali práve na ornej pôde, na lokalite Istebné, kde v priebehu sledovaného obdobia došlo k poklesu hodnoty aktívnej pôdnej reakcie o 0,99 jednotiek, čím sa dostala táto hodnota do slabokyslej oblasti s vyšším rizikom bioprístupnosti rizikových látok a hliníka.

**Obr. 3** Vývoj aktívnej pôdnej reakcie na kľúčových lokalitách



Na kľúčových lokalitách sledujeme aj priestorovú variabilitu parametrov z piatich separátnych vzoriek odobraných z piatich odberových miest na danej lokalite (tab. 3).

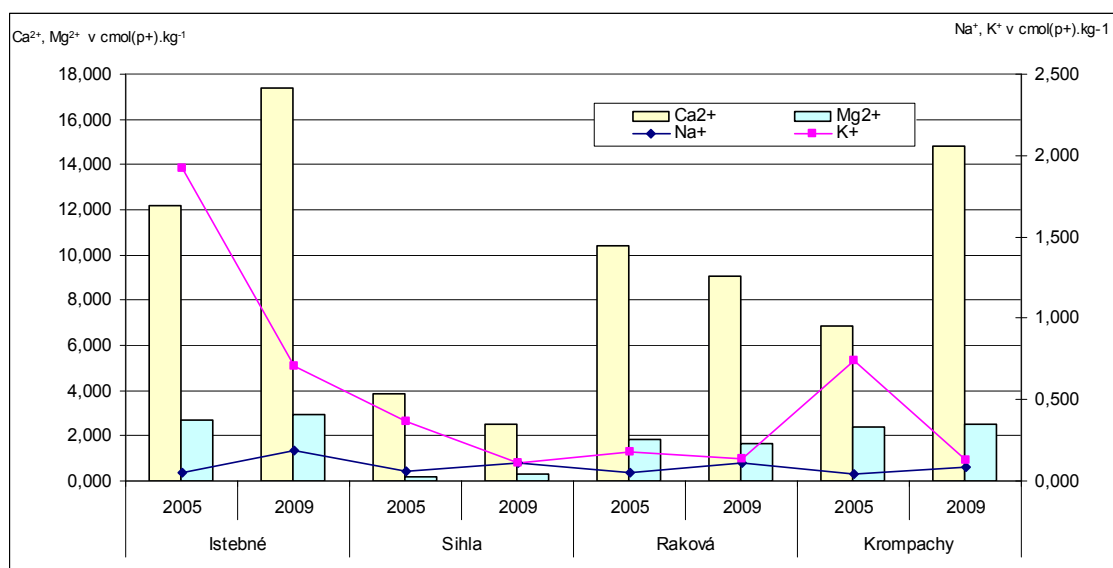
**Tab. 3** Priestorová variabilita výmennej pôdnej reakcie pH v CaCl<sub>2</sub> na kľúčových lokalitách v roku 2009 (STN ISO 10 390 a pôvodná interná metóda)

Lokalita	Metóda	Štatistické charakteristiky				
		minimum	maximum	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient v %
Raková	STN 10 390	4,40	4,81	4,554	0,159	3,49
	pôvodná interná metóda	4,40	4,81	4,556	0,153	3,409
Istebné	STN 10 390	5,43	6,47	5,724	0,429	7,511
	pôvodná interná metóda	5,43	6,44	5,732	0,411	7,178
Krompachy	STN 10 390	4,98	5,53	5,280	0,218	4,134
	pôvodná interná metóda	4,96	5,53	5,290	0,221	4,179
Sihla	STN 10 390	3,71	4,02	3,884	0,089	2,307
	pôvodná interná metóda	3,74	3,99	3,848	0,009	2,509

Priemerné hodnoty výmennej pôdnej reakcie stanovené pôvodnou metódou a metódou STN 10 390 sa výraznejšie nelíšia. Rozdiely sú pri porovnaní jednotlivých lokalít. Na lokalite Istebné, orná pôda, je najvyšší variačný koeficient zo sledovaných lokalít, a to 3,2–krát vyšší ako na lokalite Sihla, využívanej ako trvalý trávny porast. Variabilita na kľúčových lokalitách reprezentujúcich kambizeme je výrazne vyššia ako napr. na černoziach, kde bol na lokalite Voderady variačný koeficient pri stanovení pH pôvodnou metódou len 0,38 %.

Prevládajúcim katiónom na sledovaných lokalitách je vápnik (83,2 %) (obr.4). Priemerný pomer Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup> je 6,6 : 1, na lokalite Istebné (orná pôda) je to pomer 5,9 : 1, ktorý spadá do optimálneho rozmedzia 4:1 až 6:1. V priebehu rokov 2005 až 2009 došlo k nárastu obsahu výmenného vápnika na lokalitách Istebné a Krompachy a naopak k jeho poklesu na lokalitách na kyslých substrátoch, Sihla a Raková. Výrazný je pokles obsahu výmenného draslíka na všetkých sledovaných lokalitách, čo je v súlade s klesajúcou spotrebou NPK hnojív na Slovensku už od roku 1995 (Makovníková, 2007).

**Obr. 4** Výmenné bázičné katióny na sledovaných lokalitách



### 6.2.3. Vyhodnotenie stavu aktívneho hliníka vo vybratých skupinách pôd a na kľúčových lokalitách

Rozpustnosť rôznych foriem hliníka je primárne podmienená hodnotami pôdnej reakcie, pričom dominantnou toxickou formou hliníka je mobilný hliník, voľné katióny  $\text{Al}^{3+}$  a hydrolytické ióny hliníka  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ . S rastúcou hodnotou pH sa strácajú  $\text{H}_2\text{O}$  skupiny a vzniká hydroxid hlinitý, ktorý je potenciálne nerozpustný. Rozpustnosť a tým aj prístupnosť hliníka exponenciálne narastá s klesajúcou hodnotou pôdnej reakcie.

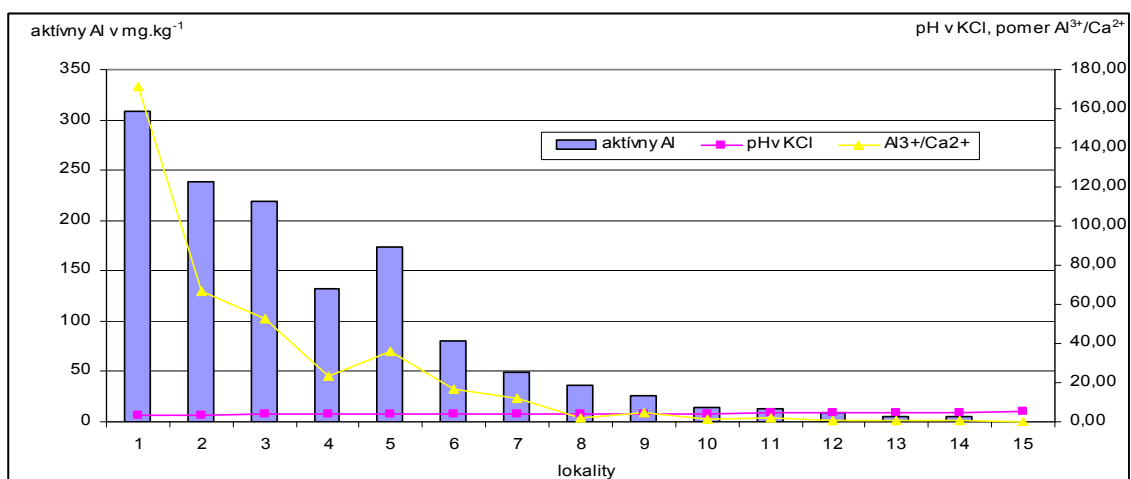
**Tab. 4** Popisná štatistika aktívneho hliníka v hĺbke 0– 10 cm, 20 – 30 cm a 35 – 45 cm v odberovom roku 2007 (4. cyklus)

Pôdny predstaviteľ	Hĺbka odberu vzorky / cm/	Al v $\text{mg.kg}^{-1}$			$\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$		
		Min	Max	$\text{X}^3$	Min	Max	$\text{X}^3$
kambizeme na flyši TTP	0 – 10	0,45	308,00	87,28	0,51	171,11	25,99
	20 – 30	4,55	488,00	123,44	-	-	-
	35 – 45	0,27	470,00	115,71	-	-	-
kambizeme na flyši OP	0 – 10	0,45	41,90	10,67	0,04	10,66	2,10
	35 – 45	0,45	9,45	4,10	-	-	-
kambizeme na kyslých substrátoch TTP	0 – 10	2,70	182,00	38,46	0,33	69,08	12,31
	20 - 30	0,90	318,00	66,88	-	-	-
	35 – 45	0,45	357,00	61,97	-	-	-
kambizeme na kyslých substrátoch OP	0 – 10	0,10	49,50	15,75	0,26	9,00	3,02
	35 – 45	0,10	72,90	34,93	-	-	-

Vychádzajúc z parametrov rozpustnosti hliníka, aktívny Al bol nameraný len v pôdach s hodnotami  $\text{pH/KCl} < 6,00$  (tab. 4). Obsah aktívneho hliníka v hĺbke 0 - 10 cm sa v hodnotených skupinách pôd v roku 2007 pohyboval v rozsahu od  $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$  do  $308,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Najvyšší priemerný obsah aktívneho hliníka vo všetkých hĺbkach bol stanovený v skupine kambizemí na flyši využívaných ako trvalý trávny porast. V tejto skupine je aj výrazný vertikálny nárast obsahu aktívneho hliníka s najvyššou hodnotu v hĺbke 20 – 30 cm. Pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov  $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$  indikuje stupeň degradácie pôdy vzhľadom k acidifikácii. Kritická hladina pomeru  $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$  pre citlivé plodiny je 0,50, pre menej citlivé plodiny 1,00 (Grišina, Baranova, 1990). V všetkých hodnotených skupinách kambizemí došlo k výraznému prekročeniu tejto hodnoty, čo predstavuje aktívny hliníkový stres pre vegetáciu.

V celej skupine kambizemí (bez ohľadu na substrát a druh pozemku) je hodnota korelačného koeficientu medzi hodnotou aktívnej pôdnej reakcie a obsahom aktívneho hliníka v hĺbke 0-10 cm  $r = -0,78$ , v hĺbke 20-30 cm je to  $-0,76$  a v hĺbke 35-45 cm je hodnota korelačného koeficientu  $-0,70$ , korelačný koeficient s hĺbkou mierne klesá, ale uvedené hodnoty korelácií vo všetkých hĺbkach sú vysoko preukazné. Zmenu vplyvu parametrov s hĺbkou uvádza vo svojej práci aj Mládková (Mládková a kol., 2004). Hodnoty aktívneho hliníka v poslednom odberovom cykle v kontexte s hodnotami pH v KCl a pomerom  $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$  v skupine kambizemí na flyši využívaných ako trvalý trávny porast sú na obr. 5.

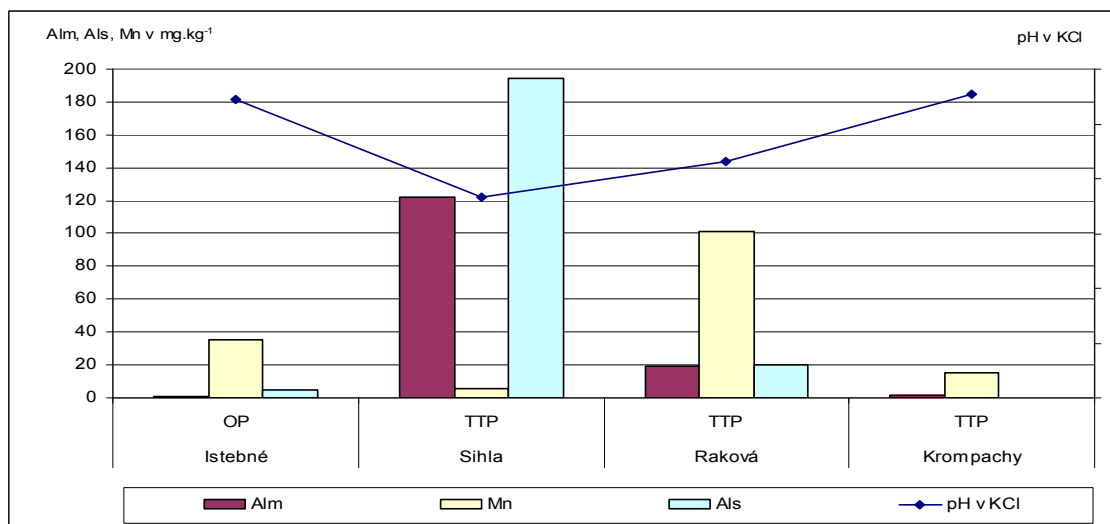
**Obr. 5** Hodnoty aktívneho hliníka v kontexte s hodnotami pH v KCl a pomerom  $Al^{3+}/Ca^{2+}$



Bioprístupnosť Al a Mn sledujeme aj na kľúčových lokalitách. Obsah aktívneho hliníka podľa Sokolova (Als), mobilného obsahu Al (Alm – stanovené vo výluhu 1 mol.dm<sup>-3</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) a mobilného obsahu Mn (Mn - stanovené vo výluhu 1 mol. dm<sup>-3</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) v kontexte s hodnotou pôdnej reakcie na kľúčových lokalitách sú na obr. 6.

Hodnoty aktívneho hliníka stanovené podľa Sokolova a hodnoty mobilnej frakcie hliníka stanovené vo výluhu 1 mol. dm<sup>-3</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> sa na jednotlivých lokalitách líšia. Hodnoty mobilnej frakcie Al sú nižšie a ich pomer k aktívnemu Al sa mení v závislosti od oblasti pH a to od 21 % (lokalita Istebné) po 98 % (lokalita Raková). Korelácia medzi aktívnym Al a mobilnou frakciou Al je  $r = -0,66$ , avšak vzhľadom na nízky počet hodnotených lokalít je táto hodnota len orientačná.

**Obr. 6** Hodnoty aktívneho hliníka, mobilného hliníka a mangánu na kľúčových lokalitách v kontexte s hodnotami pH v KCl



Niektorí autori (Vollmanová, 1998) považujú už za kritickú hodnotu mangánu pre poľnohospodárske plodiny (napr. ovos) 6,8 mg.kg<sup>-1</sup> (obsah vo výluhu DTPA- CaCl<sub>2</sub>). Podľa Beneša (Beneš, 1993) sa stredný obsah prístupného mangánu v pôde vo výluhu DTPA pohybuje od 11 do 100 mg.kg<sup>-1</sup>, pričom obsah mangánu nad 100 mg.kg<sup>-1</sup> je hodnotený už ako vysoký. Výluh 1 mol. dm<sup>-3</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> je v porovnaní s výluhom DTPA slabší. Vysoké hodnoty mobilného Mn sme stanovili na lokalite Sihla a Raková, využívané ako trávny porast, ale aj

na lokalite Istebné ( $35,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), využívanej ako orná pôda. Kambizeme patria k pôdam ohrozeným vysokým obsahom bioprístupného hliníka a mangánu.

### **Záver**

- najvyššie priemerné hodnoty aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie sme stanovili v skupine kambizemí vyvinutých na karbonátových substrátoch (trvalý trávny porast), najnižšie priemerné hodnoty aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie sme stanovili v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (trvalý trávny porast) a to vo všetkých hĺbkach
- v súbore kambizemí je veľmi výrazný rozptyl hodnôt pôdnej reakcie, hodnoty aktívnej pôdnej reakcie sa pohybujú od silne kyslej (4,36 v hĺbke 0-10 cm) až po slabo alkalickú, (7,36 v hĺbke 0-10 cm)
- najväčší pokles priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie v celom sledovanom období v hĺbke 0 – 10 cm sme zaznamenali v skupine kambizemí na kyslých substrátoch využívaných ako orné pôdy o to 0,59 jednotiek, celkovo došlo k zníženiu priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní s rokom 1993) v štyroch skupinách pôd v rámci piatich hodnotených skupín pôd, tieto výsledky upozorňujú na znepokojivý trend vo vývoji slabo kyslých pôd
- najvyšší priemerný obsah aktívneho hliníka vo všetkých hĺbkach bol stanovený v skupine kambizemí na flyši využívaných ako trávny porast, v tejto skupine je aj výrazný vertikálny nárast obsahu aktívneho hliníka s najvyššou hodnotu v hĺbke 20 – 30 cm
- pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov  $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$  indikuje stupeň degradácie pôdy vzhľadom k acidifikácii, vo všetkých hodnotených skupinách kambizemí došlo k výraznému prekročeniu limitnej hodnoty, čo predstavuje aktívny hliníkový stres pre vegetáciu

### **Dosiahnuté výsledky za roky 2006 – 2009**

- najvyššia priemerná hodnota aktívnej pôdnej reakcie v orných pôdach vyjadrená v  $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$  v hĺbke 0 - 10 cm (7,75) bola stanovená v skupine čiernice na karbonátových fluvialných sedimentoch, najnižšia (5,84) v skupine kambizeme na kyslých substrátoch. Podobnú tendenciu sme zaznamenali aj v hĺbke 35 - 45 cm, kde najvyššia priemerná hodnota aktívnej pôdnej reakcie (7,88) bola nameraná v skupine orných pôd čiernice na karbonátových fluvialných sedimentoch, najnižšia (5,54) opäť v skupine kambizemí na kyslých substrátoch, v prípade trvalých travných porastov najvyššie priemerné hodnoty sme zaznamenali v skupine zasolených pôd (8,45 a 8,95) a to v oboch hĺbkach a najnižšie (3,66 a 4,02) v skupine podzoly, rankre a litozeme, var. silikátové
- zmeny pôdnej reakcie v sledovaných cykloch pre párované hodnoty nie sú štatisticky preukazné
- v prípade kambizemí a pseudoglejov, využívaných ako orné pôdy, môžeme predpokladať pomalý pokles pôdnej reakcie na prirodzene kyslejších substrátoch, acidifikačné trendy u pôd s hodnotou pôdnej reakcie v slabo kyslej oblasti sa perspektívne môžu odraziť v zhoršení hygienického stavu životného prostredia vo zvýšenom prieniku rôznych polutantov predovšetkým ťažkých kovov a hliníka do potravného reťazca.
- vo všetkých skupinách pôd je najväčším podielom v sorpčnom komplexe zastúpený  $\text{Ca}^{2+}$ , najvyššie priemerné percentuálne zastúpenie vápnika sme namerali v skupine černozezí na spraši a to 85,25 %

- v kambizemiach na vulkanitoch, na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach sú štatisticky významné kladné korelačné vzťahy medzi obsahom výmenného horčíka a obsahom výmenného vápnika, medzi hodnotou pôdnej reakcie a obsahom výmenného draslíka, štatisticky preukazná je aj záporná korelácie medzi hodnotou pôdnej reakcie a obsahom výmenného sodíka, v kambizemiach na karbonátových substrátoch je štatisticky preukazná kladná korelácia medzi hodnotou pôdnej reakcie a hodnotou výmenného vápnika ako aj záporná korelácia medzi obsahom výmenného draslíka a výmenného horčíka
- stav aktívneho hliníka v poľnohospodárskych pôdach SR je výrazne nižší v orných pôdach oproti trávnyim porastom, čo je dôsledkom vzťahu medzi kvalitou pôdy a jej využívaním. Napriek tomu boli namerané vysoké maximálne hodnoty aj na orných pôdach, ktoré priamo korelujú s nižšou hodnotou pôdnej reakcie. Spomalenie vývoja rastlín ako aj vplyv na výživu rastlín, ktoré patria k hlavným symptómom hliníkovej toxicity sa teda netýkajú len trávnych porastov ale v nemalej miere aj orných pôd s hodnotou pôdnej reakcie v slabo kyslej a kyslej oblasti, s nižšou kvantitou a kvalitou organickej hmoty, ktorým je potrebné v budúcnosti venovať pozornosť a využívať všetky dostupné agrotechnické opatrenia zamerané predovšetkým na optimalizáciu pôdnej reakcie
- pomer ekvivalentných množstiev výmenných kationov  $Al^{3+}/Ca^{2+}$  indikuje stupeň degradácie pôdy, vysoký stupeň degradácie pôdy sme stanovili v skupine fluvizemí na nekarbonátových fluvialných sedimentoch, v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a kambizemí na flyši ako aj v skupine pseudoglejov využívaných ako orné pôdy

## Literatúra

- Bedrna, Z., 1994: Resistibility of Landscape to acidification. *Ekologia*, 13, 1994, str. 77-86
- Beneš, S., 1993: obsahy a bilance prvku ve sférah životního prostředí. MZ ČR, Praha, 1993, 88s.
- Borůvka, L., Křišťoufková, S., Kozák, J., Huan Wei, Ch., 1997: Speciation of Cd, Pb, and Zn in heavy polluted soils. *Rostlinná. Výroba*, 43: 187-192
- Čurlík a i., 2003: Pôdna reakcia a jej úprava, Suma print Bratislava, 2003, 250 s.
- Demo, M. a i., 1998: Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine. Nitra, 1998, 302 s
- Grišina, L. A., Baranova, T.A., 1990: Vplyv kyslých zrážok na vlastnosti pôd lesného ekosystému južnej tajgy. *Lesné pôdoznanectvo*, 10, 1990, 121-136
- Hanes, J., Poláček, Š., 2002: Koloidná chémia pôdy, VÚPOP Bratislava, 2002, 108 s. ISBN 80-85361-96-5
- Fiala K. a i., 1999: Závazné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém - Pôda. VÚPOP, Bratislava, 1999, 139 s.
- Johnston, A.E., 2004: Soil Acidity – Resilience and Thresholds. In: Schjonning, P, Elmholt, S. Christenses, B. T. (ads.): Managing soli quality. CABI Publishing, 2004, 344 p., ISBN 85-1996-71-X
- Kanianska, R., 2000: Acidifikácia pôd vplyvom kyslých atmosférických polutantov, Bratislava, 2000, 96s.
- Makovníková, J., 2004: Acidifikačné trendy poľnohospodárskych pôd Slovenska. Stav a vývoj idikátorov acidifikácie. S Tretie pôdoznalecké dni v SR. Zborník referátov z konferencie pôdoznalcov SR, Mojmírovce 22. - 24. jún, 2004. Societas pedologica slovacica, VÚPOP Bratislava, A4, CD ROM, ISBN: 80-89128-11-4
- Makovníková, J., Kanianska, R., 1996: Aktívny hliník a jeho súčasný stav v pôdach SR. *Rostlinná výroba*, 42/7, 1996, 289-292



- Makovníková, J., 2000: Závislosti medzi vybranými pôdnymi parametrami a prístupným obsahom kadmia, olova, medi a zinku. Rostl. výroba, 46, 2000, str. 289-296
- Makovníková, J., Barančíková, G., 2004: Vybrané indikátory trofickej funkcie kambizemí vyvinutých na flyši. Agrochémia, č.3, 2004, str. 27-30
- Makovníková, J., 2007: Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy. Bratislava : VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.
- Makovníková, J., 2008: Acidifikácia pôd In: Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M.: Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2008. VUPOP Bratislava, 2009, str. 20 - 28
- 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, 2007, 365 - 373
- Mládková, L., Borůvka, L., Drábek., 2004: Distribution of aluminium aminy its mobilizable forms in soils of the Jizera Mountains region., Plant Soil environ., 50, 2004 (8), str. 346-351
- Mestek, O., Volka K., 1993: Interakce těžkých kovů s půdními složkami. Chemické Listy, 87. 95-806
- Vollmannová, A., 1998: Hodnotenia pôdnej hygieny a poľ. Produkcie so zvláštnym zreteľom na obsah mangánu na Strednom Gemeri. Autoreferát, Nitra, 1998, 24s.

### 6.3 Salinizácia a sodifikácia pôd

Monitoring procesov salinizácie a sodifikácie v roku 2009 pokračoval na vybudovanej sieti stacionárnych monitorovacích lokalít. Sieť zahŕňa jednak slabo a stredne slaniskové a slancové pôdy, jednak typické slance (tab.1). To nám umožňuje sledovať postupný vývoj soľných pôd od ich začiatkových štádií, cez ich stredné stupne až po ich plné rozvinutie. Z celkového počtu 8 monitorovaných lokalít, 6 je situovaných na Podunajskej rovine, kde stabilizovaný režim hladín mineralizovaných podzemných vôd, výparný vodný režim a nastupujúce klimatické zmeny smerom k otepľovaniu vytvárajú reálne podmienky pre postupný vznik, rozvoj a rozšírenie soľných pôd. Monitorované lokality sú tu situované v katastrach obcí: Iža, Zemné, Gabčíkovo, Zlatná na Ostrove, Komárno-Hadovce a Kamenín. Na troch z uvedených lokalít (Gabčíkovo, Zlatná na Ostrove, Komárno-Hadovce) sa vývoj soľných pôd monitoruje od r. 1989 v rámci účelového monitoringu: Vplyv VD Gabčíkovo na pôdy priľahlej oblasti. Na strednom Slovensku sa monitoruje antropogénna sodifikácia pôd exhalátmi závodu na výrobu hliníka v katastri obce Žiar nad Hronom a na Východoslovenskej nížine je do monitorovacej siete zahrnutý typický slanec v katastri obce Malé Raškovce.

Tab. 1 Zoznam monitorovaných lokalít soľných pôd

Označenie lokality	Miesto	Názov pôdy
400 180	<b>Iža</b> okres Komárno	Čiernica kultizemná karbonátová v počiatočnom štádiu sodifikácie
400 176	<b>Gabčíkovo</b> okres Dunajská Streda	Čiernica kultizemná slabo slancová
400 177	<b>Zlatná na Ostrove</b> okres Komárno	Čiernica kultizemná černozečná hlboko slancová
400 178	<b>Komárno-Hadovce</b>	Čiernica kultizemná černozečná slabo slancová
400 179	<b>Zemné</b> okres Nové Zámky	Čiernica kultizemná glejová slabo slancová
400 138	<b>Kamenín</b> okres Nové Zámky	Slanec čiernicový
400 229	<b>Malé Raškovce</b> okres Trebišov	Slanec kultizemný
400 063	<b>Žiar nad Hronom</b>	Fluvizem glejová sekundárne zasolená

Odber pôdnych vzoriek sa uskutočňuje v ročných intervaloch v jarných mesiacoch marec – máj. To umožňuje stanoviť ten obsah solí, ktorý zostal v pôde po jesenných, zimných a skorých jarných dažďoch resp. ktoré neboli vyplavené do spodných horizontov, prípadne až do podzemnej vody a v priebehu nastupujúceho vegetačného obdobia zostávajú v pôde. Vzorky pôdy sa odoberajú nielen z prvých dvoch horizontov, ale zo všetkých pôdnych horizontov do hĺbky cca 1 m, pretože vývoj soľných pôd tu prebieha od spodných horizontov smerom k povrchu pôdy. Analýzy pôdnych vzoriek zahŕňajú rozbor vodného výluhu (Hraško, J. a kol., 1962) a rozbor nasýteného extraktu pôdnych pást (Sotáková, S. a kol., 1988, Valla, M. a kol., 1983). Ako podporné analýzy sa na Podunajskej rovine (okrem lokality Kamenín) stanovuje aj zloženie podzemných vôd, ktoré je hlavným zdrojom vzniku a rozvoja soľných pôd.

### **Použité metódy stanovenia**

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> - plameňová fotometria  
Mg<sup>2+</sup> - atómová absorpčná spektrofotometria (AAS)  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - titračne (0,05 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  
Elektrická vodivosť (EC) – konduktometricky  
pH – potenciometricky  
odparok – gravimetricky  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - gravimetricky  
Cl<sup>-</sup> - titračne podľa Mohra

Hodnoty SAR a ESP sú vypočítané podľa Vallu 1983, vzorce II. 147, 149, 150 a 151.

### **Kritériá hodnotenia soľných pôd**

#### *Hodnotenie salinizácie pôd*

**Tab. 2** Podľa elektrickej vodivosti (ECe) a celkového obsahu solí.

ECe (mS.m <sup>-1</sup> )	Celkový obsah solí (%)	Klasifikácia salinizácie	Reakcia rastlín
< 200	< 0,1	bez salinizácie	vplyv na úrody je zanedbateľný
200 – 400	0,1 – 0,15	slabá salinizácia	úrody citlivých rastlín môžu byť znížené
400 – 800	0,16 – 0,35	stredná salinizácia	úrody plodín sú redukované
800 – 1600	0,36 – 0,70	silná salinizácia	len tolerantné plodiny majú uspokojivé úrody
> 1600	> 0,70	extrémna salinizácia - slanisko	len málo tolerantných rastlín má uspokojivé úrody

Podľa U.S. Soil Salinity laboratory Staff. 1954, In: Fulajtár, 1996

#### *Hodnotenie sodifikácie pôd*

**Tab. 3** Zastúpenie výmenného sodíka (ESP) v sorpčnom komplexe.

% ESP	Kategória stanovenia
5 – 10	slabo slancová
11 – 20	slancová
> 20	slanec

### **Výsledky a ich hodnotenie.**

V roku 2009 sa v monitorovaných pôdach opätovne potvrdila prítomnosť oboch foriem soľných procesov – salinizácie i sodifikácie, ako aj značná mineralizácia podzemných vôd.

## Salinizácia pôd

Salinizáciu ako proces akumulácie sodných solí v pôdnom profile sme v roku 2009 zaznamenali na 7 z celkového počtu 8 monitorovaných pôd. Len na lokalite Malé Raškovce bol celkový obsah solí vo všetkých pôdnych horizontoch menší ako limitná hodnota 0,10 % (tab. 4).

**Tab. 4** Rozbor vodného výluhu pôd v roku 2009

Lokalita	Horizont	Hĺbka cm	pH	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Celkový obsah solí (%)
				mmol/kg								
Iža 400180	Akpc	0-10	7,7	0,00	5,15	0,90	<0,20	3,67	1,47	0,34	0,12	<b>0,10</b>
	Akpc	15-25	7,7	0,00	6,10	0,46	<0,20	3,38	1,30	4,63	0,13	0,09
	Amčc	30-40	7,7	0,00	5,40	0,50	<0,20	3,23	1,52	0,69	0,06	0,08
	CGo	75-85	7,9	0,00	4,20	0,67	0,28	1,25	2,07	1,13	0,03	0,05
	CGo(Bn)	90-100	7,9	0,00	4,00	0,63	0,69	1,19	1,85	2,02	0,02	0,05
Zemné 400179	Akpc	0-10	7,5	0,00	4,60	0,60	0,21	4,09	0,73	45,30	0,24	<b>0,11</b>
	Akpc	10-20	7,6	0,00	5,20	0,52	<0,20	4,01	0,72	0,64	0,26	<b>0,10</b>
	A/CGo(Bn)	45-55	7,7	0,00	4,90	5,77	0,42	2,90	0,64	2,02	0,02	0,07
	CGro(Bn)	65-75	7,7	0,00	4,90	0,80	1,06	2,66	0,64	3,51	0,02	0,07
	CGr(Bn)	100-110	7,6	0,00	4,60	0,75	0,24	1,94	0,40	1,01	0,06	0,05
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	7,6	0,00	5,50	0,48	<0,20	4,13	1,27	0,31	0,34	<b>0,10</b>
	Akpc	10-20	7,7	0,00	5,90	0,59	<0,20	4,05	1,00	0,14	0,67	<b>0,10</b>
	Amčc	40-50	7,8	0,00	4,10	1,13	5,61	6,61	2,73	1,48	0,17	<b>0,16</b>
	A/CGo	65-75	7,4	0,00	3,05	2,53	8,63	7,20	4,47	2,72	0,07	<b>0,19</b>
	CGroc(Bn)	90-100	7,5	0,00	2,65	3,29	9,02	7,58	4,55	2,12	0,07	<b>0,21</b>
	CGroc(Bn)	100-110	7,4	0,00	2,25	1,62	5,41	7,87	3,03	2,04	0,08	<b>0,20</b>
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	7,8	0,00	5,45	0,51	<0,20	3,20	1,16	0,38	0,17	0,07
	Akpc	10-20	7,8	0,00	5,00	0,51	<0,20	3,14	1,23	0,93	0,21	0,07
	A/CGoc(Bn)	40-45	7,8	0,00	4,40	1,05	<0,20	3,50	1,60	1,28	0,17	0,08
	CGoc(Bn)	50-65	7,9	0,00	4,55	0,52	0,47	3,20	1,66	1,53	0,08	0,08
	CGoc(Bn)	100-110	7,5	0,00	3,10	3,83	7,80	4,01	5,41	7,21	0,03	<b>0,18</b>
Komárno Hadovce 400178	Akpc	0-10	7,5	0,00	5,30	0,60	<0,20	3,44	1,04	0,20	0,71	0,09
	Akpc	10-20	7,5	0,00	5,05	0,66	<0,20	3,49	1,13	0,63	0,65	<b>0,12</b>
	A/CGoc(Bn)	40-50	7,7	0,00	3,75	0,69	5,46	3,55	2,60	3,47	0,07	<b>0,12</b>
	CGroc(Bn)	55-60	7,8	0,00	3,60	0,81	6,43	3,55	2,94	5,26	0,04	<b>0,12</b>
	CGroc(Bn)	70-80	7,7	0,00	2,45	1,46	7,01	3,55	2,94	5,00	0,03	<b>0,16</b>
	CGroc(Bn)	100-110	7,4	0,00	2,30	4,71	9,32	5,56	5,16	3,31	0,05	<b>0,24</b>
Kamenín 400138	Ame	0-10	7,7	0,00	13,80	0,99	1,06	0,58	0,32	7,95	0,78	<b>0,27</b>
	Ame	10-20	<b>8,5</b>	0,00	25,40	0,82	1,05	0,76	0,29	21,12	0,92	<b>0,34</b>
	Ame	20-30	8,4	0,00	32,60	0,94	2,10	0,55	0,27	23,02	0,95	<b>0,41</b>
	Ame	40-50	<b>8,6</b>	0,00	45,20	1,90	11,30	0,83	0,66	50,40	3,43	<b>1,03</b>
	Bn	60-70	8,4	0,00	37,00	2,73	10,80	0,42	0,39	50,37	4,43	<b>0,75</b>
	Bn	80-90	<b>8,5</b>	6,00	20,10	2,06	4,40	1,44	0,24	25,65	0,58	<b>0,29</b>
	Bn	100-110	8,0	3,60	11,30	1,09	0,90	2,02	0,31	7,12	0,34	<b>0,14</b>
Malé Raškovce 400229	Akp	0-10	6,6	<0,5	2,95	0,48	0,20	1,39	0,62	0,53	0,11	0,04
	Akp	20-30	5,7	<0,5	1,20	0,31	0,34	0,28	0,13	1,15	0,09	0,04
	Aoe	35-45	6,7	<0,5	1,50	0,37	<0,20	0,94	0,09	1,69	0,13	0,03
	Bn	50-60	7,9	<0,5	7,15	0,32	<0,20	0,52	0,95	4,25	0,06	0,05
	Bn	70-80	7,7	<0,5	9,30	0,35	<0,20	0,45	0,62	7,61	0,09	0,05
	Bn	120-130	7,9	3,00	7,45	0,35	0,18	0,22	0,37	8,25	0,02	0,04
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	<b>8,6</b>	7,55	12,20	0,74	2,67	0,24	0,09	15,35	0,18	<b>0,28</b>
	AoGo	10-20	<b>8,6</b>	4,95	30,51	0,57	5,82	1,04	1,06	20,68	0,30	<b>0,69</b>
	AoGo	20-30	8,3	4,25	28,21	0,69	9,42	1,44	0,51	20,31	0,27	<b>0,81</b>
	Gro	35-45	8,0	0,00	18,36	0,66	9,26	2,50	0,34	19,84	0,29	<b>0,61</b>
	Gro	55-65	7,6	0,00	10,51	0,59	7,80	2,16	0,28	12,34	0,21	<b>0,37</b>
	Gro	75-85	7,7	0,00	10,51	0,47	8,02	0,25	0,18	10,80	0,13	<b>0,37</b>

**Poznámka:** údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť soľných procesov

Intenzita salinizácie v pôdach s jej nerozvinutým procesom je však slabá. Slabú – počiatočnú až strednú salinizáciu, s obsahom solí 0,10 – 0,35 %, sme zaznamenali

v jednotlivých horizontoch lokalít Iža, Gabčíkovo, Zemné, Komárno-Hadovce a Zlatná na Ostrove.

Vysoký (0,36 – 0,70 %) až extrémne vysoký (nad 0,71 %) obsah solí bol v lokalite Kamenín a v lokalite Žiar nad Hronom, kde sú tieto soli antropogénneho pôvodu.

**Tab. 5** Rozbor nasýteného extraktu pôd v roku 2009

Lokalita	Horizont	Hĺbka cm	ECe mS.m <sup>-1</sup>	Na	Mg mmol.l <sup>-1</sup>	Ca	SAR	ESP %
Iža 400180	Akpc	0-10	70	0,24	1,09	2,42	0,18	1,3
	Akpc	15-25	59	0,26	0,98	2,27	0,21	1,6
	Amčc	30-40	60	0,47	1,12	2,12	0,37	3,0
	CGo	75-85	85	1,80	2,34	1,14	1,36	<b>7,7</b>
	CGo(Bn)	90-100	97	3,48	2,24	1,89	2,42	<b>9,5</b>
Zemné 400179	Akpc	0-10	55	0,55	0,46	3,23	0,40	3,3
	Akpc	10-20	58	0,44	0,50	3,06	0,33	2,7
	A/CGo(Bn)	45-55	66	2,03	0,48	2,38	1,70	<b>8,4</b>
	CGro(Bn)	65-75	88	3,51	0,60	2,45	2,84	<b>10,0</b>
	CGr(Bn)	100-110	-	2,65	0,90	4,73	1,58	<b>8,2</b>
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	75	0,26	1,63	5,48	0,14	0,9
	Akpc	10-20	75	0,19	1,70	5,64	0,10	0,6
	Amčc	40-50	155	2,07	4,01	9,51	0,80	<b>5,7</b>
	A/CGo	65-75	<b>200</b>	5,08	9,04	12,80	1,54	<b>8,1</b>
	CGroc(Bn)	90-100	<b>216</b>	4,64	8,72	14,60	1,36	<b>7,7</b>
	CGroc(Bn)	100-110	<b>212</b>	3,88	7,82	14,20	1,17	<b>7,1</b>
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	71	0,49	1,57	3,98	0,30	2,4
	Akpc	10-20	72	0,86	1,65	4,00	0,51	4,1
	A/CGoc(Bn)	40-45	83	1,05	2,53	5,01	0,54	4,3
	CGoc(Bn)	50-65	76	2,47	3,18	3,53	1,35	<b>7,6</b>
	CGoc(Bn)	100-110	189	14,60	13,25	5,76	4,73	<b>11,1</b>
Komárno Hadovce 400178	Akpc	0-10	66	0,15	2,35	5,52	0,08	0,4
	Akpc	10-20	71	0,42	3,52	8,37	0,17	1,2
	A/CGoc(Bn)	40-50	193	5,92	4,84	5,67	2,58	<b>9,7</b>
	CGroc(Bn)	55-60	0	7,97	5,57	5,65	3,37	<b>10,4</b>
	CGroc(Bn)	70-80	0	9,19	6,47	6,94	3,55	<b>10,5</b>
	CGroc(Bn)	100-110	0	7,65	12,96	12,90	2,13	<b>9,2</b>
Kamenín 400138	Ame	0-10	0	19,27	0,87	1,84	15,50	<b>12,6</b>
	Ame	10-20	0	22,40	0,51	1,36	23,20	<b>12,8</b>
	Ame	20-30	-	24,00	0,40	0,72	32,00	<b>13,0</b>
	Ame	40-50	-	49,10	0,69	1,06	52,60	<b>13,1</b>
	Bn	60-70	-	55,00	0,36	0,92	68,70	<b>13,2</b>
	Bn	80-90	3	20,20	0,22	0,43	35,60	<b>13,0</b>
	Bn	100-110	3	7,29	0,26	0,42	12,20	<b>12,4</b>
Malé Raškovec 400229	Akp	0-10	<b>689</b>	0,58	1,17	2,50	0,43	3,5
	Akp	20-30	<b>399</b>	1,73	0,60	0,75	2,11	<b>9,1</b>
	Aoe	35-45	<b>294</b>	1,76	0,33	0,42	2,88	<b>10,0</b>
	Bn	50-60	<b>390</b>	2,82	0,36	0,33	4,83	<b>11,2</b>
	Bn	70-80	<b>539</b>	4,86	0,21	0,24	10,20	<b>18,9</b>
	Bn	120-130	<b>523</b>	4,36	0,10	0,15	12,36	<b>23,4</b>
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	3	24,60	0,07	0,59	42,80	<b>13,1</b>
	AoGo	10-20	-	25,40	0,54	1,87	23,10	<b>12,8</b>
	AoGo	20-30	3	44,80	0,24	0,55	71,40	<b>13,2</b>
	Gro	35-45	3	29,10	0,12	0,60	48,50	<b>13,1</b>
	Gro	55-65	3	25,00	0,17	0,55	41,60	<b>13,1</b>
	Gro	75-85	-	25,40	0,05	0,98	35,50	<b>13,0</b>

SAR – sodíkový adsorpčný pomer

ESP – obsah výmenného sodíka

Elektrická vodivosť pôdneho extraktu (ECe) v monitorovaných pôdach potvrdzuje slabú salinizáciu (200-400 mS.m<sup>-1</sup>) v podvrchových horizontoch (65-110 cm) lokality

Gabčíkovo a slabú až strednú (400-800 mS.m<sup>-1</sup>) salinizáciu v celom pôdnom profile lokality Malé Raškovce (tab.5) .

Charakter salinizácie indikovaný obsahom iónov Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (tab.4) potvrdzuje, že prebiehajúci proces má charakter zmiešanej a sódovej salinizácie.

### Vývoj salinizácie

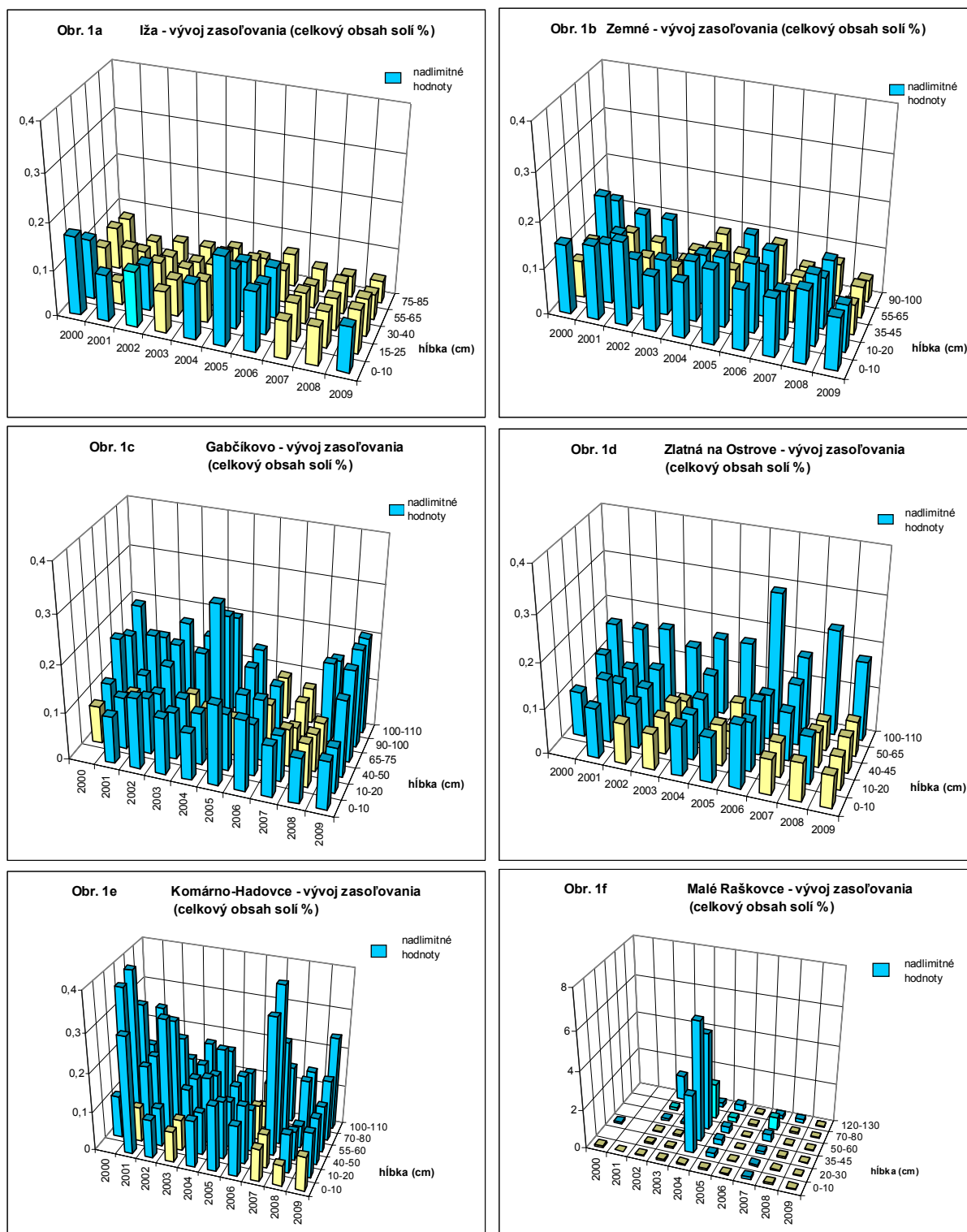
V priebehu posledných desiatich rokov (2000 – 2009) sme vo vývoji salinizácie pôd nezaznamenali žiadne preukazné trendy. Celkový obsah solí v pôdach s počiatočným štádiom salinizácie (Iža, Zemné, Gabčíkovo a Zlatná na Ostrove) len ojedinele v niektorých rokoch a horizontoch mierne prevyšuje hornú hranicu slabej salinizácie (0,15 %; tab.6, obr.1a-g) .

**Tab. 6** Vývoj salinizácie – celkový obsah solí

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Celkový obsah solí v % (odparok 105°C)									
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
400180 Iža	Akpc	0-10	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	0,09	<b>0,12</b>	<b>0,19</b>	<b>0,13</b>	0,08	0,08	<b>0,10</b>
	Akpc	15-25	<b>0,13</b>	0,05	<b>0,10</b>	0,08	0,09	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	0,08	0,08	0,09
	Amčc	30-40	0,08	0,09	0,07	0,07	0,09	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	0,07	0,07	0,08
	CGo	55-65	0,09	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,05	0,07	0,05
	CGo(Bn)	75-85	0,08	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05
400176 Gabčíkovo	Akpc	0-10	-	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	0,10	<b>0,11</b>
	Akpc	10-20	0,08	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	0,09	<b>0,10</b>
	A/CGo(Bn)	40-50	<b>0,10</b>	0,09	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	0,09	0,08	<b>0,13</b>	0,08	0,08	0,07
	CGro(Bn)	65-75	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	0,08	<b>0,28</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	0,05	0,07	0,07
	CGr(Bn)	90-100	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	0,08	<b>0,17</b>	0,05
	Akpc	100-110	<b>0,19</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>	0,08	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>
400172 Zlatná na Ostrove	Akpc	0-10	-	<b>0,11</b>	0,09	0,08	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	0,08	0,09	<b>0,10</b>
	Amčc	10-20	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	<b>0,10</b>	0,08	<b>0,10</b>	0,09	<b>0,11</b>	0,08	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>
	A/CGo	40-45	0,03	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	0,08	<b>0,10</b>	0,04	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	0,08	<b>0,19</b>
	CGroc(Bn)	50-65	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	0,05	<b>0,12</b>	0,07	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	0,07	<b>0,21</b>
	CGroc(Bn)	100-110	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>	<b>0,23</b>	<b>0,20</b>
400178 Komárno - Hadovce	Akpc	0-10	-	<b>0,30</b>	<b>0,10</b>	0,08	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	0,08	0,05	0,07
	Akpc	10-20	<b>0,11</b>	0,09	<b>0,10</b>	0,08	<b>0,11</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	0,09	<b>0,10</b>	0,07
	A/CGoc(Bn)	40-50	<b>0,36</b>	<b>0,17</b>	<b>0,30</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,35</b>	0,07	0,08
	CGoc(Bn)	55-60	<b>0,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,27</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,46</b>	0,06	0,08
	CGoc(Bn)	70-80	<b>0,27</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>	<b>0,19</b>	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>	<b>0,24</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>
	Akpc	100-110	<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	0,09
400179 Zemné	Akpc	0-10	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,18</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,16</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,12</b>
	A/CGoc(Bn)	10-20	0,08	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>
	CGroc(Bn)	35-45	0,09	<b>0,12</b>	0,08	0,07	<b>0,11</b>	0,09	<b>0,10</b>	0,07	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>
	CGroc(Bn)	55-65	<b>0,16</b>	0,09	0,08	0,05	0,09	0,09	<b>0,11</b>	0,06	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>
	CGroc(Bn)	90-100	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	0,04	0,09	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	0,05	0,07	<b>0,24</b>
400138 Kamenín	Ame	0-10	<b>0,15</b>	0,09	<b>1,46</b>	<b>0,24</b>	<b>0,99</b>	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>	<b>0,34</b>	<b>0,32</b>	<b>0,27</b>
	Ame	10-20	<b>0,34</b>	0,09	<b>0,68</b>	<b>0,39</b>	<b>2,45</b>	<b>0,6</b>	<b>0,19</b>	<b>0,43</b>	<b>0,68</b>	<b>0,34</b>
	Ame	20-30	<b>0,40</b>	<b>0,14</b>	<b>1,34</b>	<b>0,55</b>	<b>2,72</b>	<b>0,65</b>	<b>0,14</b>	<b>0,86</b>	<b>1,14</b>	<b>0,41</b>
	Ame	40-50	<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	<b>1,16</b>	<b>0,88</b>	<b>3,54</b>	<b>0,83</b>	<b>0,09</b>	<b>1,20</b>	<b>1,04</b>	<b>1,03</b>
	Bn	60-70	<b>0,13</b>	<b>0,30</b>	<b>0,69</b>	<b>0,69</b>	<b>3,37</b>	<b>0,5</b>	<b>0,11</b>	<b>1,03</b>	<b>0,54</b>	<b>0,75</b>
	Bn	80-90	-	<b>0,34</b>	<b>0,26</b>	<b>0,36</b>	<b>1,63</b>	<b>0,38</b>	<b>0,1</b>	<b>0,34</b>	<b>0,39</b>	<b>0,29</b>
400229 Malé Raškovce	Bn	0-10	0,08	0,02	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	<b>0,13</b>	0,08	<b>0,14</b>
	Akp	20-30	-	-	0,07	0,08	<b>3,02</b>	<b>0,22</b>	0,05	<b>0,10</b>	0,07	0,04
	Akp	35-45	<b>0,11</b>	-	0,06	0,08	<b>6,18</b>	<b>0,29</b>	0,05	<b>0,13</b>	0,08	0,04
	Aoe	50-60	-	-	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>5,04</b>	<b>0,32</b>	0,04	<b>0,37</b>	0,06	0,03
	Bn	70-80	-	-	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>1,83</b>	<b>0,23</b>	0,06	<b>0,67</b>	0,09	0,05
	Bn	120-130	-	-	1,32	0,24	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	0,06	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	0,05
400063 Žiar nad Hronom	AoGo	0-10	0,00	<b>0,31</b>	<b>0,82</b>	<b>1,13</b>	<b>5,16</b>	<b>0,9</b>	<b>0,83</b>	<b>0,57</b>	<b>0,61</b>	0,04
	AoGo	10-20	-	-	-	-	<b>6,25</b>	<b>1,1</b>	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	<b>0,76</b>	<b>0,28</b>
	AoGo	20-30	-	<b>0,46</b>	<b>1,15</b>	<b>1,26</b>	<b>5,74</b>	<b>1,11</b>	<b>1,12</b>	<b>1,10</b>	<b>0,79</b>	<b>0,69</b>
	Gro	30-45	0,07	<b>0,29</b>	<b>1,26</b>	<b>0,85</b>	<b>7,27</b>	<b>1,09</b>	<b>1,04</b>	<b>1,06</b>	<b>1,87</b>	<b>0,81</b>
	Gro	55-65	-	-	-	-	<b>7,04</b>	<b>3,04</b>	<b>0,78</b>	<b>0,93</b>	<b>1,15</b>	<b>0,61</b>
	Gro	75-85	-	-	-	-	<b>7,29</b>	<b>3,29</b>	0,44	<b>1,31</b>	<b>0,63</b>	<b>0,37</b>

Poznámka: údaje vytlačené tučne – nadlimitné hodnoty

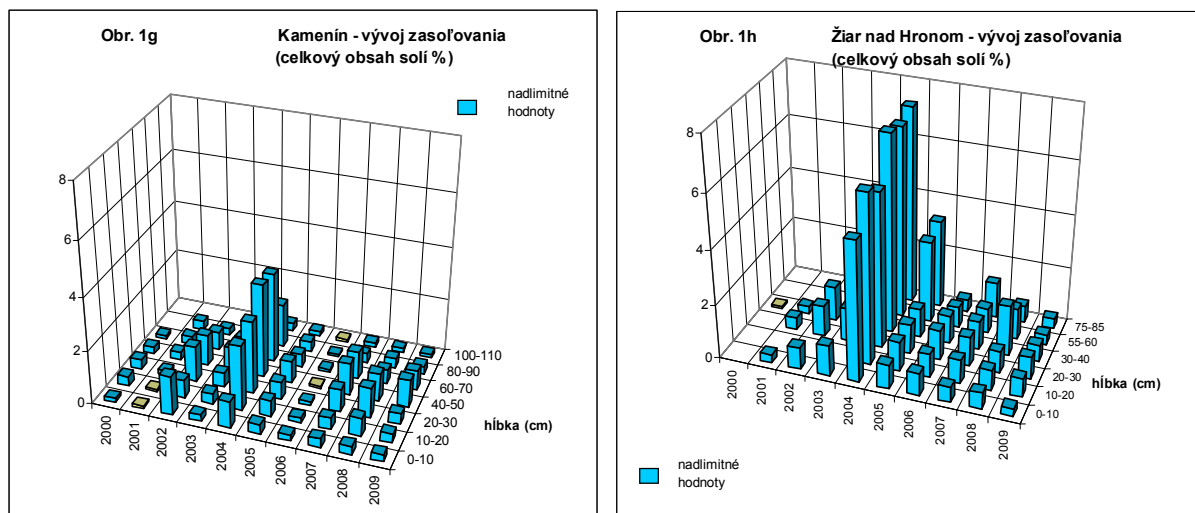
**Obr. 1** Vývoj salinizácie - celkový obsah solí %



V profiloch lokalít Komárno-Hadovce a Malé Raškovce je tento proces výraznejší a prejavuje sa často vyšším obsahom solí hlavne v podornicových horizontoch a v substráte.

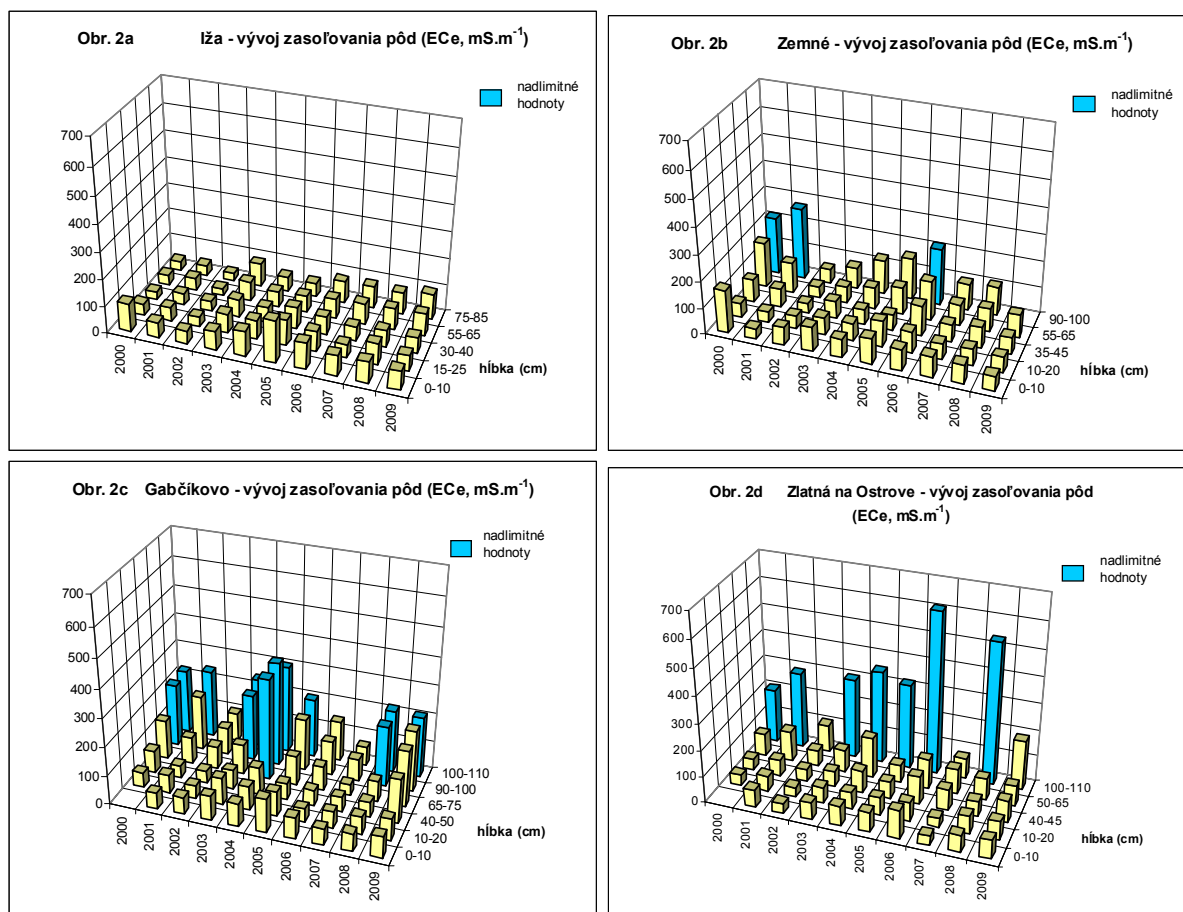
V pôdach lokalít Kamenín a Žiar nad Hronom je obsah solí v jednotlivých rokoch a horizontoch prevažne vysoký, indikujúci procesy silnej (0,35-0,70 %) až extrémnej salinizácie (obsah solí nad 0,70 %).

**Obr. 1** Vývoj salinizácie - celkový obsah solí % (pokračovanie)



Elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdy (Ece) celkom nekoreluje s obsahom solí (tab.5 a 6, obr. 2a-g.). V pôdach lokalít z nízkym obsahom solí (Iža, Zemné, Gabčíkovo a Zlatná na Ostrove) len ojedinele prekračuje hodnotu  $200 \text{ mS.m}^{-1}$  a indikuje pôdy bez salinizácie. Len v pôdach a horizontoch so stredným a vysokým obsahom solí (Komárno-Hadovce, Kamenín, Žiar nad Hronom a Malé Raškovce) hodnota Ece kolíše v intervale  $200 - 400 \text{ mS.m}^{-1}$  a indikuje slabú salinizáciu.

**Obr. 2** Vývoj salinizácie - Ece,  $\text{mS.m}^{-1}$



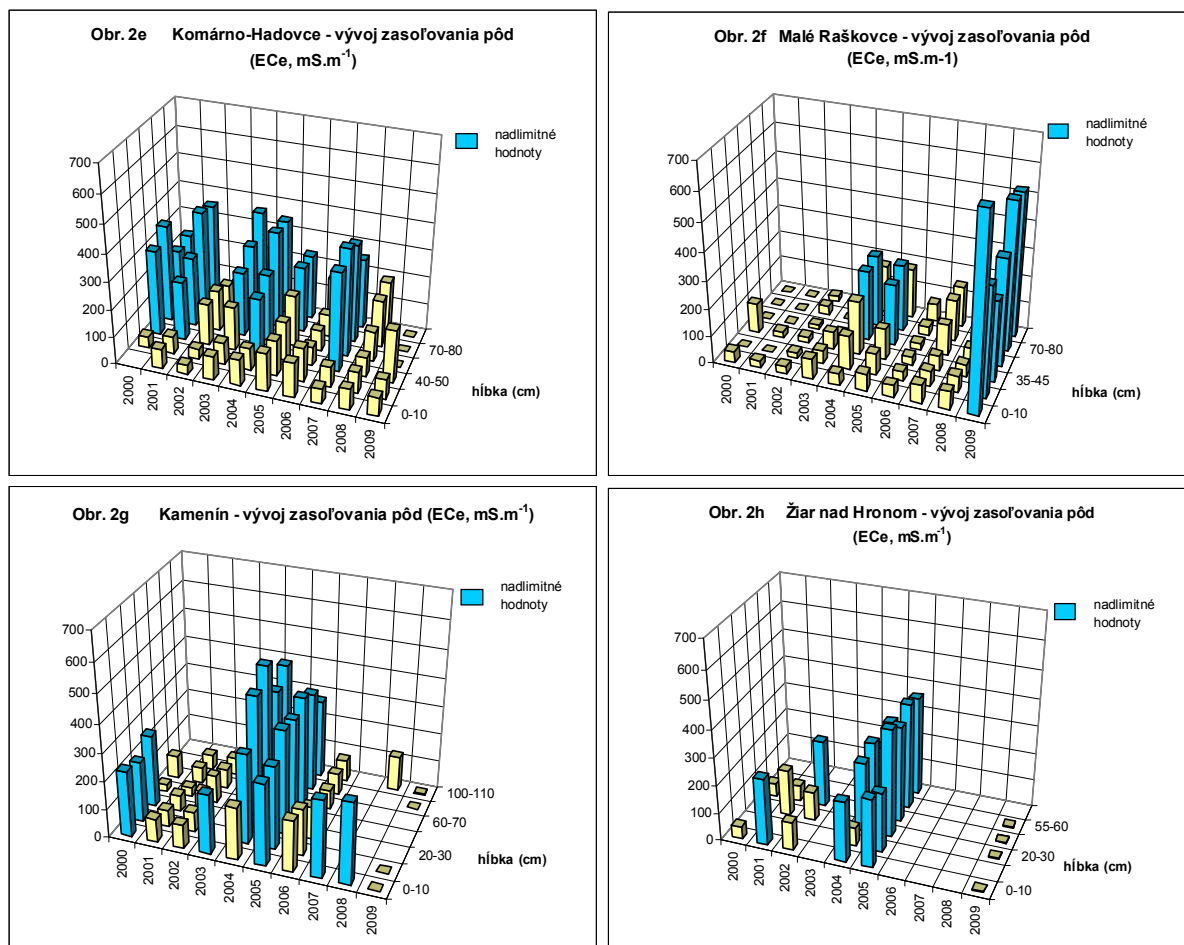


Tab. 7 Vývoj salinizácie – elektrická vodivosť (ECe)

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Elektrická vodivosť (mS.m <sup>-1</sup> )									
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Iža 400180	Akpc	0-10	106	57	49	71	95	158	99	77	79	70
	Akpc	15-25	43	51	38	72	71	95	76	50	79	59
	Amčc	30-40	29	45	36	65	58	79	66	52	63	60
	CGo	55-65	38	47	26	74	57	64	72	77	83	85
	CGo(Bn)	75-85	34	39	28	87	55	51	81	84	81	97
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10		57	60	87	80	119	75	57	62	75
	Akpc	10-20	53	63	46	92	83	86	48	57	62	75
	A/CGo(Bn)	40-50	79	43	43	66	96	58	55	51	55	155
	CGro(Bn)	65-75	136	92	80	105	<b>357</b>	101	85	41	71	<b>200</b>
	CGr(Bn)	90-100	<b>218</b>	195	97	<b>233</b>	<b>365</b>	182	121	76	<b>212</b>	<b>216</b>
	Akpc	100-110	<b>223</b>	<b>238</b>	99	<b>241</b>	<b>305</b>	<b>205</b>	141	68	<b>218</b>	<b>212</b>
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	-	67	38	65	75	75	107	35	63	71
	Amčc	10-20	40	58	36	59	64	67	72	36	68	72
	A/CGo	40-45	43	60	45	60	84	64	108	80	58	83
	CGroc(Bn)	50-65	83	115	62	84	152	69	113	96	82	76
	CGroc(Bn)	100-110	<b>207</b>	<b>291</b>	105	<b>304</b>	<b>352</b>	<b>320</b>	<b>611</b>	78	<b>536</b>	189
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10	-	73	34	85	97	139	126	55	75	66
	Akpc	10-20	42	63	37	79	79	128	123	73	77	71
	A/CGoc(Bn)	40-50	<b>309</b>	<b>212</b>	149	156	<b>208</b>	141	70	<b>360</b>	73	193
	CGoc(Bn)	55-60	<b>355</b>	<b>252</b>	147	<b>233</b>	<b>244</b>	186	75	<b>394</b>	111	0
	CGoc(Bn)	70-80	<b>214</b>	<b>375</b>	117	<b>284</b>	<b>351</b>	<b>239</b>	80	<b>358</b>	172	0
	Akpc	100-110	<b>227</b>	<b>355</b>	68	<b>362</b>	<b>346</b>	<b>234</b>	<b>164</b>	<b>255</b>	192	0
Zemné 400179	Akpc	0-10	164	39	68	92	71	98	81	77	73	55
	A/CGoc(Bn)	10-20	52	43	48	65	65	98	81	60	64	58
	CGroc(Bn)	35-45	85	73	37	66	57	58	116	67	81	66
	CGroc(Bn)	55-65	171	115	43	62	82	102	147	81	89	88
	CGroc(Bn)	90-100	<b>218</b>	<b>273</b>	53	80	129	158	<b>215</b>	101	111	-
Kamenín 400138	Ame	0-10	<b>232</b>	83	84	<b>210</b>	186	<b>288</b>	182	<b>273</b>	<b>286</b>	0
	Ame	10-20	<b>212</b>	59	71	-	<b>316</b>	<b>293</b>	164	-	-	0
	Ame	20-30	<b>257</b>	57	92	-	<b>466</b>	<b>367</b>	117	-	-	-
	Ame	40-50	25	33	97	-	<b>520</b>	<b>354</b>	71	-	-	-
	Bn	60-70	82	57	69	-	<b>388</b>	<b>382</b>	69	-	-	-
	Bn	80-90	-	54	60	-	<b>434</b>	<b>349</b>	76	-	-	3
Malé Raškovce 400229	Bn	0-10	39	26	27	74	42	62	44	66	65	<b>689</b>
	Akp	20-30	-	-	20	47	121	77	34	57	60	<b>399</b>
	Akp	35-45	109	22	22	61	194	113	30	53	43	<b>294</b>
	Aoe	50-60	-	-	13	-	<b>251</b>	<b>221</b>	24	114	47	<b>390</b>
	Bn	70-80	-	-	34	-	<b>259</b>	<b>242</b>	33	151	51	<b>539</b>
	Bn	120-130	-	-	21	-	174	178	65	149	59	<b>523</b>
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	46	<b>241</b>	103	-	<b>219</b>	<b>247</b>	-	-	-	3
	AoGo	10-20	-	-	-	-	66	<b>215</b>	-	-	-	-
	AoGo	20-30	-	167	106	-	<b>251</b>	<b>387</b>	-	-	-	3
	Gro	30-45	46	57	<b>244</b>	-	<b>273</b>	<b>348</b>	-	-	-	3
	Gro	55-65	-	-	-	-	<b>207</b>	<b>382</b>	-	-	-	3
	Gro	75-85	-	-	-	-	<b>254</b>	<b>359</b>	-	-	-	-

Z údajov tab.4 ďalej vyplýva veľká priestorová a horizontálna variabilita nameraných hodnôt obsahu solí a elektrickej vodivosti. Tento jav je u nás pre vývoj a rozšírenie solných pôd typický.

**Obr. 2** Vývoj salinizácie - Ece, mS.m<sup>-1</sup> (pokračovanie)



### Sodifikácia pôd

Sodifikácia pôd ako proces viazania výmenného sodíka na sorpčný komplex monitorovaných pôd v r. 2009 je porovnateľný s predchádzajúcimi rokmi.

Nízky obsah výmenného sodíka ( $ESP < 5\%$ ) sa zachoval v povrchových horizontoch všetkých monitorovaných lokalít s výnimkou lokalít Kamenín a Žiar nad Hronom (tab. 5). V spodnejších horizontoch týchto lokalít a v celom pôdnom profile lokality Kamenín indikuje obsah výmenného sodíka v sorpčnom komplexe v rozmedzí 5-15 % slabú až strednú sodifikáciu.

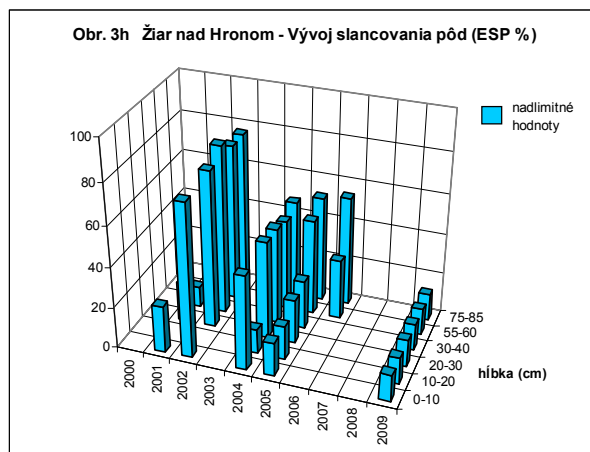
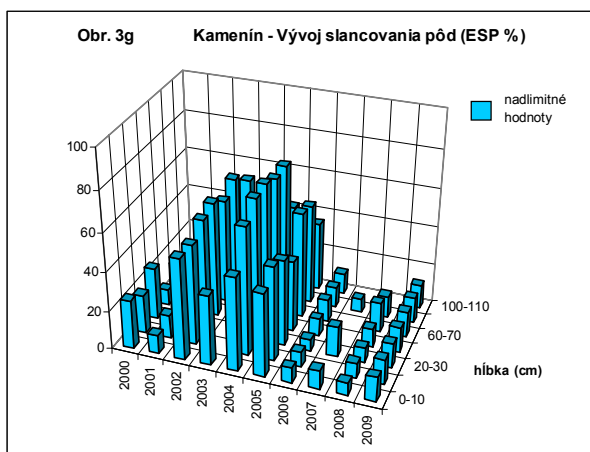
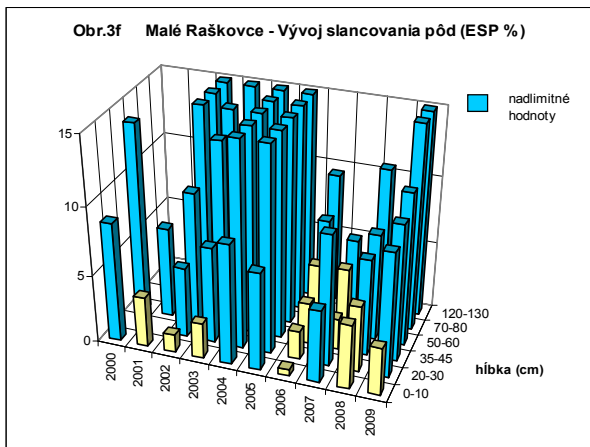
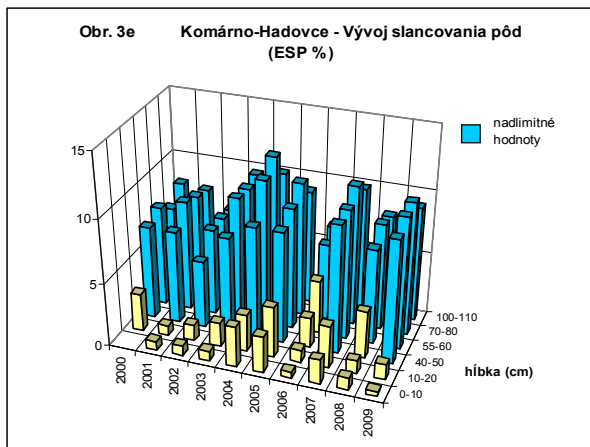
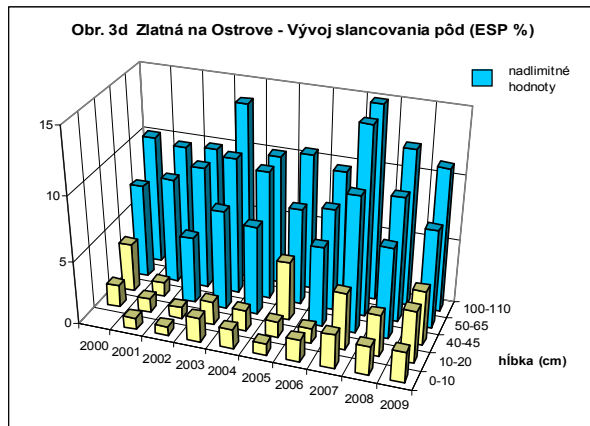
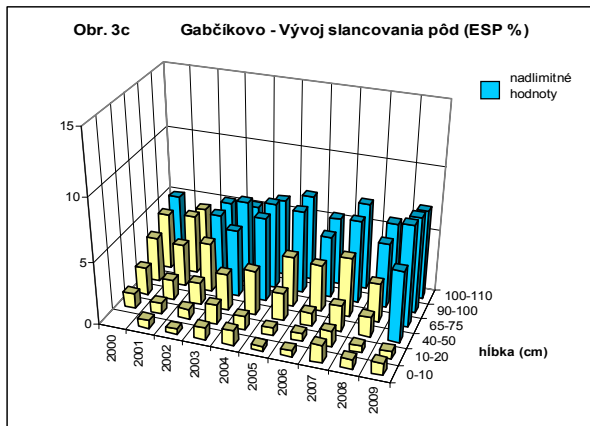
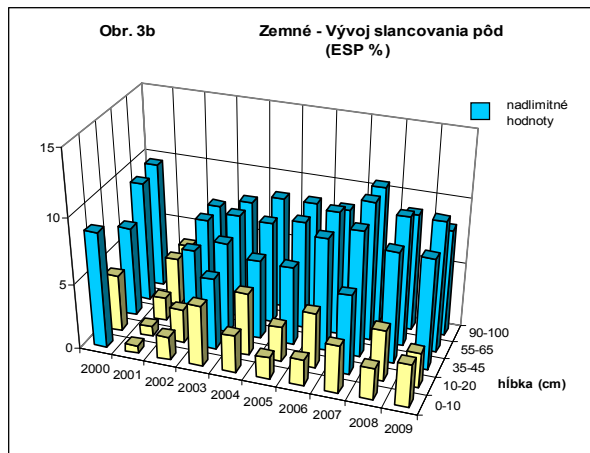
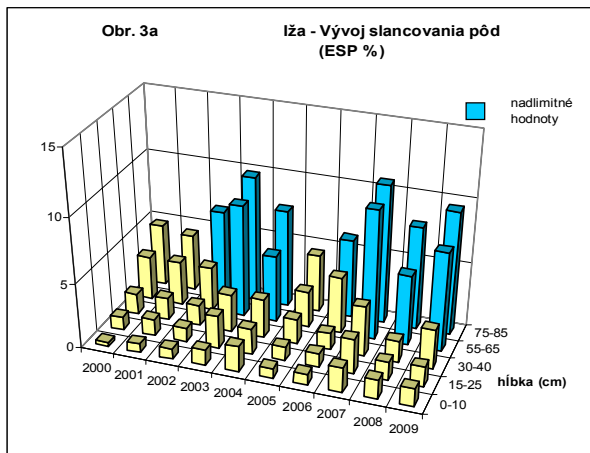
Hodnoty pôdnej reakcie (pH) ako indikátora sodifikácie pôdy potvrdzujú silne alkalickú reakciu všetkých pôd a horizontov ( $pH > 7,7$  - tab.2). Veľmi silnú alkalickú reakciu ( $pH > 8,5$ ) majú profily lokalít Kamenín a Žiar nad Hronom.

### Vývoj sodifikácie pôd

Vývoj sodifikácie pôd za obdobie posledných 10 rokov (2000-2009) hodnotíme podľa obsahu výmenného sodíka (ESP) a pôdnej reakcie (pH).

Sodifikáciu pôd definovanú obsahom výmenného sodíka nad 5 % ( $ESP > 5\%$ ) udáva tab.8 a obr.3a-g. Z nameraných údajov vyplýva, že tento proces je prítomný vo všetkých monitorovaných pôdach a v porovnaní s procesom salinizácie je výraznejší – dominantný. V monitorovaných pôdach je sodifikácia prítomná v troch vývojových štádiách.

Obr. 3 Vývoj slancovania - ESP %



**Tab. 8** Vývoj sodifikácie – obsah výmenného sodíka (ESP)

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Obsah výmenného sodíka (%)									
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Iža 400180	Akpc	0-10	0,3	0,7	0,8	1,2	2,0	0,8	0,9	1,9	1,5	1,3
	Akpc	15-25	1,0	1,3	1,1	2,5	2,0	1,1	1,1	2,7	1,4	1,6
	Amčc	30-40	1,6	1,7	1,6	2,9	3,0	1,9	1,3	3,9	1,7	3,0
	CGo	55-65	3,4	3,4	3,4	<b>8,7</b>	<b>5,2</b>	2,8	4,4	<b>10,0</b>	<b>5,4</b>	<b>7,7</b>
	CGo(Bn)	75-85	4,8	4,4	<b>6,7</b>	<b>9,8</b>	<b>7,6</b>	4,5	<b>6,1</b>	<b>10,8</b>	<b>8,0</b>	<b>9,5</b>
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	-	0,7	0,4	1,0	1,2	0,4	0,5	1,4	0,8	0,9
	Akpc	10-20	1,2	0,9	0,8	1,6	1,1	0,6	0,6	1,3	0,5	0,6
	A/CGo(Bn)	40-50	2,2	1,6	1,8	2,9	3,6	2,2	1,1	2,1	1,6	<b>5,7</b>
	CGro(Bn)	65-75	3,6	3,4	3,9	<b>5,4</b>	<b>6,7</b>	4	3,7	4,7	3,1	<b>8,1</b>
	CGr(Bn)	90-100	4,5	4,7	<b>5,2</b>	<b>6,6</b>	<b>6,8</b>	<b>6,6</b>	<b>5,0</b>	<b>6,6</b>	<b>5,2</b>	<b>7,7</b>
	Akpc	100-110	<b>5,0</b>	4,3	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>	<b>6,1</b>	<b>6,8</b>	<b>5,4</b>	<b>6,9</b>	<b>5,7</b>	<b>7,1</b>
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	-	0,9	0,7	1,9	1,5	0,9	1,7	2,6	2,3	2,4
	Amčc	10-20	1,7	1,1	0,9	1,8	1,6	1,2	1,2	4,4	3,3	4,1
	A/CGo	40-45	3,8	1,1	<b>5,2</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>	4,6	<b>6,2</b>	<b>10,5</b>	<b>7,1</b>	4,3
	CGroc(Bn)	50-65	<b>7,3</b>	<b>8,2</b>	<b>9,5</b>	<b>10,6</b>	<b>10,0</b>	<b>7,5</b>	<b>7,9</b>	<b>14,5</b>	<b>9,7</b>	<b>7,6</b>
	CGroc(Bn)	100-110	<b>10,1</b>	<b>9,7</b>	<b>9,9</b>	<b>13,7</b>	<b>10,1</b>	<b>10,6</b>	<b>9,7</b>	<b>16,1</b>	<b>12,2</b>	<b>11,1</b>
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10	-	0,7	0,8	0,8	3,2	2,9	0,5	2,0	1,0	0,4
	Akpc	10-20	3,0	0,8	1,3	1,9	3,0	4	1,0	3,4	1,1	1,2
	A/CGoc(Bn)	40-50	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>5,3</b>	<b>7,6</b>	<b>8,8</b>	<b>8,8</b>	<b>2,4</b>	<b>10,1</b>	3,8	<b>9,7</b>
	CGoc(Bn)	55-60	<b>7,9</b>	<b>8,7</b>	<b>6,8</b>	<b>9,7</b>	<b>11,4</b>	<b>9,6</b>	<b>4,2</b>	<b>10,2</b>	<b>7,5</b>	<b>10,4</b>
	CGoc(Bn)	70-80	<b>6,9</b>	<b>8,2</b>	<b>6,8</b>	<b>9,5</b>	<b>12,3</b>	<b>10,6</b>	<b>6,1</b>	<b>11,0</b>	<b>8,4</b>	<b>10,5</b>
	Akpc	100-110	<b>8,0</b>	<b>7,8</b>	<b>6,5</b>	<b>9,7</b>	<b>10,1</b>	<b>9</b>	<b>6,5</b>	<b>9,9</b>	<b>8,1</b>	<b>9,2</b>
Zemné 400179	Akpc	0-10	<b>8,9</b>	0,6	1,8	4,7	2,9	1,7	2,0	3,6	2,5	3,3
	A/CGoc(Bn)	10-20	4,4	0,8	2,6	<b>5,5</b>	4,8	2,7	4,3	<b>6,1</b>	3,9	2,7
	CGroc(Bn)	35-45	<b>6,9</b>	1,8	<b>6,0</b>	<b>7,0</b>	<b>6,1</b>	<b>6</b>	<b>8,7</b>	<b>9,6</b>	<b>8,5</b>	<b>8,4</b>
	CGroc(Bn)	55-65	<b>9,3</b>	3,7	<b>7,2</b>	<b>8,0</b>	<b>7,8</b>	<b>8,3</b>	<b>9,5</b>	<b>10,6</b>	<b>9,9</b>	<b>10,0</b>
	CGroc(Bn)	90-100	<b>9,7</b>	3,6	<b>7,2</b>	<b>7,9</b>	<b>8,6</b>	<b>8,6</b>	<b>8,5</b>	<b>10,6</b>	<b>8,9</b>	<b>8,2</b>
Kamenín 400138	Ame	0-10	<b>25,1</b>	<b>9,8</b>	<b>52,0</b>	<b>36,2</b>	<b>48,1</b>	<b>42,9</b>	<b>8,0</b>	<b>9,7</b>	<b>6,6</b>	<b>12,6</b>
	Ame	10-20	<b>20,1</b>	<b>12,4</b>	<b>51,6</b>	-	<b>65,5</b>	<b>48,6</b>	<b>7,5</b>	-	<b>8,0</b>	<b>12,8</b>
	Ame	20-30	<b>26,9</b>	<b>10,1</b>	<b>57,0</b>	-	<b>72,6</b>	<b>44,3</b>	<b>6,2</b>	<b>15,6</b>	<b>7,3</b>	<b>13,0</b>
	Ame	40-50	<b>8,0</b>	<b>12,1</b>	<b>59,1</b>	-	<b>73,2</b>	<b>36,4</b>	<b>8,9</b>	-	<b>9,3</b>	<b>13,1</b>
	Bn	60-70	<b>14,7</b>	<b>9,1</b>	<b>53,5</b>	<b>66,4</b>	<b>69,5</b>	<b>54,4</b>	<b>11,4</b>	-	<b>15,1</b>	<b>13,2</b>
	Bn	80-90	-	<b>6,3</b>	<b>58,8</b>	-	<b>69,9</b>	<b>51,4</b>	<b>10,8</b>	<b>6,9</b>	<b>11,1</b>	<b>13,0</b>
Malé Raškovce 400229	Bn	0-10	<b>8,8</b>	3,7	1,3	2,6	<b>8,8</b>	<b>7,2</b>	0,5	<b>5,3</b>	4,7	3,5
	Akp	20-30	-	-	<b>5,2</b>	<b>7,1</b>	<b>39,5</b>	<b>28,5</b>	2,1	<b>9,6</b>	4,9	<b>9,1</b>
	Akp	35-45	<b>14</b>	<b>6,7</b>	<b>9,7</b>	<b>13,7</b>	<b>50,4</b>	<b>31</b>	3,0	2,3	<b>7,1</b>	<b>10,0</b>
	Aoe	50-60	-	-	<b>16,4</b>	<b>23,5</b>	<b>53,9</b>	<b>38,2</b>	4,8	4,9	<b>7,9</b>	<b>11,2</b>
	Bn	70-80	-	-	<b>24,8</b>	<b>49,4</b>	<b>31,9</b>	<b>7,1</b>	<b>6,0</b>	<b>11,5</b>	<b>18,9</b>	
	Bn	120-130	-	-	<b>34,7</b>	<b>38,9</b>	<b>34,6</b>	<b>37,1</b>	<b>9,6</b>	3,6	2,8	<b>23,4</b>
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	-	<b>22,9</b>	<b>75,6</b>	-	<b>46,3</b>	<b>16,5</b>	-	-	-	<b>13,1</b>
	AoGo	10-20	-	-	-	-	<b>11,8</b>	<b>16,4</b>	-	-	-	<b>12,8</b>
	AoGo	20-30	-	<b>19,3</b>	<b>77,2</b>	-	<b>47,9</b>	<b>22</b>	-	-	-	<b>13,2</b>
	Gro	30-45	-	<b>10,0</b>	<b>82,9</b>	-	<b>47,4</b>	<b>23,8</b>	-	-	-	<b>13,1</b>
	Gro	55-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>13,1</b>
	Gro	70-85	-	-	<b>76,8</b>	-	<b>47,4</b>	<b>51,9</b>	<b>54,2</b>	-	-	<b>13,0</b>

**Poznámka:** údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť soľných procesov

Slabá sodifikácia (ESP 5-10 %) prebieha v pôdach lokalít Iža, Gabčíkovo a Zemné, pričom na stanovištiach Iža a Gabčíkovo je prítomné v hĺbkach pôdneho profilu pod 0,6 m - takzvaná hlboká sodifikácia, na stanovišti Zemné je už pod ornou v hĺbke 0,35 m. Pokročilejší stupeň – sodifikácia sa začína vyvíjať na stanovištiach Zlatná na Ostrove a Komárno-Hadovce, kde posledných 5 – 6 rokov v substrátových horizontoch zaznamenávame hodnoty ESP nad 10 %, pričom proces sodifikácie je prítomný už od hĺbky 0,4 m. Veľmi vysoké hodnoty ESP nad 20 % zaznamenávame nepravidelne v slancoch lokalít Malé Raškovce a Kamenín, ako aj v antropogénne zasolenej pôde lokality Žiar nad Hronom.

Sodifikácia pôd definovaná pôdnou reakciou  $pH > 7,3$  je zhrnutá v tab.9 a obr.4a-g. Z nameraných hodnôt vyplýva, že pôdna reakcia monitorovaných pôd a horizontov je

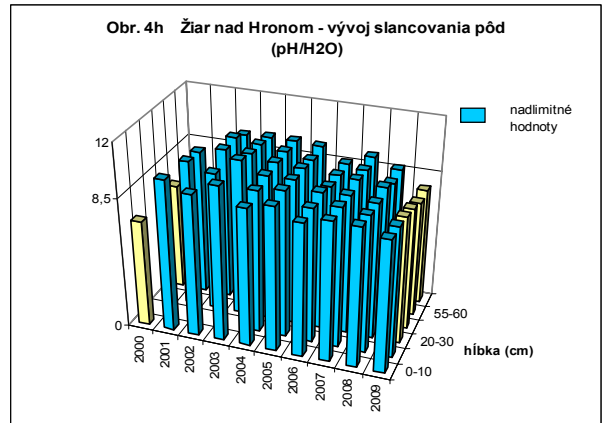
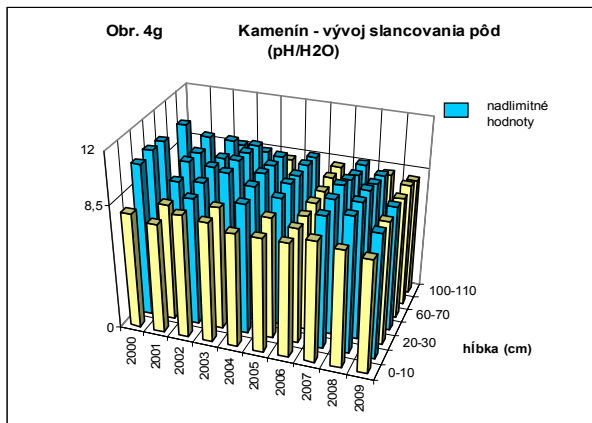
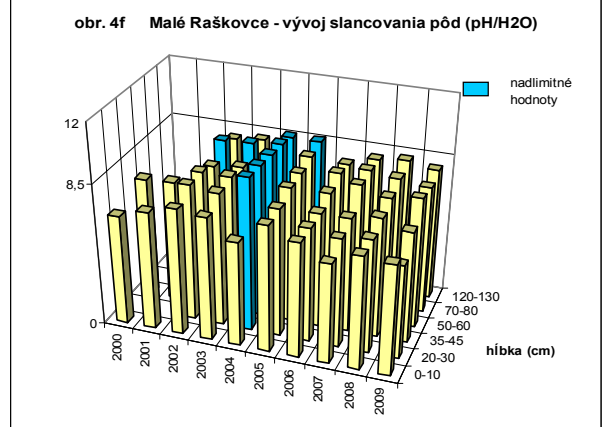
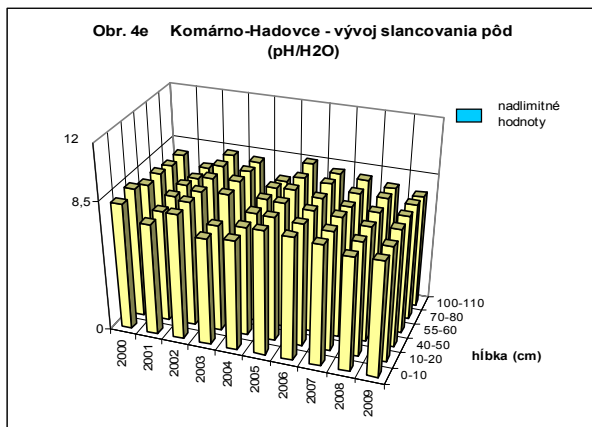
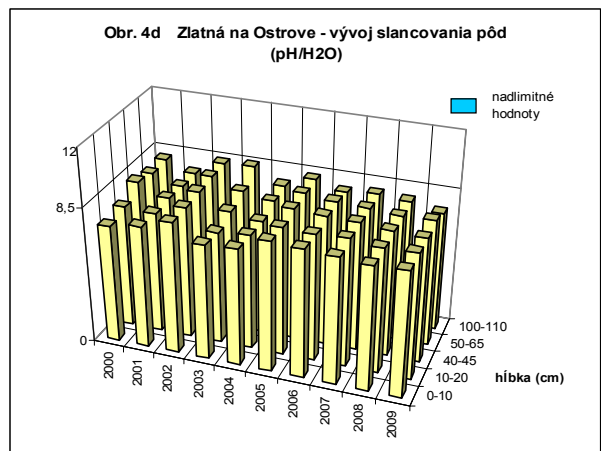
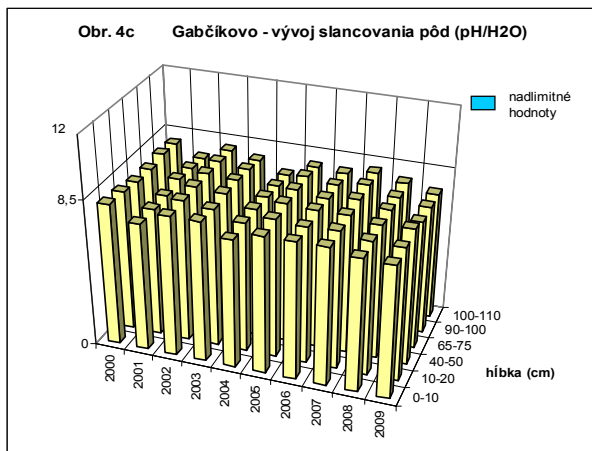
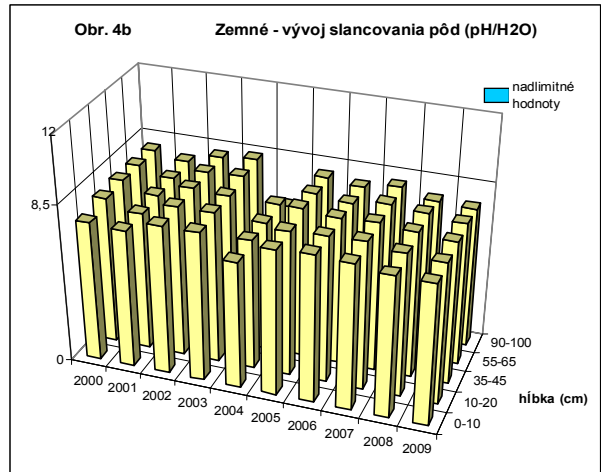
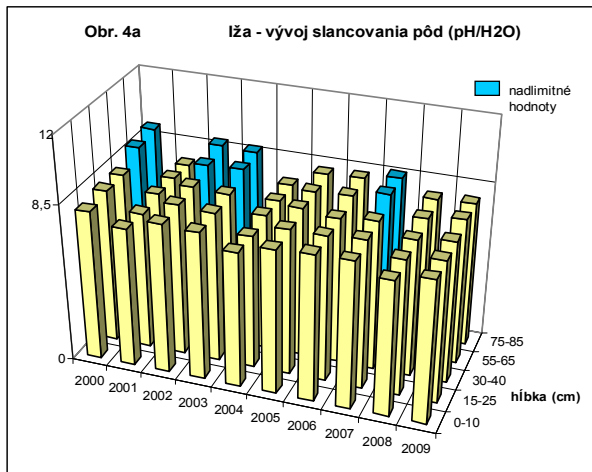
alkalická a silno alkalická (pH 7,3 – 10). Len ojedinele sme zaznamenali neutrálnu pôdnu reakciu.

Tab. 9 Vývoj sodifikácie – pH/H<sub>2</sub>O

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	pH/H <sub>2</sub> O (%)									
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Iža 400180	Akpc	0-10	8,1	7,5	8,1	8,0	7,3	7,8	7,9	7,9	7,3	7,7
	Akpc	15-25	8,3	7,4	8,2	8,1	7,2	7,9	7,9	8,1	7,4	7,7
	Amčc	30-40	8,3	7,6	8,3	8,2	7,4	8,1	7,9	8,1	7,4	7,7
	CGo	55-65	<b>9,0</b>	7,6	<b>8,6</b>	<b>8,7</b>	7,3	8,1	8,2	<b>8,6</b>	7,7	7,9
	CGo(Bn)	75-85	<b>9,2</b>	7,5	<b>8,9</b>	<b>8,8</b>	7,3	8,2	8,3	<b>8,6</b>	7,8	7,9
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	8,2	7,4	8,1	8,1	7,4	7,9	7,9	7,9	7,6	7,6
	Akpc	10-20	8,1	7,4	8,2	8,0	7,5	8,0	7,9	8,0	7,7	7,7
	A/CGo(Bn)	40-50	7,9	7,4	8,2	8,1	7,5	8,1	8,0	8,0	7,8	7,8
	CGro(Bn)	65-75	7,9	7,6	8,2	8,1	7,4	8,1	7,9	8,1	7,8	7,4
	CGr(Bn)	90-100	8,1	7,5	8,2	8,0	7,3	8,1	7,9	8,1	7,7	7,5
	Akpc	100-110	8,0	7,4	8,1	7,8	7,2	7,9	7,8	8,1	7,8	7,4
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	7,3	7,6	8,2	7,2	7,3	8,1	8,0	7,9	7,7	7,8
	Amčc	10-20	7,6	7,5	8,2	7,0	7,2	8,0	7,9	8,0	7,8	7,8
	A/CGo	40-45	8,3	7,6	8,3	7,4	7,1	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8
	CGroc(Bn)	50-65	8,0	7,5	8,4	7,8	7,5	8,3	8,1	8,0	7,9	7,9
	CGroc(Bn)	100-110	8,1	7,5	8,4	8,5	7,6	8,3	7,8	8,0	7,9	7,5
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10	8,3	7,3	8,2	7,0	7,2	8,1	8,0	7,9	7,4	7,5
	Akpc	10-20	8,5	7,3	8,2	7,0	7,2	8,1	8,0	7,8	7,5	7,5
	A/CGoc(Bn)	40-50	8,0	7,5	8,1	8,2	7,3	8,2	8,0	7,9	7,6	7,7
	CGoc(Bn)	55-60	8,0	7,5	8,2	8,3	7,4	8,3	8,0	7,7	7,7	7,8
	CGoc(Bn)	70-80	7,8	7,2	8,3	8,2	7,4	8,3	8,2	7,9	7,8	7,7
Akpc	100-110	7,8	7,2	8,3	8,1	7,1	8,5	8,1	8,0	7,7	7,4	
Zemné 400179	Akpc	0-10	7,5	7,4	8,0	8,0	6,8	7,8	7,9	7,8	7,5	7,5
	A/CGoc(Bn)	10-20	7,9	7,4	8,1	8,1	7,0	7,8	7,9	8,0	7,7	7,6
	CGroc(Bn)	35-45	8,0	7,5	8,2	8,1	7,0	8,1	7,9	8,0	7,9	7,7
	CGroc(Bn)	55-65	8,0	7,6	8,2	8,3	7,1	8,0	7,8	8,1	7,9	7,7
	CGroc(Bn)	90-100	8,0	7,7	8,2	8,4	6,1	8,0	7,8	8,1	7,7	7,6
Kamenín 400138	Ame	0-10	7,9	7,5	8,4	8,2	7,8	7,8	7,8	8,3	8,0	7,7
	Ame	10-20	<b>10,4</b>	8,0	<b>8,7</b>	8,4	<b>8,9</b>	8,3	7,9	<b>9,0</b>	<b>9,3</b>	<b>8,5</b>
	Ame	20-30	<b>10,6</b>	<b>8,8</b>	<b>9,0</b>	<b>9,9</b>	<b>9,3</b>	<b>8,8</b>	7,9	<b>9,3</b>	<b>9,4</b>	8,4
	Ame	40-50	<b>10,5</b>	<b>9,4</b>	<b>9,3</b>	<b>10,0</b>	<b>9,4</b>	<b>9,0</b>	8,0	<b>9,4</b>	<b>9,4</b>	<b>8,6</b>
	Bn	60-70		<b>9,3</b>	<b>9,2</b>	<b>9,8</b>	<b>9,2</b>	<b>8,8</b>	8,0	<b>9,1</b>	<b>9,0</b>	8,4
	Bn	80-90	<b>10,3</b>	<b>9,7</b>	<b>9,7</b>	<b>9,6</b>	<b>9,1</b>	<b>8,8</b>	8,2	<b>8,6</b>	<b>8,8</b>	<b>8,5</b>
Malé Raškovce 400229	Bn	0-10	6,6	7,1	7,6	7,4	6,3	7,6	6,9	6,0	6,8	6,6
	Akp	20-30	-	-	8,2	8,0	<b>9,2</b>	7,7	6,9	6,6	6,9	5,7
	Akp	35-45	7,2	7,3	8,2	8,2	<b>9,1</b>	8,1	6,9	6,9	7,3	6,7
	Aoe	50-60	-	-	7,8	8,0	<b>9,0</b>	8,2	7,3	8,1	7,6	7,9
	Bn	70-80	-	-	<b>8,6</b>	<b>8,7</b>	<b>8,9</b>	8,4	7,7	8,2	8,0	7,7
	Bn	120-130	-	-	8,0	8,2	<b>8,6</b>	<b>8,6</b>	7,5	8,1	8,3	7,9
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	7,0	<b>9,9</b>	<b>9,3</b>	<b>10,1</b>	<b>9,0</b>	<b>9,4</b>	<b>8,7</b>	<b>9,1</b>	<b>9,1</b>	<b>8,6</b>
	AoGo	10-20	-	-	-	-	<b>9,3</b>	<b>9,6</b>	<b>8,8</b>	<b>9,2</b>	<b>9,0</b>	<b>8,6</b>
	AoGo	20-30	-	<b>9,6</b>	<b>9,1</b>	<b>10,2</b>	<b>9,5</b>	<b>9,5</b>	<b>9,0</b>	<b>9,1</b>	<b>8,9</b>	8,3
	Gro	30-45	7,0	<b>9,5</b>	<b>9,9</b>	<b>9,9</b>	<b>9,6</b>	<b>9,5</b>	<b>8,6</b>	<b>9,3</b>	<b>9,1</b>	8,0
	Gro	55-65	-	-	<b>10,0</b>	<b>9,8</b>	<b>9,6</b>	<b>9,3</b>	<b>8,6</b>	<b>9,2</b>	<b>8,6</b>	7,6

**Poznámka:** údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť solných procesov

Obr. 4 Vývoj slancovania - pH/H<sub>2</sub>O



Pôdna reakcia v intervale pH 7,3 – 8,5 je stredne až silno alkalická a potvrdzuje nadbytok solí vápnika ( $\text{Ca}^{2+}$ ), prípadne prítomnosť nižšieho obsahu sodíka ( $\text{Na}^+$ ) a je charakteristická pre väčšinu slabo a stredne alkalických horizontov pôd Iža, Zemné, Gabčíkovo, Zlatná na Ostrove, Komárno-Hadovce a Malé Raškovce.

Veľmi silná alkalická pôdna reakcia ( $\text{pH} > 8,5$ ) potvrdzuje už prítomnosť nadbytku iónov sodíka ( $\text{Na}^+$ ) a je charakteristická pre pôdy lokalít Kamenín a Žiar nad Hronom.

Z uvedených údajov vývoja salinizácie a sodifikácie (tab.4 - 9, obr. 1 - 4) vidieť, že celkový vývoj solných pôd nie je v priestore a čase lineárny. Namerané hlavné charakteristiky vývoja solných pôd (obsah solí, E<sub>Ce</sub>, pH, ESP) sú v jednotlivých pôdach a horizontoch v čase a v priestore značne rozdielne a vzájomne málo korelujúce. To vyplýva jednak z ich veľkej priestorovej variability, jednak z vlastného charakteru vývoja.

### Chemické zloženie podzemných vôd

Chemické zloženie mineralizovaných podzemných vôd, ktoré je hlavným zdrojom vzniku a rozvoja solných pôd sme ako podporné analýzy v roku 2009 realizovali len na lokalitách Iža, Zemné, Gabčíkovo, Zlatná na Ostrove a Komárno-Hadovce, kde sú vybudované viacúčelové hydrogeologické sondy, umožňujúce odber vzoriek podzemnej vody a meranie hĺbky jej hladiny.

Výsledky získané v roku 2009 (tab. 10) sú s malými odchýlkami zhodné s výsledkami predchádzajúcich rokov. Hlavnými ukazovateľmi rizikovosti vzniku a rozvoja solných pôd z hľadiska chemického zloženia podzemnej vody je elektrická vodivosť (EC), celková mineralizácia ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) a adsorpčný sodíkový pomer (SAR), ktorý indikuje riziko sódovej salinizácie.

Z hľadiska hodnôt EC je riziko vzniku a rozvoja solných pôd pomerne nízke na väčšine monitorovaných lokalít, len na lokalite Komárno-Hadovce presiahla jej hodnota kritickú hranicu  $200 \text{ mS.m}^{-1}$ . Celkový obsah solí ( $\text{RL}_2$ ) dosiahol rizikové hodnoty nad  $1000 \text{ mg.l}^{-1}$  na lokalitách Gabčíkovo, Zlatná na Ostrove a Komárno-Hadovce.

**Tab. 10** Chemické vlastnosti podzemných vôd významné pre vznik a vývoj solných pôd v roku 2009

Lokalita	mesiac meraní	pH	EC	$\text{mg.l}^{-1}$											SAR
			$\text{mS.m}^{-1}$	$\text{RL}_1$	$\text{RL}_2$	$\text{CO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$		
Iža	V	8,0	105	798	467	<3,0	351,0	47,1	105,0	143,0	71,0	42,3	1,1	0,72	
400180	X	7,8	141	996	749	<3,0	512,0	80,8	273,0	123,0	64,0	118,0	2,3	2,15	
Zemné	V	7,2	149	1104	816	<3,0	483,0	121,0	209,0	202,0	39,4	44,2	1,0	0,74	
400179	X	7,6	134	1068	664	<3,0	486,0	93,8	163,0	197,0	35,8	122,0	1,3	2,10	
Gabčíkovo	V	7,2	176	1577	1190	<3,0	344,0	74,7	756,0	121,0	70,9	16,5	2,3	0,29	
400176	X	7,5	71	603	486	<3,0	270,0	25,6	138,0	103,0	26,4	12,0	1,6	0,27	
Zlatná na Ostrove	V	7,5	191	1280	1180	<3,0	668,0	105	419,0	116,0	59,1	249,5	2,2	4,70	
400177	X	7,7	181	1244	1030	<3,0	732,0	98,9	341,0	113,0	48,3	280,0	2,3	5,55	
Komárno- Hadovce	V	7,3	212	1437	1233	<3,0	825,0	124,0	410,0	120,0	81,6	245,5	2,0	4,24	
400178	X	7,5	184	1229	928	<3,0	924,0	75,0	268,0	104,0	54,7	286,0	2,3	5,65	

EC - elektrická vodivosť

SAR - sodíkový adsorpčný pomer

$\text{RL}_1$  - rozpustné látky pri vysušení  $105^\circ\text{C}$

$\text{RL}_2$  - rozpustné látky pri žíhaní  $600^\circ\text{C}$

Obsah jednotlivých iónov v chemickom zložení podzemných vôd signalizuje charakter možnej salinizácie pôd. Vyššie zastúpenie aniónov  $\text{Cl}^-$  vytvára podmienky pre rozvoj chloridosulfátovej salinizácie. Riziko rozvoja sódovej salinizácie v lokalite Komárno-Hadovce signalizuje zvýšený obsah iónov sodíka ( $> 250 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

### **Zhodnotenie obdobia rokov 2006-2009**

Pre obdobie rokov 2006-2009 je tak isto ako pre celé monitorovacie obdobie charakteristická veľká priestorová a horizontálna variabilita nameraných hodnôt ako aj nepravidelný výskyt extrémnych hodnôt jednotlivých sledovaných ukazovateľov.

Na monitorovanom území súčasne prebieha proces salinizácie aj proces sodifikácie, pričom sodifikácia je výraznejšia a dominantná. Významne to potvrdzujú hodnoty ESP nad 10 % namerané v slabo slancových pôdach. Opakovane sme tu zaznamenali zreteľnú zmenu slabo slancovej pôdy na slancovú resp. zmenu prvého stupňa sodifikácie na jeho stredný stupeň.

Z hľadiska rizikovosti vzniku, rozširovania a rozvoja solných pôd, charakterizovaného chemickým zložením podzemných vôd (tab. 10) je takéto riziko najreálnejšie na dolnej časti Žitného ostrova v úseku Zlatná na Ostrove – Komárno. Svedčia o tom vyššie hodnoty elektrickej vodivosti ( $>200 \text{ mS.m}^{-1}$ ), vysoká mineralizácia podzemných vôd ( $>1000 \text{ mg.l}^{-1}$ ), vysoký obsah sodíka ( $\text{Na}^+$ ,  $> 250 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a vysoký obsah hydrogénuhličitanových iónov ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $> 500 \text{ mg.l}^{-1}$ ), ktoré indikuje reálne podmienky pre vznik sódovej salinizácie.

### **Literatúra**

- Fulajtár, E., 1996: prognóza zasoľovania pôd Podunajskej roviny. VÚPU, Bratislava  
Hraško, J. a kol., 1962: Rozbory pôd. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, Bratislava  
Sotáková, S., a kol., 1988: Návod na cvičenie z pôdoznanectva, Příroda, Bratislava  
Valla, M., a kol., 1983: Cvičení z půdoznalství II., SPN, Praha.



## 6.4 Kontaminácia pôd

### 6.4.1. Hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja kontaminácie pôd v základnej sieti

V roku 2009 boli spracované a analyzované pôdne vzorky odobraté v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007). V decembri 2009 boli ukončené chemické analýzy monitorovaných pôd pre skupiny kambizemí (TTP aj OP) .

Nakoľko v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007) sa prvý krát analyzujú skupiny pôd podľa súčasne platnej legislatívy (Zákon 220/2004), nie je zatiaľ možné zhodnotiť stav prírastku – úbytku emisnej (difúznej) kontaminácie pre konkrétnu monitorovanú sondu.

#### *Materiál a metódy*

V monitoringu pôd SR bol sledovaný obsah rizikových prvkov rozkladom lúčavkou kráľovskou (pre As, Cd, Co, Cr Cu, Ni, Pb, Zn), pri ktorých boli vyhodnotené určené základné štatistické parametre (Xmin- minimálna hodnota, Xmax- maximálna hodnota, Xp- priemerná hodnota) za 4. odberový cyklus skupín monitorovaných pôd:

1. Kambizeme a kambizeme pseudoglejové na flyši (TTP) – **S5**
2. Kambizeme a kambizeme pseudoglejové na flyši (OP) – **S6**
3. Kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (TTP) – **S7**
4. Kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (OP) – **S8**
5. Kambizeme na karbonátových substrátoch (TTP) – **S9**
6. Kambizeme na karbonátových substrátoch (OP) – **S10**

#### *Dosiahnuté výsledky*

Obsahy určených rizikových prvkov pre hodnotené lokality za sledované obdobie sú uvedené v tab. 2-4.

**Tab. 1** Základné ukazovatele znečistenia poľnohospodárskych pôd rizikovými prvkami stanovené v závislosti od pôdneho druhu a hodnoty pôdnej reakcie

Ukazovateľ znečistenia	Hodnota prípustného znečistenia rizikového prvku v mg.kg <sup>-1</sup> suchej hmoty				
	Limitné hodnoty			Kritické hodnoty	
Rizikové prvky	Hg stanovená ako celkový obsah, ostatné ťažké kovy po rozklade v lúčavke kráľovskej a fluór (F) po rozklade tavením s NaOH			Extrakt 1mol.dm <sup>-3</sup> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Extrakcia vodou
	piesočnatá, hlinito-piesočnatá pôda	piesočnato-hlinitá, hlinitá pôda	ílovito-hlinitá, ílovitá pôda, íl		
Arzén (As)	10	25	30	0,4	
Kadmium (Cd)	0,4	0,7 (0,4)*	1 (0,7)*	0,1	
Kobalt (Co)	15	15	20		
Chrómový (Cr)	50	70	90		
Meď (Cu)	30	60	70	1	
Ortuť (Hg)	0,15	0,5	0,75		
Nikel (Ni)	40	50 (40)*	60 (50)*	1,5	
Olovo (Pb)	25 (70)*	70	115 (70)**	0,1	
Selén (Se)	0,25	0,4	0,6		
Zinok (Zn)	100	150 (100)*	200 (150)*	2	
Fluór (F)	400	550	600		5

\* ak pH(KCl) je menšie ako 6, \*\* ak pH(KCl) je menšie ako 5. Poznámka: Uvedené údaje platia pre pôdne vzorky získané na orných pôdach z hornej vrstvy hrúbky 0,2 m vysušenej na vzduchu do konštantnej hmotnosti.

**Vyhodnotenie súčasného hygienického stavu ČMS - pôda pre analyzované skupiny pôd kambizemí za 4. odberový cyklus (odber v roku 2007) tab.2-4**

**Tab. 2** Zastúpenie As, Cd, Co (v mg.kg<sup>-1</sup> v lúčavke kráľovskej) vo vybraných pôdach v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007)

Skupina	Kultúra	Hĺbka odberu	As			Cd			Co		
			Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp
S5	TTP	0-10	5,0	15,4	9,5	0,24	0,97	0,50	7,9	22,8	12,7
		35-45	4,9	15,7	8,8	0,07	0,54	0,24	8,6	21,9	13,4
S6	OP	0-10	6,9	20,7	11,6	1,10	1,12	0,34	5,3	21,8	12,2
		35-45	6,7	23,0	11,9	0,1	1,0	0,25	7,9	25,5	13,7
S7	TTP	0-10	4,5	223,0	19,0	0,10	0,25	0,11	2,0	26,0	10,0
		35-45	2,6	100	18,3	0,1	0,1	0,1	2,0	25,8	9,5
S8	OP	0-10	1,0	15,9	9,9	0,1	0,1	0,1	5,0	28,6	15,6
		35-45	2,7	19,4	11,31	0,1	0,1	0,1	5,0	31,6	17,1
S9	TTP	0-10	4,7	32,0	14,5	0,1	0,86	0,41	7,7	24,0	14,1
		35-45	4,9	23,7	14,6	0,1	1,03	0,41	8,5	23,5	16,2
S10	OP	0-10	11,8	34,2	20,6	0,1	0,48	0,23	8,3	16,9	12,2
		35-45	4,9	23,7	13,6	0,1	1,03	0,16	8,8	16,9	12,9

**Tab. 3** Zastúpenie Cr, Cu, Ni (v mg.kg<sup>-1</sup> v lúčavke kráľovskej) vo vybraných pôdach v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007)

Skupina	Kultúra	Hĺbka odberu	Cr			Cu			Ni		
			Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp
S5	TTP	0-10	34,0	120,7	67,8	10,7	44,2	24,8	15,7	50,8	31,6
		35-45	30,3	113,1	69,9	10,0	54,5	27,2	15,9	79,3	15,9
S6	OP	0-10	12,5	93,1	48,7	12,5	43,0	12,5	7,7	79,3	31,5
		35-45	11,8	133,2	55,6	11,1	67,2	25,8	7,4	80,5	38,6
S7	TTP	0-10	10,0	124,6	38,7	0,4	155,3	33,5	8,3	90,3	8,3
		35-45	8,8	141,0	37,9	1,3	85,4	26,5	1,4	104,0	24,6
S8	OP	0-10	7,1	127,0	51,5	11,9	137,0	39,1	6,0	64,9	630,8
		35-45	14,7	117,0	57,8	9,0	79,4	32,4	1,4	78,5	38,0
S9	TTP	0-10	56,0	141,0	87,2	21,0	50,5	29,7	25,5	114,0	52,6
		35-45	50,0	135,0	82,1	17,6	34,0	49,1	21,0	117,0	63,9
S10	OP	0-10	28,3	59,7	101,0	15,2	38,3	26,1	9,3	95,1	44,0
		35-45	50,8	104,0	77,4	28,5	38,8	33,7	34,6	91,4	63,0

**Tab. 4** Zastúpenie Pb, Zn (v mg.kg<sup>-1</sup> v lúčavke kráľovskej) vo vybraných pôdach v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007)

Skupina	Kultúra	Hĺbka odberu	Pb			Zn		
			Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp
S5	TTP	0-10	17,9	56,6	32,7	52,7	141,8	93,5
		35-45	11,0	38,1	21,1	43,6	120,9	76,2
S6	OP	0-10	12,8	34,3	19,7	48,5	111,0	74,4
		35-45	4,4	48,2	15,5	45,5	102,3	67,7
S7	TTP	0-10	6,6	64,8	24,4	31,0	445,8	31,0
		35-45	5,0	48,2	16,6	24,1	127,0	70,7
S8	OP	0-10	5,0	40,4	20,9	48,9	135,0	85,0
		35-45	5,0	39,4	16,0	28,1	135,0	73,2
S9	TTP	0-10	15,9	63,1	48,1	84,9	175,0	118,2
		35-45	5,0	52,8	27,3	74,2	177,0	130,5
S10	OP	0-10	5,0	13,8	7,9	51,6	145,0	93,5
		35-45	5,0	5,0	5,0	88,5	115,0	101,7

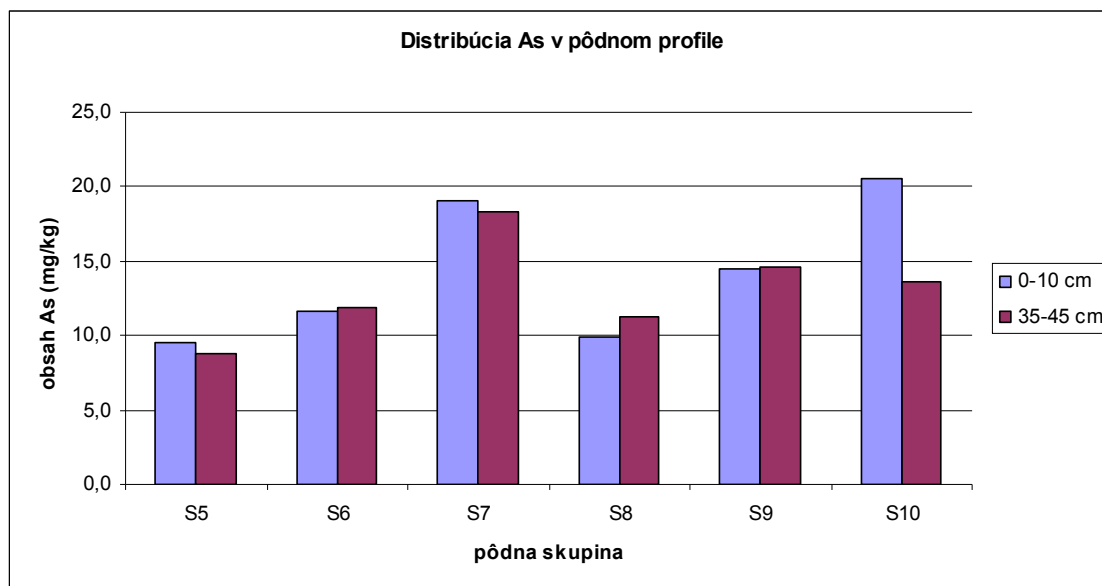
**Poznámky:** Xmin – minimálna stanovená hodnota vybranej skupiny, Xmax – maximálna stanovená hodnota vybranej skupiny, Xp – priemerná hodnota vybranej skupiny, OP – orné pôdy, TTP – trvalé trávne porasty

### *Porovnanie vývoja obsahu ťažkých kovov v pôdnom profile pre hodnotené jednotlivé skupiny pôd*

#### *Arzén*

Obsah arzénu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 35-45 cm je obsah arzénu pre skupinu S8 mierne vyšší oproti hĺbke 0-10 cm (obr. 1), poukazuje to na vertikálnu migráciu As smerom do hlbších polôh pôdneho profilu, v ostatných skupinách je obsah približne rovnaký.

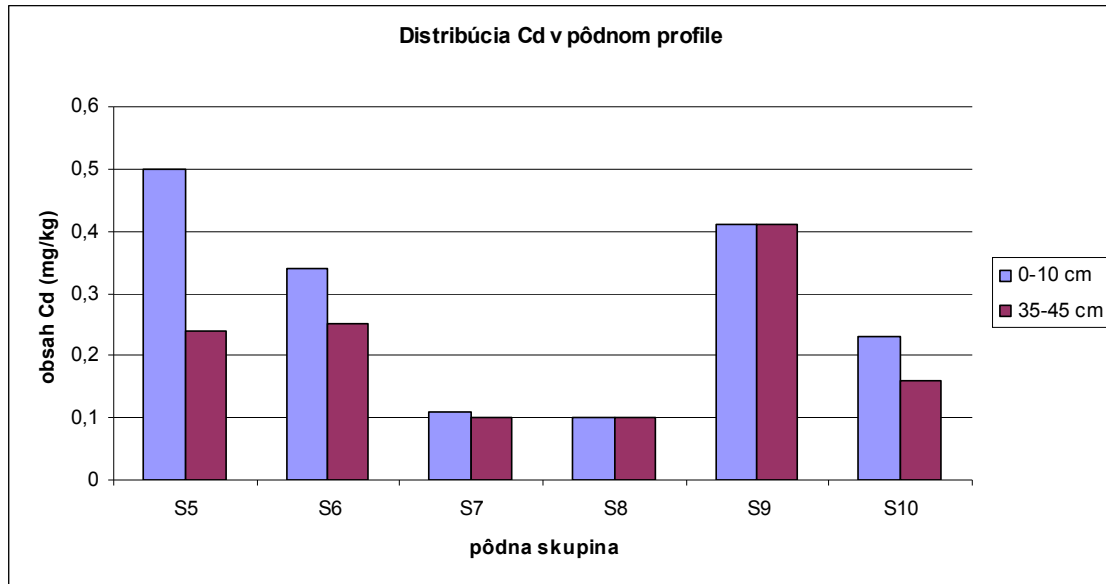
**Obr. 1** Porovnanie distribúcie As v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Kadmium

Obsah kadmia pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 35-45 cm sa nachádza menší obsah kadmia ako vo vrchnom profile.

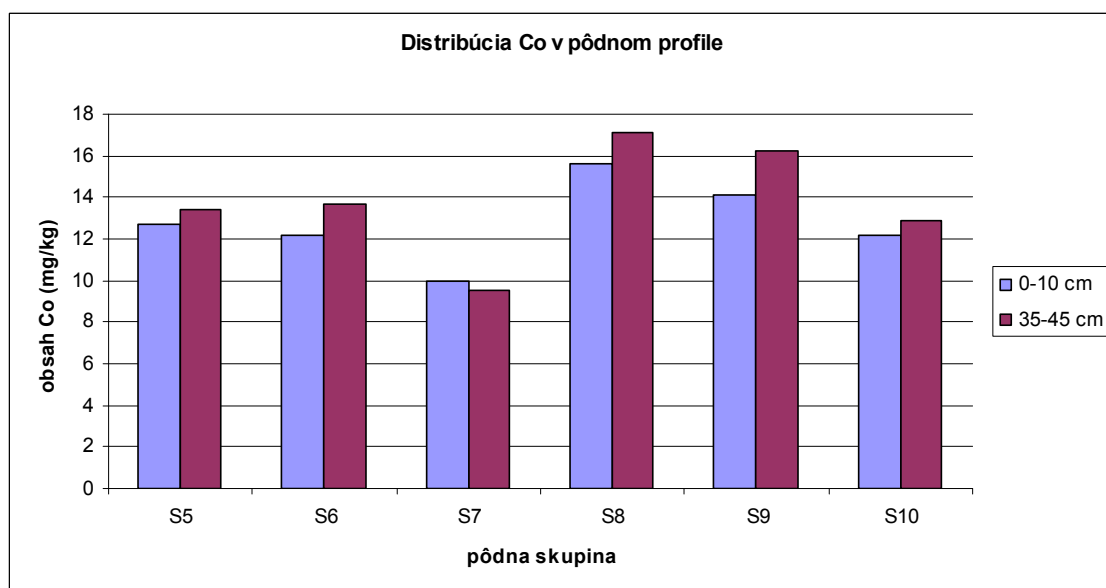
**Obr. 2** Porovnanie distribúcie Cd v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Kobalt

Obsah kobaltu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 35-45 cm je mierne vyšší obsah kobaltu pre všetky skupiny okrem skupiny S 7, čo poukazuje na vertikálnu migráciu Co smerom do hlbších polôh pôdneho profilu (obr. 3).

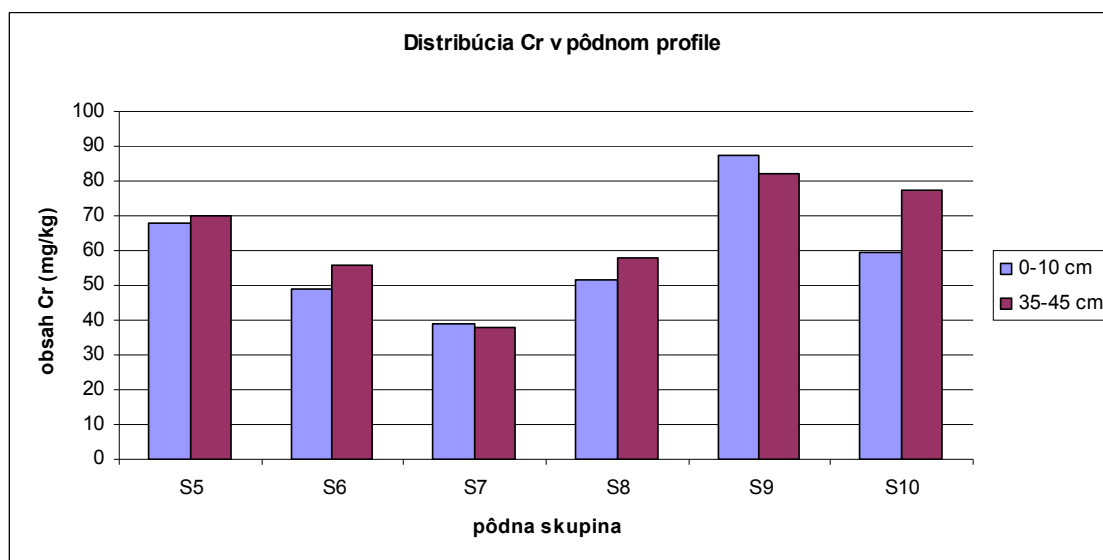
**Obr. 3** Porovnanie distribúcie Co v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Chróm

Obsah chrómu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že obidva horizonty majú približne rovnaký obsah chrómu, alebo len mierne zvýšený v hĺbke 35-45 cm (obr. 4).

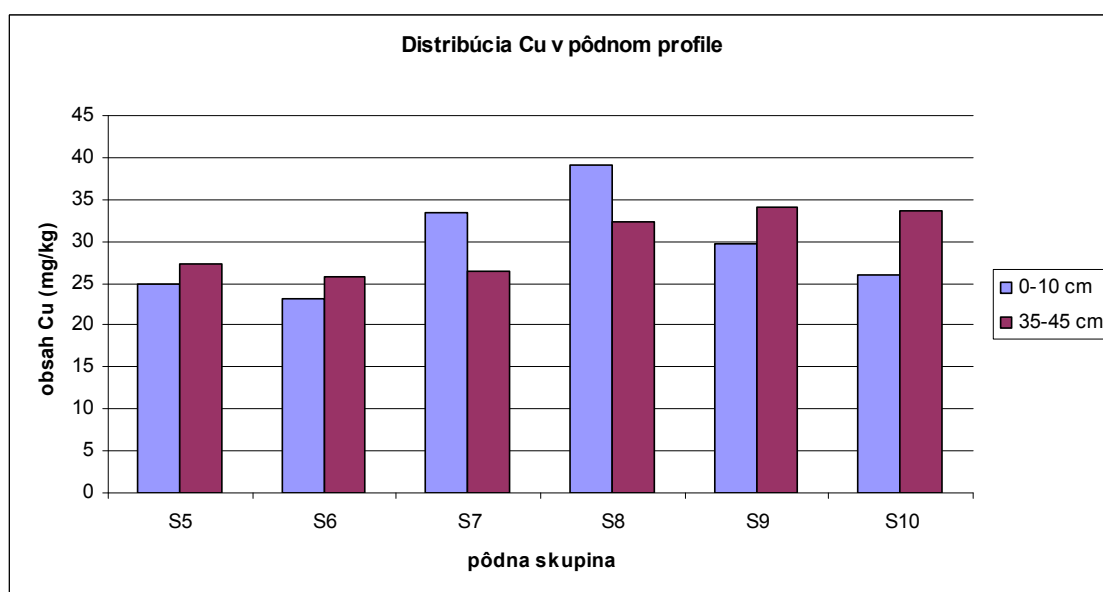
**Obr. 4** Porovnanie distribúcie Cr v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Meď

Obsah medi pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 35-45 cm je pre skupinu S7 a S8 nižší obsah medi oproti A – horizontu. A pre druhú polovicu analyzovaných skupín došlo k miernemu nárastu obsahu medi. (obr. 5).

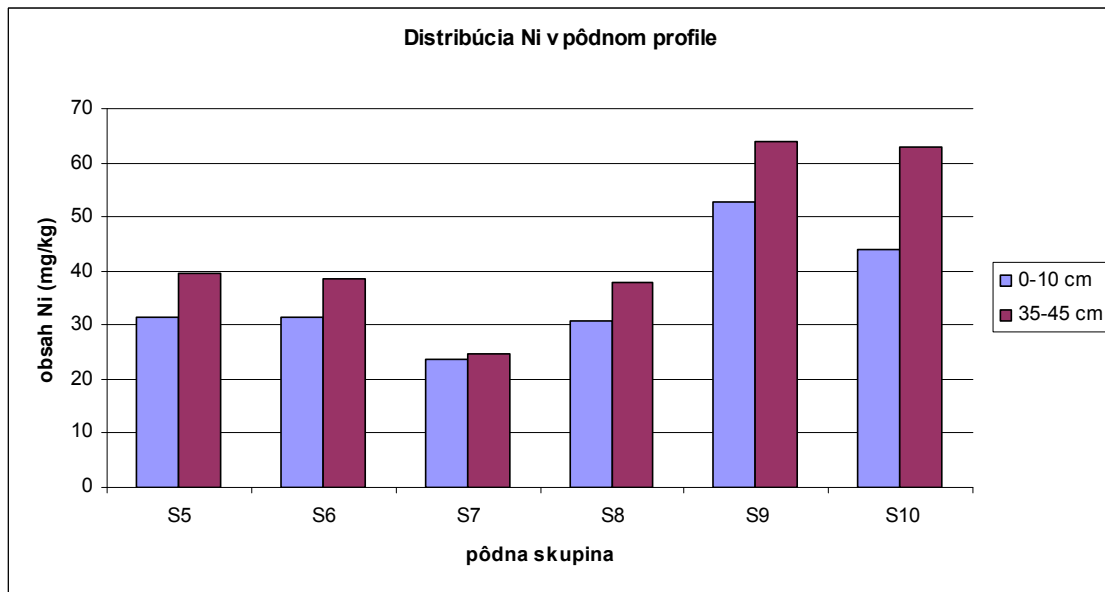
**Obr. 5** Porovnanie distribúcie Cu v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Nikel

Obsah niklu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd v hĺbke 35-45 cm je mierne vyšší, pre všetky skupiny čo poukazuje na vertikálnu migráciu Ni smerom do hlbších polôh pôdneho profilu (obr. 6).

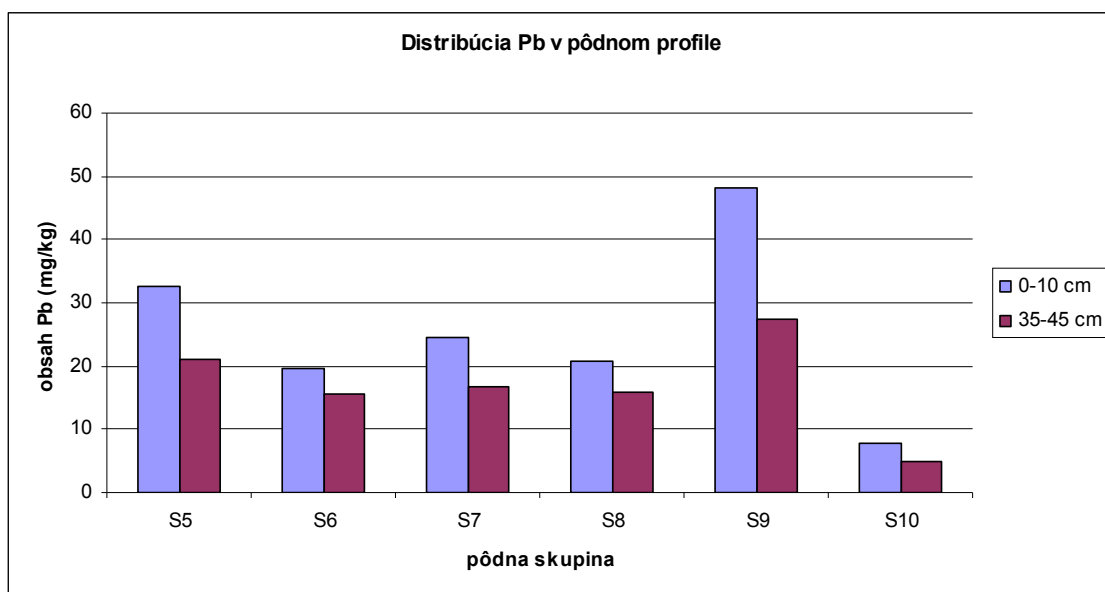
**Obr. 6** Porovnanie distribúcie Ni v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Olovo

Obsah olova pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 35-45 cm je výrazne nižší obsah olova, oproti hĺbke 0- 10 cm (obr. 7).

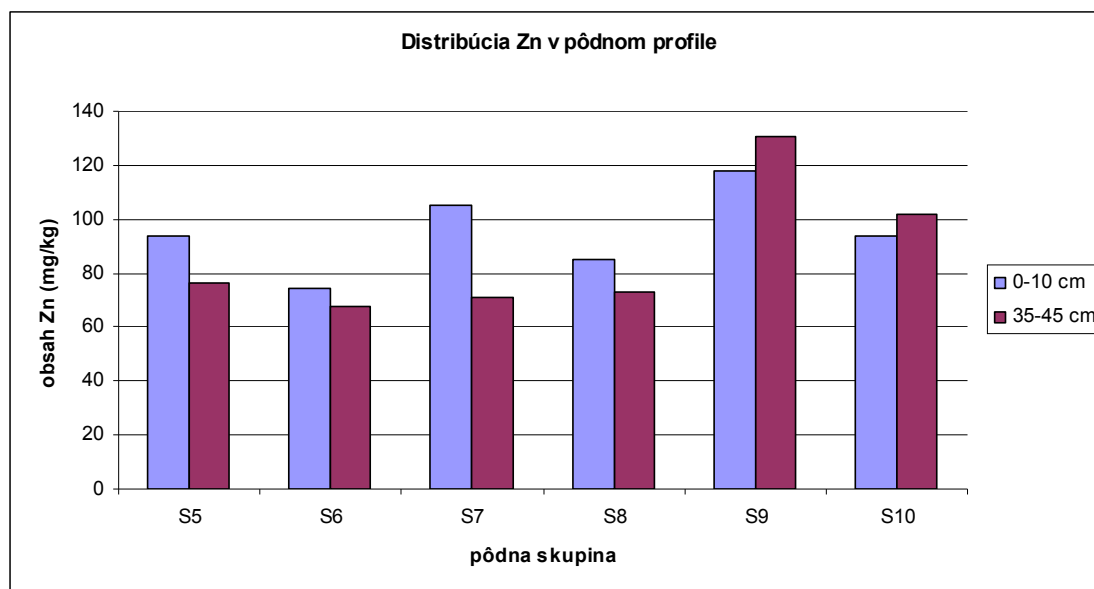
**Obr. 7** Porovnanie distribúcie Pb v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



## Zinok

Obsah zinku pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 0-10cm sa nachádza vyšší obsah zinku ako v hĺbke 35-45 cm, okrem skupiny S9 a S10 (obr. 8).

**Obr. 8** Porovnanie distribúcie Zn v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Zákon 220/2004 popisuje parameter vertikálnej distribúcie prvku v monitorovaných pôdných sondách z hľadiska hodnotenia hygienického stavu pôdneho fondu.

Pretože v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007) sa prvý krát analyzujú skupiny pôd podľa súčasne platnej legislatívy (Zákon 220/2004), nie je zatiaľ možné zhodnotiť stav prírastku – úbytku emisnej (difúznej) kontaminácie pre konkrétnu monitorovanú sondu.

### 6.4.2. Hodnotenie kontaminácie pôd na príklade kľúčových lokalít

V roku 2009 boli odobrané, spracované, analyzované a vyhodnotené pôdne vzorky kľúčových lokalít Raková (400 059), Istebné (400 092) Krompachy (400 335), Sihla (400 055) zo základnej siete ČMS – Pôda.

Na týchto lokalitách je každoročne vyhodnocovaný obsah určených ťažkých kovov v pôdnom profile (v lúčavke kráľovskej).

#### **Stručná charakteristika monitorovaných sond**

Raková (400 059) - na monitorovanom mieste je vyvinutá kambizem na flyši

Istebné (400 092) - na monitorovanom mieste je vyvinutá kambizem pseudoglejová na flyši

Krompachy (400 335) - na monitorovanom mieste je vyvinutá kambizem na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach.

Sihla (400 055) - na monitorovanom mieste je vyvinutá kambizem na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach.

V monitorovanom systéme ČMS - pôda bol vyhodnotený vývojový trend hygienického stavu pôd pre obsah rizikových prvkov As, Cd, Co, Cr Cu, Ni, Pb, Zn (v lúčavke kráľovskej) na určených kľúčových lokalitách za rok 2009.

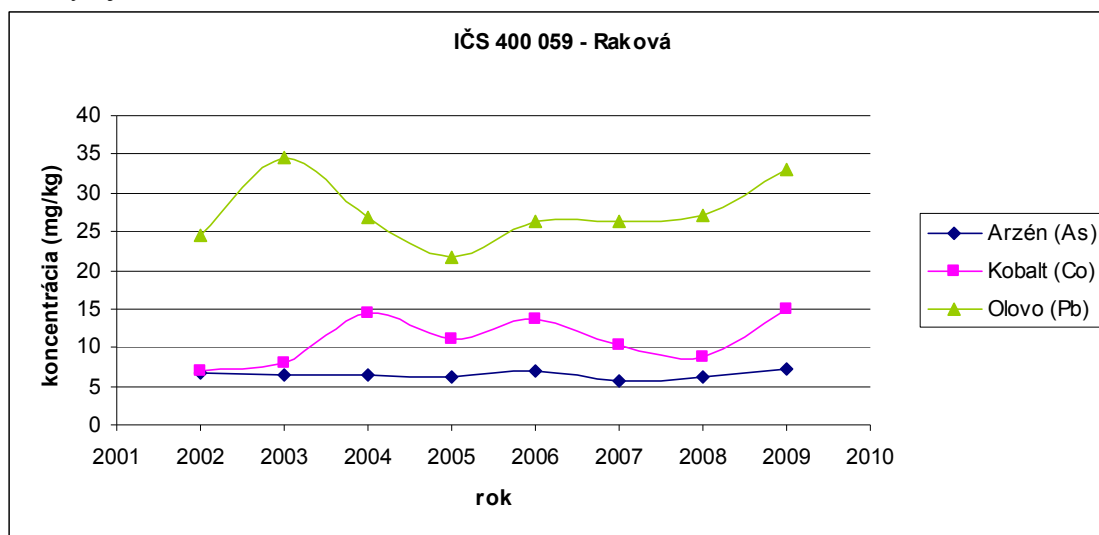
## Vyhodnotenie vybraných kľúčových lokalít za rok 2009

Vo vybranej kľúčovej lokalite Raková sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2009 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú ( $X_p$ ), minimálnu ( $X_{min}$ ) a maximálnu hodnotu ( $X_{max}$ ) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2008.

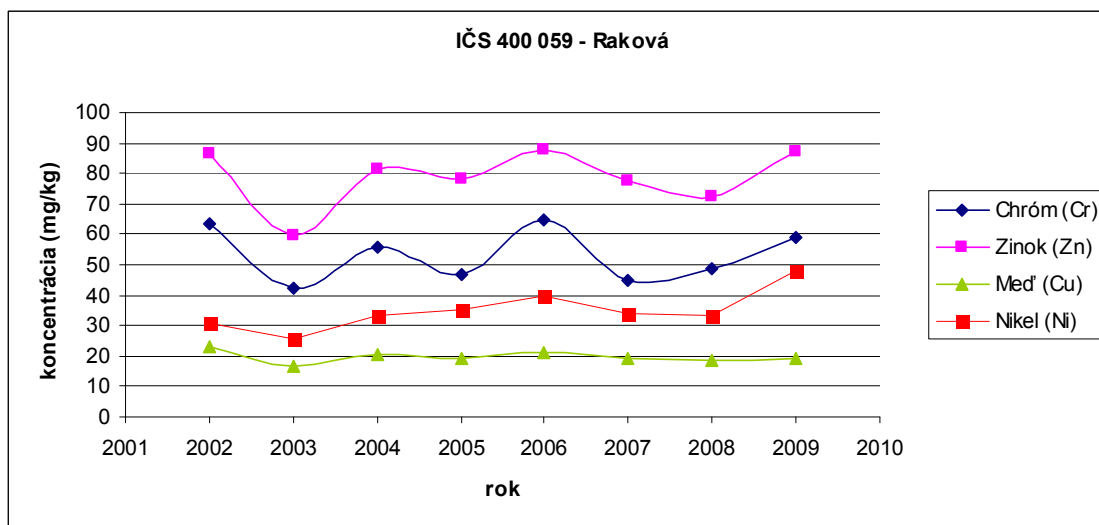
Tab. 7 Základná popisná štatistika na lokalite Raková 400 059 za roky 2002 – 2008

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Priemerný obsah	6,47	0,35	11,06	53,29	19,74	35,13	27,57	78,74
Smerodajná odchýlka	0,48	0,13	3,02	8,68	1,93	6,59	4,27	9,50
Koeficient variability %	7,4	37,8	27,3	16,3	9,8	18,8	15,5	12,1
Minimálna hodnota	5,77	0,20	7,05	42,35	16,71	25,95	21,71	59,50
Maximálna hodnota	7,29	0,55	14,99	64,93	23,30	48,10	34,55	587,79

Obr. 9 Vývoj As, Co, Pb na lokalite - Raková

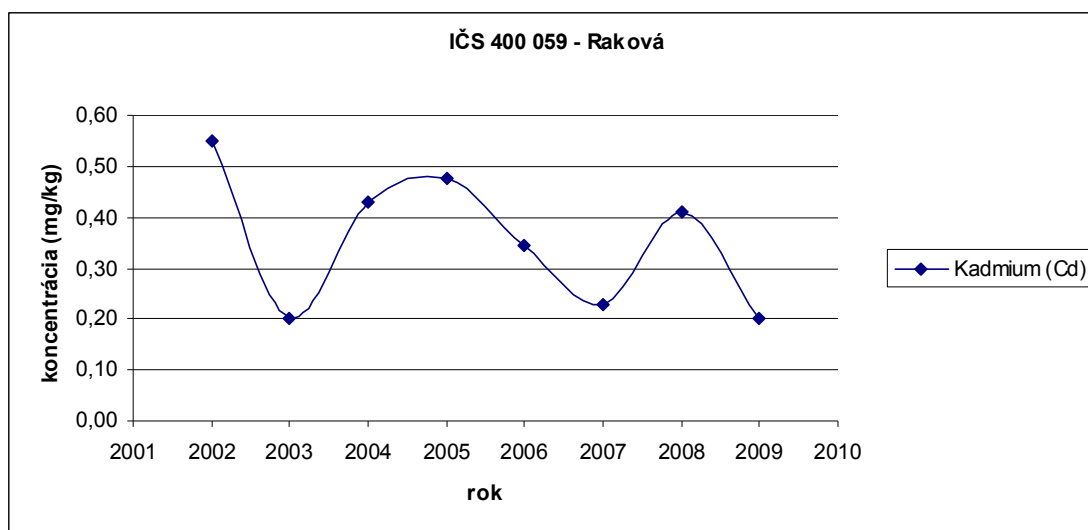


Obr. 10 Vývoj Cr, Zn, Cu, Ni na lokalite - Raková





**Obr. 11** Vývoj Cd na lokalite - Raková

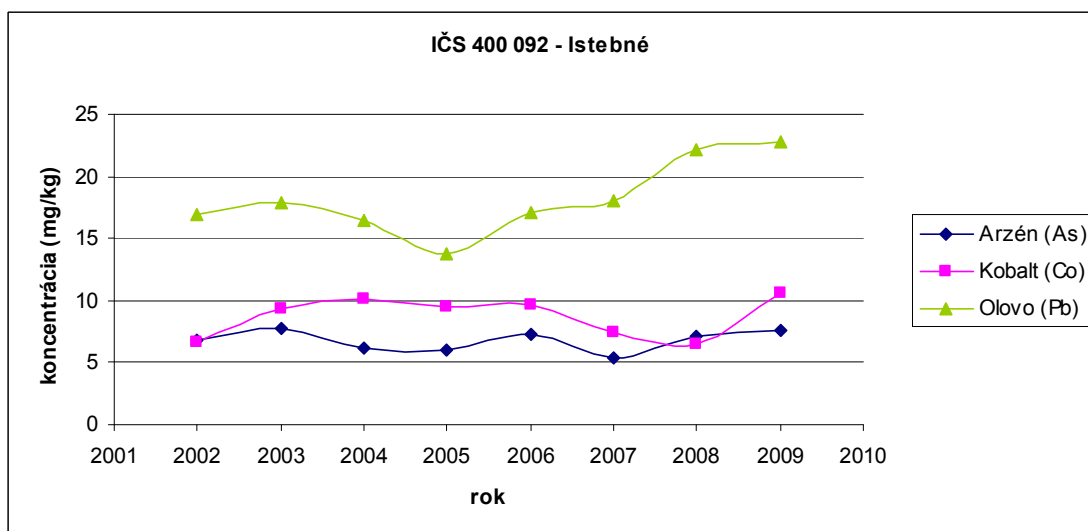


Vo vybranej kľúčovej lokalite Istebné sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2009 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú ( $X_p$ ), minimálnu ( $X_{min}$ ) a maximálnu hodnotu ( $X_{max}$ ) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2009.

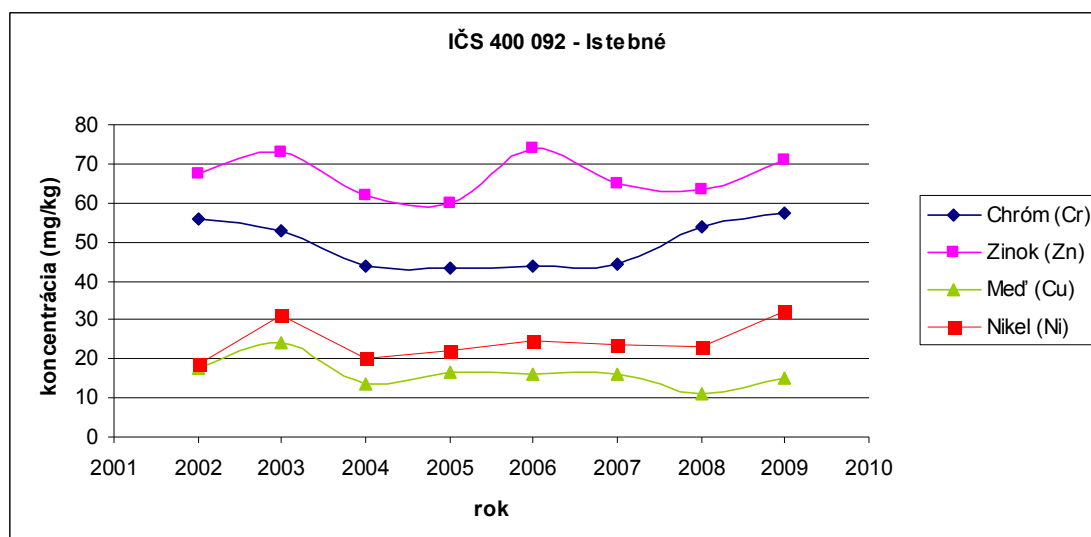
**Tab. 8** Základná popisná štatistika na lokalite Istebné 400 092 za roky 2002 – 2009

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Priemerný obsah	6,76	0,11	8,71	49,43	16,34	24,42	18,14	66,80
Smerodajná odchýlka	0,83	0,06	1,64	6,12	3,70	4,88	2,98	5,30
Koeficient variability %	12,3	51,7	18,8	12,4	22,7	20,0	16,4	7,9
Minimálna hodnota	5,40	0,05	6,41	43,42	11,20	18,8	13,77	59,65
Maximálna hodnota	7,83	0,20	10,55	57,20	24,1	32,1	22,8	74,02

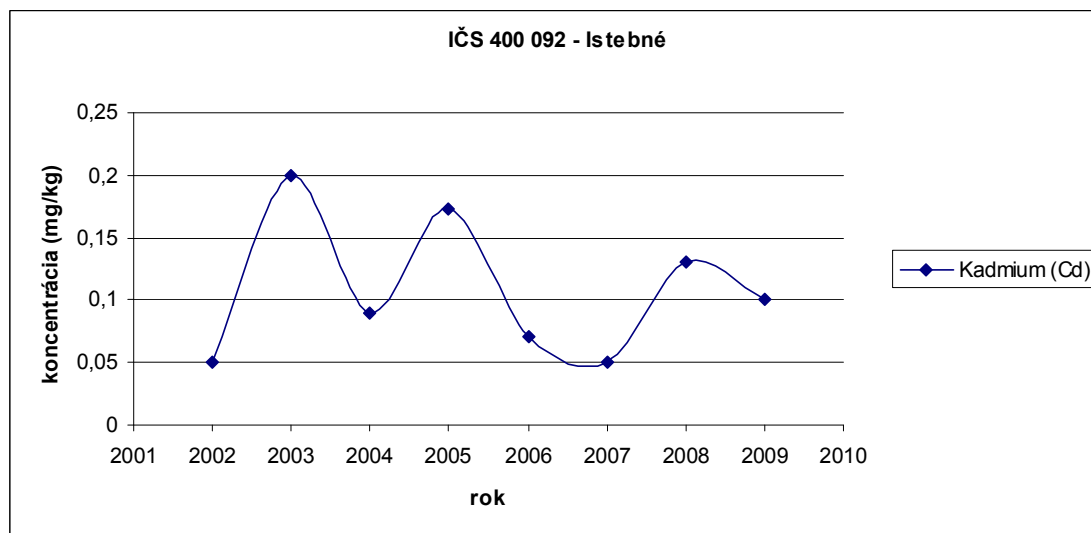
**Obr. 12** Vývoj As, Co, Pb na lokalite - Istebné



Obr. 13 Vývoj Cr, Zn, Cu, Ni na lokalite - Istebné



Obr. 14 Vývoj Cd na lokalite – Istebné

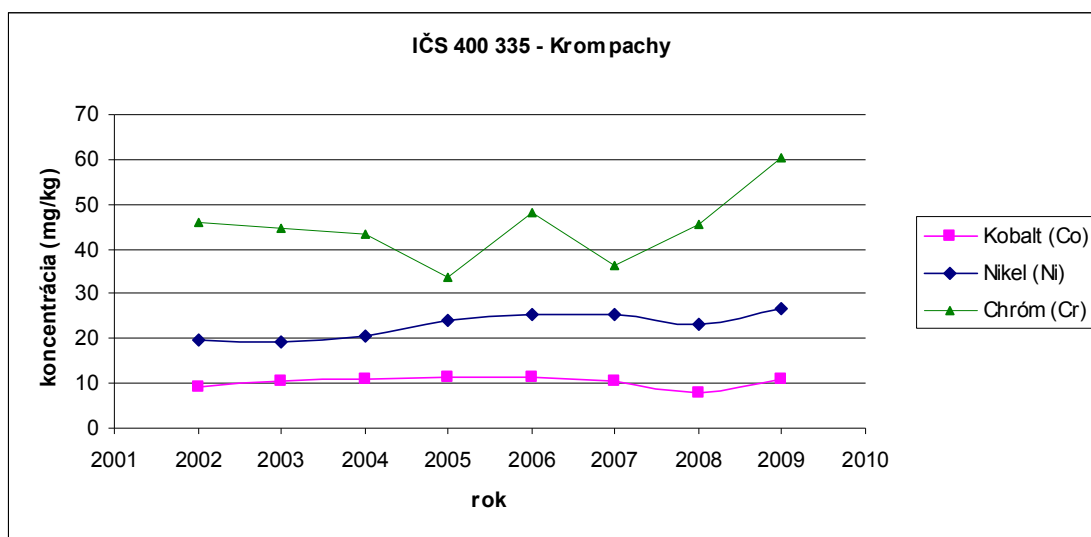


Vo vybranej kľúčovej lokalite Kropachy sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2009 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú ( $X_p$ ), minimálnu ( $X_{min}$ ) a maximálnu hodnotu ( $X_{max}$ ) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2009.

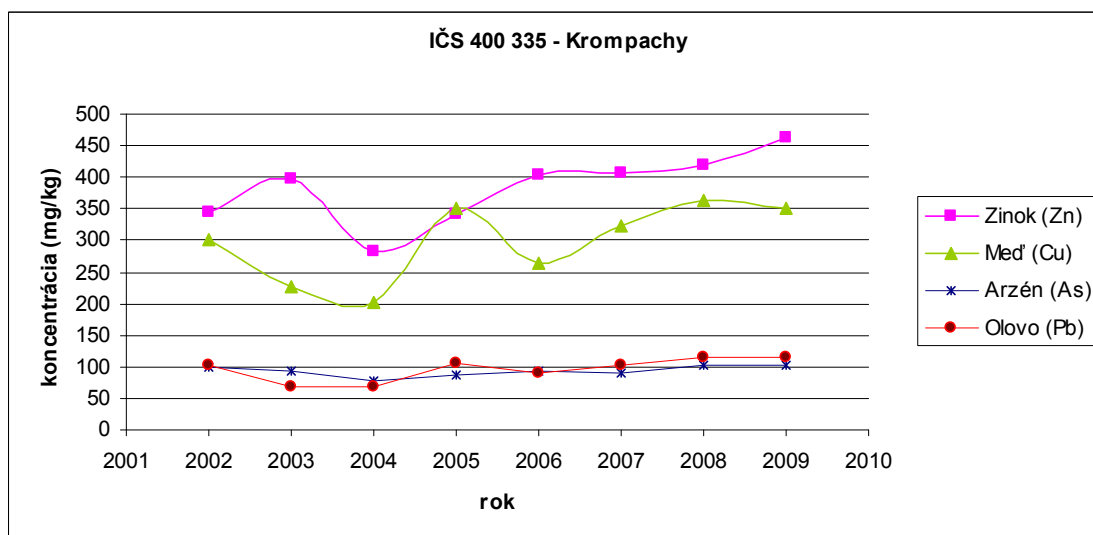
Tab. 9 Základná popisná štatistika na lokalite Kropachy 400 335 za roky 2002 – 2009

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Priemerný obsah	93,5	1,1	10,27	44,79	297,51	22,99	96,31	382,15
Smerodajná odchýlka	8,48	0,42	1,26	7,94	60,80	2,84	18,27	55,49
Koeficient variability %	9,1	38,3	12,3	17,7	20,4	12,4	19,0	14,5
Minimálna hodnota	78,55	0,37	7,73	33,87	200,7	19,15	69,50	283,61
Maximálna hodnota	103,33	1,65	11,48	60,23	361,92	26,52	116,20	461,83

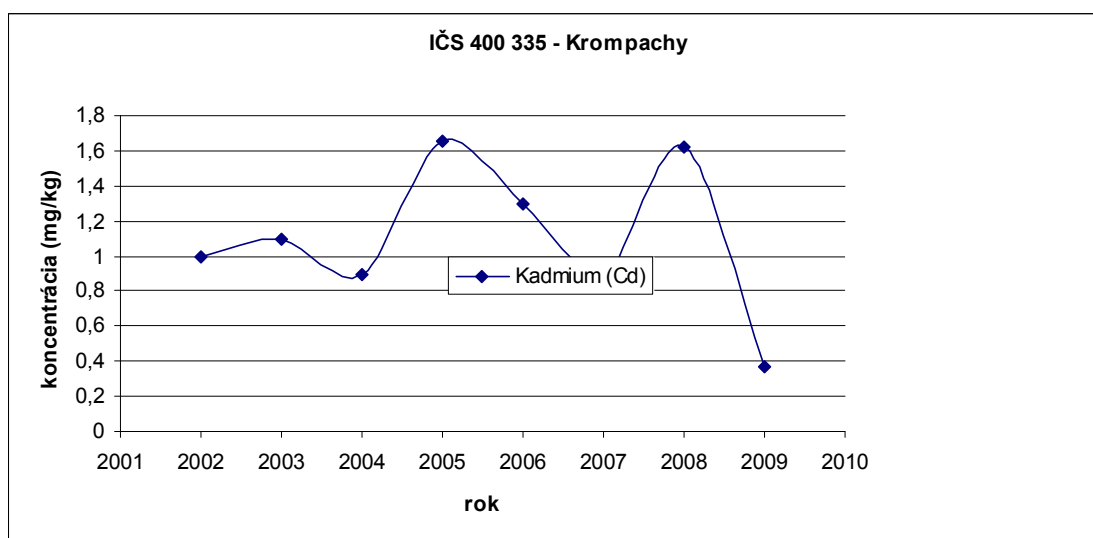
Obr. 15 Vývoj Co, Ni, Cr na lokalite - Kropachy



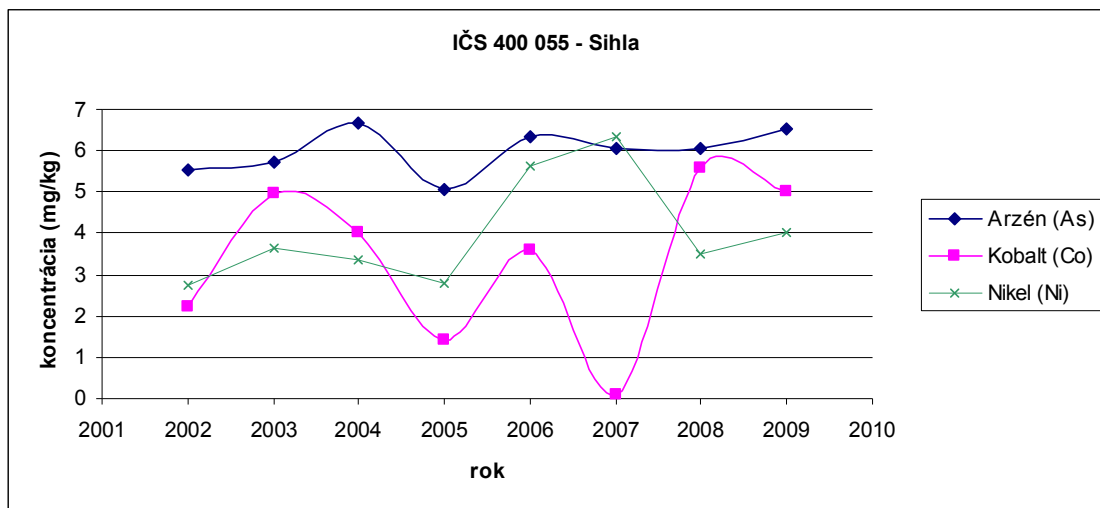
Obr. 16 Vývoj Zn, Cu, As, Pb na lokalite - Kropachy



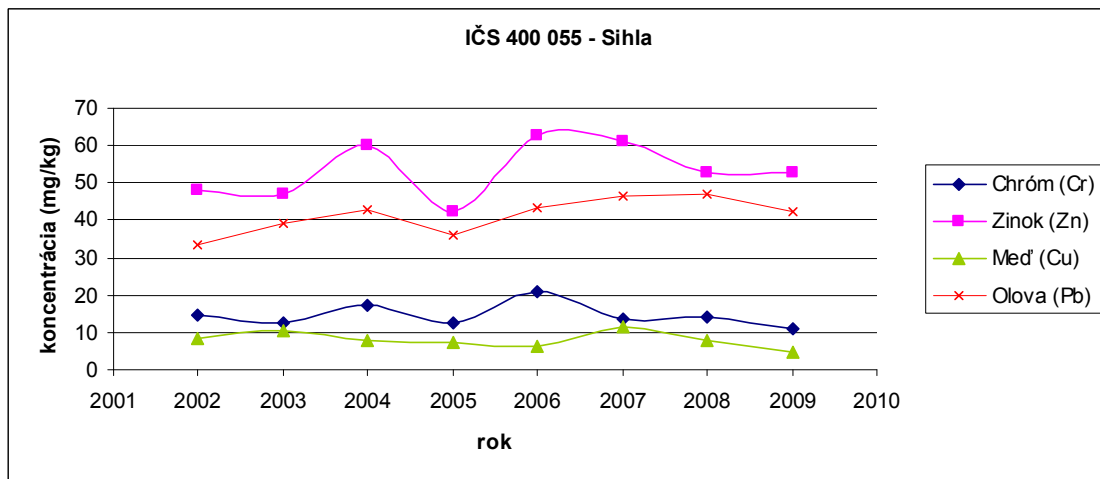
Obr. 17 Vývoj Cd na lokalite - Kropachy



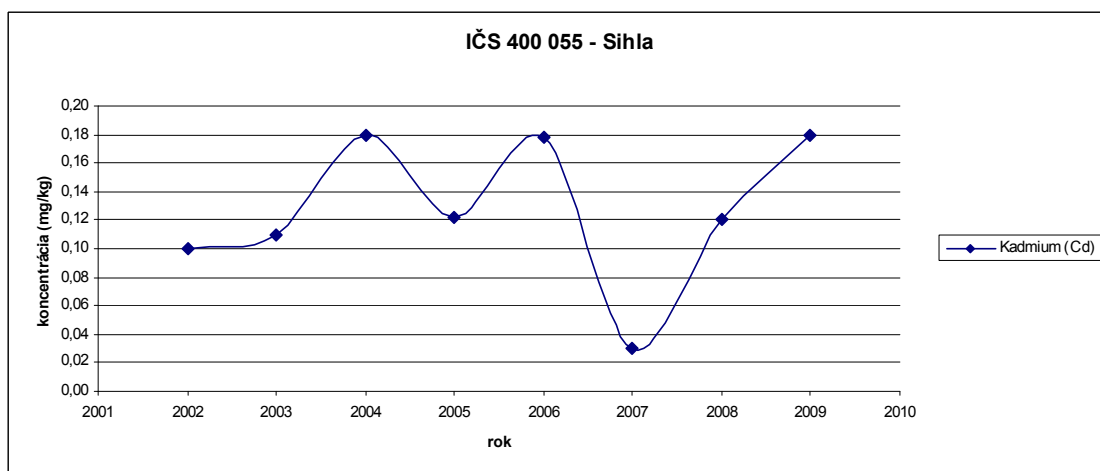
Obr. 18 Vývoj As, Co, Ni na lokalite - Sihla



Obr. 19 Vývoj Zn, Cu, Cr, Pb na lokalite - Sihla



Obr. 20 Vývoj Cd na lokalite - Sihla



**Tab.10** Základná popisná štatistika na lokalite Sihla 400 055 za roky 2002 – 2009

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Priemerný obsah	5,99	0,13	3,36	14,54	8,11	4,00	41,26	53,36
Smerodajná odchýlka	0,54	0,05	1,95	3,11	2,22	1,31	4,77	7,39
Koeficient variability %	9,0	40,6	58,0	21,4	27,4	32,7	11,6	13,8
Minimálna hodnota	5,04	0,03	0,08	11,05	4,6	2,75	33,50	42,18
Maximálna hodnota	6,66	0,18	5,59	20,94	11,66	6,35	46,84	62,83

Prezentované výsledky ukazujú na nasledovný charakter distribúcie rizikových prvkov v monitorovaných kľúčových lokalitách :

- nerovnomerný heterogénny výskyt rizikového prvku v pôdnom profile
- rovnomerný homogénny výskyt rizikového prvku v pôdnom profile
- odľahlá hodnota stanovenia

Na túto skutočnosť ukazuje najmä koeficient variability priemerného obsahu prvku. Musíme tu však pripustiť i vplyv odberových techník na správnosť analyzovaných údajov a stanovované koncentračné úrovne rizikových prvkov v pôde.

Kľúčové lokality sú súčasťou základnej monitorovacej siete a hodnotené rizikové prvky z hľadiska možnej kontaminácie pôd vo vybraných sondách sú informáciou o potenciálnom hygienickom poškodení.

Z nameraných výsledkov (tab. č. 7-10 a obr. 9-20) je možné konštatovať, že na analyzovaných kľúčových lokalitách nedochádza k štatisticky významnému posunu hygienického stavu, či k prekročeniu limitných hodnôt z hľadiska kontaminácie podľa Zákona 220/2004 Z.z.

## **Záver**

Na základe zistených údajov v období rokov 2006-2009 možno konštatovať, že nebol doteraz zaznamenaný štatisticky významný posun v koncentrácii rizikových prvkov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. To znamená, že pôdy, ktoré boli už v minulosti kontaminované, zachovávajú si tento nepriaznivý stav aj v súčasnosti (napr. na rozdiel od ovzdušia a vody), a preto ich je potrebné aj v budúcnosti pravidelne monitorovať.

## **Literatúra**

Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene a doplnení niektorých zákonov, 2004

## 6.5 Obsah makro- a mikroelementov

### 6.5.1 Makroelementy

#### Fosfor

Obsah fosforu v pôde závisí hlavne od konkrétnej pôdy, pôdotvorného substrátu, ako aj spôsobu využívania. Obsah prístupného fosforu je dôležitým ukazovateľom stavu výživy rastlín. Jeho dôležitá a nezastupiteľná úloha v rastlinách spočíva v účasti na energetických a stavebných procesoch, ako je proces fotosyntézy, dýchania, metabolizmu cukrov a bielkovín. Obsah fosforu v pôdach je hlavne výsledkom intenzity hnojenia a vlastností pôd, pretože prirodzené zásoby tohto prvku v našich pôdach sú nízke. Pri prvom komplexnom pôdoznaleckom prieskume poľnohospodárskych pôd (1961 – 1970) bol obsah prístupného fosforu nízky, v ornici sa jeho obsah pohyboval v rozpätí 7,6 – 38,7 mg.kg<sup>-1</sup> (Kobza, Styk, 1997), priemerne 22,3 mg.kg<sup>-1</sup> (stanoveného prístupného fosforu podľa Egnera). V súčasnosti v rámci permanentného sledovania vlastností poľnohospodárskych pôd sme od 4. monitorovacieho cyklu (t.j. od roku 2007) začali hodnotiť obsah prístupného fosforu v pôdach podľa Mehlicha III. (túto formu fosforu analyzuje aj ÚKSUP v rámci ASP - agrochemického skúšania pôd). Prepočet obsahu prístupného fosforu podľa Egnera a Mehlicha III. je uvedený v publikácii Kobza a Gáborík, 2008.

V tab.1 je uvedené základné štatistické vyhodnotenie obsahu základných makroelementov (podľa Mehlicha III.) vo vybraných pôdach základnej monitorovacej siete pôd, ktoré sme analyzovali a hodnotili v roku 2009.

**Tab. 1** Obsah makroelementov P, K, Mg (Mehlich III.) v ornici (0-10 cm) poľnohospodárskych pôd SR (4. monitorovací cyklus)

Pôdy	Druh pozemku	P (mg.kg <sup>-1</sup> )			K (mg.kg <sup>-1</sup> )			Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )		
		Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
KM na flyši	TTP	1,0	62,2	23,5	71,2	787,0	173,9	55,2	444,0	192,6
KM na flyši	OP	5,9	190,0	84,6	104,0	348,0	205,5	85,6	386,0	210,9
KM na kryšt. s.	TTP	12,1	193,0	52,3	45,4	563,0	152,2	29,7	550,0	194,7
KM na kryšt. s.	OP	13,8	115,0	72,0	125,0	459,0	273,4	92,6	460,0	255,8
KM na karb.s.	TTP	2,6	26,7	10,2	97,3	332,0	209,4	66,8	611,0	253,8
KM na karb.s.	OP	26,5	96,6	- *	385,0	393,0	- *	198,0	743,0	- *

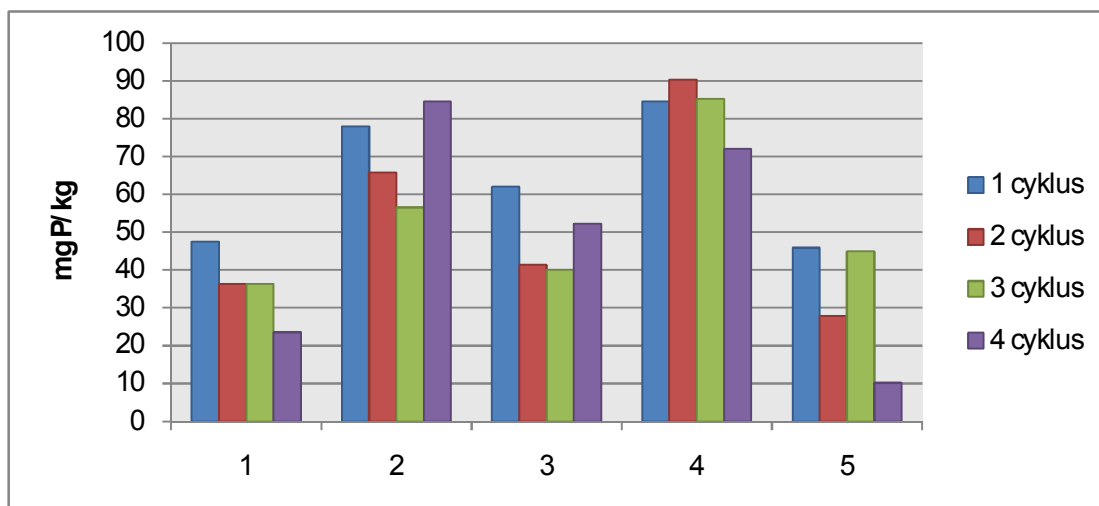
Xmin. – minimálna hodnota, Xmax. – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer,

\* - malý počet prípadov

Obsah prístupného fosforu sa v hodnotených pôdach pohybuje priemerne v rozpätí 10,2 – 84,6 mg.kg<sup>-1</sup>, čo je obsah nízky až vyhovujúci pre prevládajúce zrnitostne stredne ťažké pôdy (Kobza, Gáborík, 2008). Nižšie hodnoty prístupného fosforu boli zistené pod trvalými trávnyimi porastami (TTP), kde úroveň hnojenia bola aj v minulosti pomerne nízka.

Doterajší vývoj obsahu prístupného fosforu (podľa Mehlicha III.) vo vybraných poľnohospodárskych pôdach je znázornený na obr. 1.

**Obr. 1** Vývoj obsahu prístupného P (Mehlich III.) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

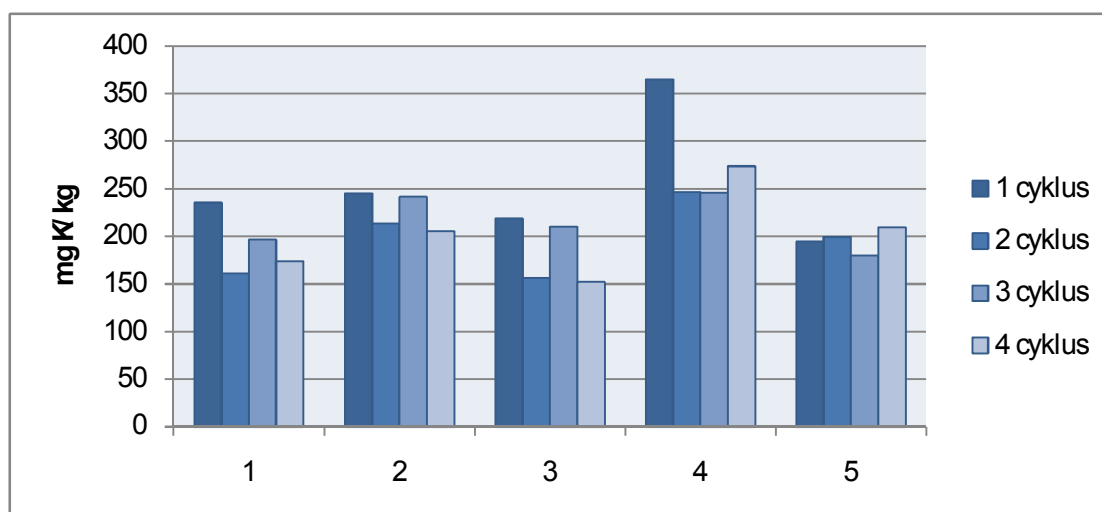
Vývoj obsahu prístupného fosforu je pomerne variabilný, a to ako na orných pôdach, tak aj na pôdach pod TTP, kde sú priemerné hodnoty nižšie oproti orným pôdam. Vyššie hodnoty obsahu prístupného fosforu na orných pôdach sú odrazom P-hnojenia, kde je obsah vyhovujúci.

#### Draslík

Draslík pozitívne vplýva na reguláciu vodného režimu v rastlinách a vytváranie priaznivého napätia (turgoru) v bunkách. Zúčastňuje sa a v mnohých prípadoch priamo aktivuje enzymatické reakcie prostredníctvom ktorých napomáha syntéze bielkovín, cukrov, tukov, škrobu a celulózy.

Vývoj obsahu prístupného draslíka za posledné obdobie je znázornený na obr. 2.

**Obr. 2** Vývoj obsahu prístupného K (Mehlich III.) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

Zásobenosť našich pôd draslíkom je oproti fosforu lepšia, čo pramení z pomerne dobrých prirodzených zdrojov minerálneho zloženia pôdy. Zvetrávaním pôdotvornej horniny vznikajú druhotné silikáty, predovšetkým ílové minerály, ktoré zachytávajú podstatnú časť uvoľneného draslíka z primárnych horninových minerálov (Torma, 1999).

Obsah prístupného draslíka (Mehlich III.) sa v hodnotených pôdach pohybuje v rozpätí 152,2 – 273,4 mg.kg<sup>-1</sup> (tab. 1), čo je obsah vyhovujúci až dobrý pre prevažujúce stredne ťažké pôdy. Vyššie priemerné hodnoty obsahu prístupného draslíka boli zistené na orných pôdach, ako vplyv draselného hnojenia.

Vývoj prístupného draslíka je v hodnotených pôdach za posledné obdobie viac-menej vyrovnaný, dosiahnuté hodnoty neprekračujú jeho priestorovú heterogenitu. V poslednom období nebol zistený výraznejší deficit tohto prvku v hodnotených pôdach.

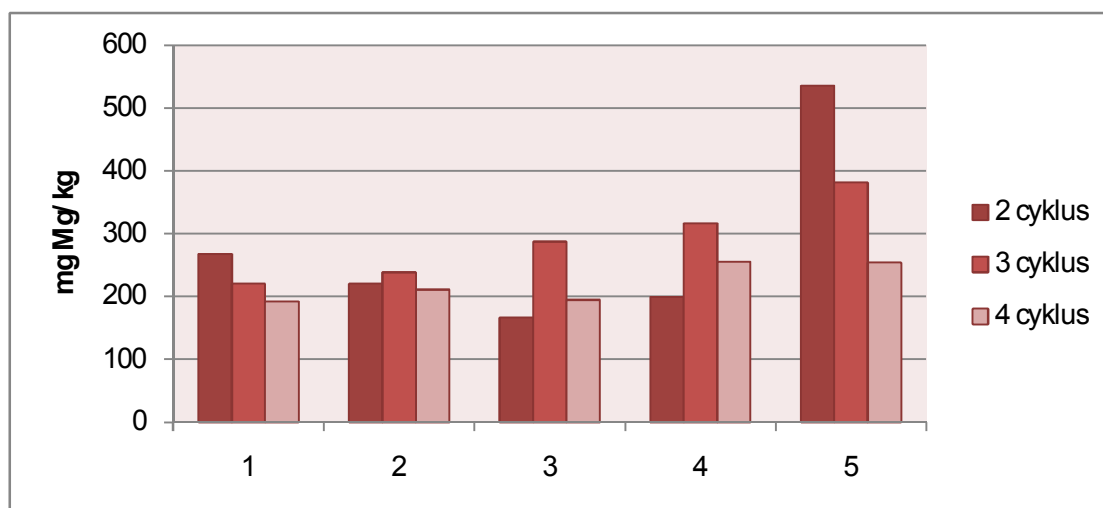
### Horčík

Horčík má značný vplyv na kvalitu rastlinných produktov, má veľký význam pre tvorbu bielkovín. Nemenej dôležitý je jeho význam pre človeka. Konzumácia rastlinných produktov s dostatkom horčíka priaznivo vplýva voči tzv. „civilizačným chorobám“, t.j. choroby krvného obehu a rakovine.

Obsah horčíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska nie je deficitný, čo sme konštatovali už v predchádzajúcej práci (Kobza a kol., 2009). Hodnoty prístupného horčíka v hodnotených pôdach sa pohybujú v rozpätí 192,6 – 255,8 mg.kg<sup>-1</sup>, čo je obsah dobrý (Kobza, Gáborík, 2008). Medzi ornými pôdami a pôdami pod TTP neboli zistené výraznejšie rozdiely, čo dokumentuje prirodzene dobrú zásobu tohto prvku v našich pôdach, pretože Mg-hnojenie sa v súčasných podmienkach v praxi nepraktizuje.

Vývoj obsahu prístupného horčíka za posledné obdobie je znázornený na obr. 3.

**Obr. 3** Vývoj obsahu prístupného Mg (Mehlich III.) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

Podobne ako pri predchádzajúcich prvkoch je obsah horčíka za posledné obdobie viac-menej variabilný, čo je pre tento prvok charakteristické. Vyššie hodnoty horčíka boli namerané v pôdach na karbonátových (resp. dolomitických) substrátoch.

V období rokov 2006 – 2009 v hodnotených pôdach (kambizeme, rendziny, černozeme) zisťujeme určitú stabilizáciu v obsahu prístupných živín (oproti



predchádzajúcemu obdobiu). Najvýraznejší deficit však stále pretrváva pri fosfore, zásobenosť hodnotených pôd draslíkom a horčíkom je na úrovni dobrej až vysokej.

## 6.5.2 Mikroelementy

### Meď (Cu)

Meď je jedným z dôležitých mikroelementov, ktorej nedostatok obmedzuje rast koreňov niektorých rastlín (najmä viniča) a spôsobuje chlorózu listov. Na nedostatok medi citlivo reaguje šalát a špenát, ale aj repa cviklová, cibuľa a struková zelenina (Demo a kol., 2002). Obsah mikroelementov v hodnotených pôdach je uvedený v tab. 2.

**Tab. 2** Obsah mikroelementov Cu, Zn, Mn (DTPA) v ornici (0-10 cm) poľnohospodárskych pôd SR (4. monitorovací cyklus)

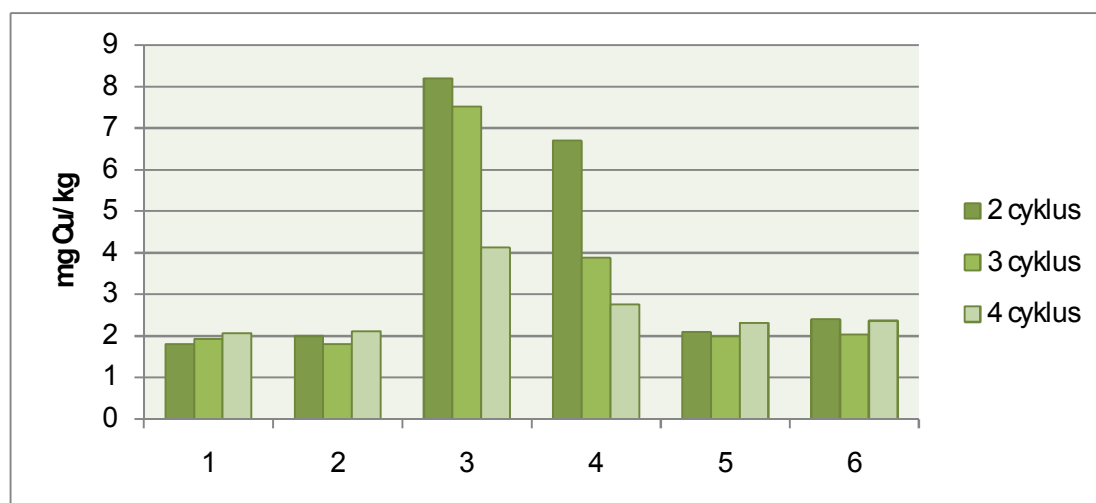
Pôdy	Druh pozemku	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )			Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )			Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )		
		Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
KM na flyši	TTP	0,70	5,52	2,07	0,46	5,47	2,84	12,20	210,00	75,48
KM na flyši	OP	0,98	5,30	2,11	0,53	7,40	2,12	10,90	117,00	56,82
KM na kryšt.	TTP	0,51	15,96	4,13	0,63	10,39	3,80	24,60	92,80	62,42
KM na kryšt.	OP	1,13	6,67	2,76	0,79	3,24	1,97	9,70	108,00	56,18
KM na karb.s.	TTP	1,35	3,20	2,32	1,04	10,90	3,65	17,00	124,00	59,20
KM na karb.s.	OP	1,45	3,96	2,37	0,85	2,49	1,50	25,60	63,90	38,80

Xmin. – minimálna hodnota, Xmax. – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer

Obsah medi (v extrakte DTPA) sa v hodnotených pôdach pohybuje priemerne v rozpätí 2,07 – 4,13 mg.kg<sup>-1</sup>, čo je obsah stredný až vysoký. Podobné hodnoty medi na týchto pôdach namerajú aj ÚKSUP (1,81 – 7,52 mg.kg<sup>-1</sup>) (Kobza, Gáborík, 2008), čo len potvrdzuje, že hodnotené pôdy obsahujú dostatok tohto prvku. Lokálne vyššie hodnoty Cu boli zistené v oblasti výskytu tzv. geochemických anomálií, ako aj v niektorých viniciach (vplyv aplikácie meďnatými prípravkami).

Vývoj obsahu Cu v hodnotených pôdach je znázornený na obr. 4.

**Obr. 4** Vývoj obsahu Cu (DTPA) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), 6 – KM na karbonátových substrátoch (OP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

Vývoj obsahu Cu je v hodnotených pôdach prevažne mierne variabilný, k výraznejšiemu zníženiu došlo na kyslých kambizemiach. Získané hodnoty Cu sú však stále vysoké.

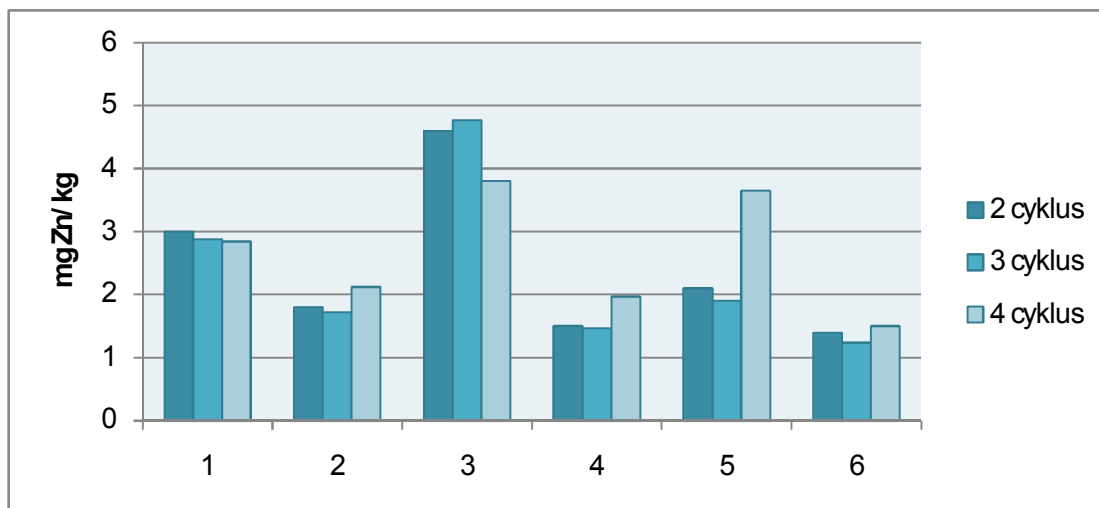
### Zinok (Zn)

Zinok je aktivátorom a stabilizátorom enzýmov, riadiacich metabolizmus rastlín. Pri jeho nedostatku sa znižuje syntéza RNK, bielkovín, škrobu a je porušená tvorba chlorofylu (Fecenko, Ložek, 2000).

Obsah zinku (DTPA) v hodnotených pôdach sa pohybuje v rozpätí 1,50 – 3,80 mg.kg<sup>-1</sup> (tab. 2), čo je podobne ako pri medi obsah stredný až vysoký. Potvrdila sa dobrá zásobenosť našich pôd zinkom, čo sme už konštatovali v niektorých predchádzajúcich prácach (Kobza, Gáborík, 2008., Kobza a kol., 2009).

Vývoj obsahu Zn v hodnotených pôdach je znázornený na obr. 5.

**Obr. 5** Vývoj obsahu Zn (DTPA) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), 6 – KM na karbonátových substrátoch (OP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

Vývoj obsahu zinku je mierne variabilný a odráža prirodzenú zásobenosť našich pôd týmto prvkom. Za posledné obdobie nedošlo k výraznejšiemu deficitu v zásobenosti pôd zinkom.

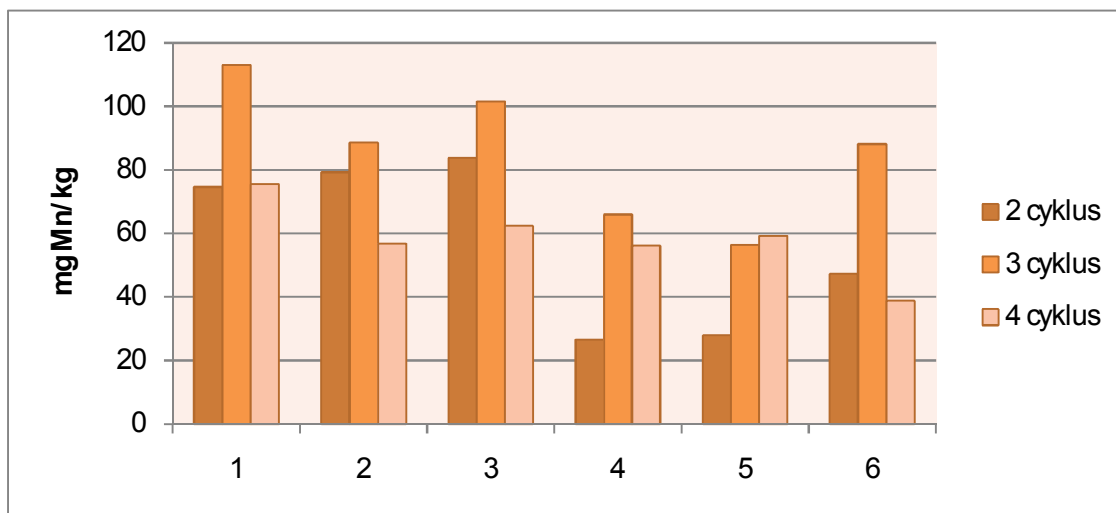
### Mangán (Mn)

Pôsobnosť mangánu v rastlinách je v aktivizovaní enzýmov, účasti pri fosforylačných reakciách a oxidačných a dekarboxilačných procesoch organických kyselín trikarbonátového cyklu. Je všeobecne známe, že mangánu je v našich pôdach relatívny dostatok. Prípadný nedostatok mangánu vzniká skôr nevhodnými stanovištnými podmienkami, ako jeho neprítomnosťou v pôde (Demo a kol., 2002).

Obsah mangánu sa v hodnotených pôdach pohybuje v rozpätí 38,80 – 75,48 mg.kg<sup>-1</sup> (tab. 2), čo je obsah stredný. Môžeme teda konštatovať, že podobne ako pri Cu a Zn, ani pri mangáne nevykazujeme jeho deficit v našich pôdach, čo sme potvrdili už aj v predchádzajúcej práci (Kobza a kol., 2009).

Vývoj obsahu mangánu v hodnotených pôdach za posledné obdobie je znázornený na obr. 6.

**Obr. 6** Vývoj obsahu Mn (DTPA) v ornici poľnohospodárskych pôd



1 – KM na flyši (TTP), 2 – KM na flyši (OP), 3 – KM na kryštaliniku (TTP), 4 – KM na kryštaliniku (OP), 5 – KM na karbonátových substrátoch (TTP), 6 – KM na karbonátových substrátoch (OP), OP – orná pôda, TTP – trvalé trávne porasty, KM - kambizem

Vývoj obsahu v hodnotených pôdach počas posledného obdobia prebieha skôr v smere jeho poklesu na rozdiel od jeho predchádzajúceho nárastu. Pre Mn je charakteristická jeho často výrazná variabilita, namerané hodnoty v doterajších cykloch sledovania sa však pohybujú prevažne v rozpätí 10 – 100 mg.kg<sup>-1</sup>, čo predstavuje stále stredný obsah mangánu v pôdach.

V období rokov 2006 – 2009 v hodnotených pôdach (kambizeme, rendziny, černozeme) zisťujeme stále prevažne stredný až vysoký obsah mikroelementov (Cu, Zn, Mn) v hodnotených pôdach. Možno teda konštatovať, že v našich pôdach nevykazujeme deficit hodnotených mikroelementov v pôdach, čo sme už dokumentovali aj v predchádzajúcej práci (Kobza a kol., 2009) pri hodnotení aj ďalších pôd. Z tohto pohľadu nie je v súčasnosti potreba vykonávať žiadne špeciálne regulačné opatrenia. Lokálne zvýšené hodnoty mikroelementov nachádzame v oblastiach vplyvu tzv. geochemických anomálií, resp. pri pestovaní niektorých špeciálnych plodín (napr. zvýšené hodnoty Cu v niektorých viniciach, ako výsledok vplyvu aplikácie mednatých postrekov). Naopak, príp. lokálne deficity, prejavované určitými karenčnými poruchami poľných plodín, je možné napraviť formou foliárneho postreku príslušnou mikroživinou, ako ekonomicky najpriateľnejší spôsob.

### Literatúra

- Demo, M., Hričovský, I., Bielek, P., Fehér, A., Francáková, H., Ginterová, A., Hanáčková, E., Hraška, Š., Hronský, Š., Húska, D., Jureková, Z., Landa, Z., Pospíšil, R., Rehák, Š., Rózová, Z., Sýkorová, Z., Valšíková, M. 2002. Trvalo udržateľné technológie v záhradníctve. SPU Nitra, 581 s.
- Fecenko, J., Ložek, O. 2000. Výživa a hnojenie poľných plodín. SPU Nitra a Duslo Šaľa, a.s., 2000, 442 s., ISBN 80-7137-777-5.
- Kobza, J., Styk, J. 1997. Phosphorus and potassium retrospective monitoring in main soils of Slovakia. Proceedings of SFRI Bratislava, 20/II., pp. 167-174.

- Kobza, J., Gáborík, Š. 2008. Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPOP Bratislava, 58 s., ISBN 978-80-89128-47-1.
- Kobza, J., Baramčíková, G., Čumová, L., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M., Tóthová, G. 2009. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. VÚPOP Bratislava, 2009, 200s., ISBN 978-80-89128-54-9.
- Torma, S. 1999. Draslík – dôležitá živina v pôde a v rastline. VÚPOP Bratislava, 1999, 72 s., ISBN 80-85361-51-5.

## 6.6 Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty

Pôdny organický uhlík (POC) je jedným z najdôležitejších indikátorov pôdy, ovplyvňuje takmer všetky jej funkcie a určuje podmienky a trendy vo vývoji pôdnej kvality. Napriek relatívne nízkym hodnotám, predovšetkým v intenzívne obrábaných pôdach, patrí POC k základným komponentom pôdy, nakoľko má vplyv na všetky chemické, biologické i fyzikálne procesy, ktoré v pôde prebiehajú. POC ovplyvňuje úrodnotvornú funkciu pôdy, ale aj na mnohé ekologické funkcie a je pokladaný za kľúčový indikátor pôdnej kvality (Reeves, 1997). Práve mimoriadna dôležitosť POC v pôdnych funkciách podčiarkuje nevyhnutnosť tvorby efektívnych národných monitorovacích sietí na zachytenie dlhotrvajúcich trendov v zásobách pôdneho organického uhlíka v Európe (Saby a kol., 2008). Z uvedeného dôvodu sa aj v rámci Slovenska od roku 1993 pravidelne monitoruje obsah a kvalita pôdnej organickej hmoty (POH). Najnovšie výsledky v sledovaní minimálnych zmien v zásobách POC v Európe doporučujú 10 ročný časový interval (Saby a kol., 2008). Na Slovensku sa POC v základnej monitorovacej sieti, podobne ako ostatné základné chemické a fyzikálne parametre pôdy, monitoruje v 5 ročných monitorovacích intervaloch. Okrem základnej monitorovacej siete sa koncentrácia pôdneho organického uhlíka sleduje aj na vybraných kľúčových lokalitách, ktoré charakterizujú hlavné pôdne typy poľnohospodárskych pôd Slovenska v pravidelných ročných intervaloch. Na 12 kľúčových lokalitách sa sledujú aj zmeny v detailnom zložení humínových kyselín. V predkladanej práci uvádzame hodnotenie zmien v množstve a kvalite POH na všetkých pôdnych skupinách kambizemí v rámci základnej monitorovacej siete v časovom intervale 1993-2007, na 4 kľúčových lokalitách kambizemí v intervale 1995-2009, ako aj detailné zmeny v chemickom zložení humínových kyselín izolovaných z dvoch kambizemí na vybraných kľúčových lokalitách v priebehu monitorovacieho obdobia (1995-2007).

### *Materiál a metódy*

V rámci základnej monitorovacej siete je hodnotenie pôdnej organickej hmoty realizované na orných pôdach (OP) a trvalých trávnych porastoch (TTP) týchto pôdnych skupín:

KM IA	- kambizeme pseudoglejové na flyši TTP
KM IB	- kambizeme pseudoglejové na flyši OP
KM IIA	- kambizeme kyslé na kyslých substrátoch a kyslých bridliciach TTP
KM IIB	- kambizeme kyslé na kyslých substrátoch a kyslých bridlisiach OP
KM IIIA	- kambizeme na karbonátových substrátoch TTP
KM IIIB	- kambizeme na karbonátových substrátoch OP

V základnej monitorovacej sieti bol obsah pôdneho organického uhlíka – POC, ako aj celkového dusíka Nt v štvrtom monitorovacom cykle (rok odberu 2007) stanovený v hĺbkach: 0-10 a 35-45 cm. POC aj Nt boli stanovené suchou cestou na CN analyzátore (STN ISO 10694, 2001). V hĺbke 0-10 cm bolo stanovené aj frakčné zloženie humusu podľa Kononovej a Beľčikovej (Kobza, 1999). Na hodnotenie kvality humusu boli vybrané parametre - Chk/Cfk (pomer uhlíka humínových a fulvokyselín) a farebný kvocient  $Q^4_6$  (pomer absorbancií meraných v roztoku humínových kyselín pri vlnových dĺžkach 465 a 650 nm). Obsah POC a Nt v orničnom horizonte ako aj základné kvalitatívne parametre humusu boli stanovené aj na štyroch kľúčových lokalitách, z ktorých tri: Sihla, Raková, Krompachy sú trvalé trávne porasty a Istebné je na ornej pôde. Na dvoch z nich Sihla a Raková bola zrealizovaná aj izolácia humínových kyselín (HK) a stanovená detailná štruktúra HK na

základe týchto parametrov: elementárne stanovenie uhlíka, dusíka, vodíka a kyslíka (CHN analýza), optický parameter  $E^{1\%}_d$ , karboxylová kyslosť HK a spektrá nukleárnej magnetickej rezonancie  $^{13}\text{C}$  NMR, z ktorých sa vypočítalo percentuálne zastúpenie aromatického (Car) a alifatického (Calif) uhlíka a stupeň aromaticity -  $\alpha$ . Izolácia humínových kyselín ako aj metódy stanovenia všetkých sledovaných parametrov sú uvedené v Záväzných metódach rozborov pôd (Kobza, 1999).

## Výsledky a diskusia

### 6.6.1 Hodnotenie súčasného stavu a vývojového trendu vybraných skupín kambizemí základnej siete (porovnanie I. – IV. monitorovacieho cyklu, 1997-2002)

Kambizeme sú najrozšírenejším pôdnym typom na Slovensku, ich výmera na poľnohospodárskych pôdach je cca 27% (Bielek a kol., 1998). Nachádzajú sa predovšetkým na vrchovinách a pohoriach na zvetralinách pevných nekarbonátových i karbonátových hornín. Sú to stredne úrodné pôdy, produkčný potenciál má rozpätie 10 -60 bodov (Bielek a kol., 1998).

Ako vidíme z tab.1 a obr.1 hodnoty pôdneho organického uhlíka v orniciach kambizemí na trvalých trávnych porastoch sú podstatne vyššie ako na orných pôdach. Uvedené rozdiely sú v súlade s literatúrnymi údajmi, nakoľko Guo a Gifford (2002) na základe výsledkov meta analýzy uvádzajú, že pri zmene hospodárenia na pôde v prípade rozorania pasienkov je pokles POC až 59 %, čo zodpovedá aj našim hodnotám POC na kambizemiach na OP a TTP. Najvyššími hodnotami POC na trvalých trávnych porastoch kambizemí disponujú kambizeme na karbonátových substrátoch a najnižšie hodnoty POC na TTP boli zistené na kambizemiach kyslých na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (tab.1.).

Na všetkých pôdných skupinách kambizemí orných pôd je hodnota organického uhlíka podstatne nižšia ako na TTP (tab. 1.). Nižšie hodnoty POC na ornej pôde v porovnaní s TTP sú v súlade s literatúrnymi údajmi, nakoľko viacerí autori (Bedrna 1966, Cambel a Souster, 1982) uvádzajú, že intenzívne obhospodarovanie pôdy vedie k zníženiu množstva organickej hmoty. Pri rozoraní pasienkov dochádza k porušeniu prirodzenej rovnováhy a obsah humusu sa podstatne zníži v dôsledku intenzívnej mineralizácie hlavne v orničnom horizonte (Churkov, 2000).

**Tab. 1** Hodnoty POC (%) vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdných typoch

Pôdny typ	Druh pozemku	Hĺbka (cm)	X min	X max	X
KM IA	TTP	0-10	1,1	4,7	2,8
		35-45	0,4	1,3	0,8
KM IB	OP	0-10	1	3,4	1,9
		35-45	0,1	1,8	0,7
KM IIA	TTP	0-10	1,6	6,9	3,3
		35-45	0,3	1,9	0,8
KM IIB	OP	0-10	1	3,1	2
		35-45	0,3	1,4	0,7
KM IIIA	TTP	0-10	2,6	8,9	4,8
		35-45	0,8	3,8	2
KM IIIB	OP	0-10	1,3	1,9	1,6
		35-45	0,5	0,9	0,7

V hĺbke 35-45 cm sú hodnoty organického uhlíka podstatne nižšie v porovnaní s orničným horizontom a viac sa v tomto horizonte odrážajú rozdiely medzi jednotlivými skupinami kambizemí, nakoľko najvyššie hodnoty tohto parametra, podobne ako v prípade

ornice boli zistené na kambizemiach karbonátových (tab. 1). Rozdiely medzi obsahom POC v podorničnom horizonte OP a TTP v prípade kyslých kambizemí a kambizemí na flyši sú nepatrné avšak na TTP kambizemí na karbonátových substrátoch je hodnota POC v podorničnom horizonte podstatne vyššia ako v prípade orných pôd (tab. 1).

Nakoľko viac ako 95% celkového dusíka je akumulovaných v pôdnej organickej hmote, hodnoty celkového dusíka kambizemí úzko korelujú s hodnotami POC ( $R = 0.83^{**}$ ,  $n=75$ ). Podobne ako v prípade POC priemerná hodnota Nt na TTP je podstatne vyššia ako na OP. Najvyššia hodnota Nt z jednotlivých skupín kambizemí je rovnako ako v prípade POC na kambizemiach na karbonátových substrátoch (tab.2). Zásobenosť organickej hmoty dusíkom sa hodnotí na základe pomeru C/N (Sotáková, 1982), pričom čím nižšia je hodnota C/N, tým je zásoba dusíka v POH vyššia. Priemerné hodnoty pomeru C/N, ktorý je jedným z hlavných ukazovateľov kvality humusu (Sotáková, 1982) a zároveň môže byť aj dobrým indikátorom dynamiky pôdnej kvality (Franzluebbers, 2002), sú pomerne vyrovnané a v jednotlivých skupinách kambizemí sa pohybujú v rozmedzí od 8,6 do 10,8, čo predstavuje strednú zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote (tab. 2). Relatívne nižšie hodnoty C/N (8,6-8,9) boli zistené na orných pôdach kambizemí v porovnaní s TTP.

**Tab. 2** Hodnoty Nt (mg/kg) vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdnych typoch. Rok odberu: 2007

Pôdny typ	Druh pozemku	hĺbka (cm)	N			C/N		
			Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
KM IA	TTP	0-10	1330	5010	3176	7,7	10,7	9,1
KM IB	OP	0-10	1220	3900	2214	7,1	9,4	8,6
KM IIA	TTP	0-10	1530	6090	3291	4,7	15,1	10
KM IIB	OP	0-10	1150	4630	2311	6,5	10,1	9
KM IIIA	TTP	0-10	2620	6890	4464	8,6	12,9	10,8
KM IIIB	OP	0-10	1480	2050	1765	8,6	9,3	8,9

Kvalitatívne parametre pôdnej organickej hmoty na orných pôdach vo väčšej miere odrážajú genézu pôdneho typu ako hodnoty pôdneho organického uhlíka. Základným kvalitatívnym parametrom je pomer humínových a fulvo kyselín (Chk/Cfk). Nakoľko v tomto prípade hodnotíme jeden pôdny typ, rozdiely v hodnotách kvalitatívnych parametrov medzi jednotlivými skupinami kambizemí sú minimálne. Ako je možné vidieť z tab. 3 vo všetkých skupinách kambizemí prevládajú fulvokyseliny nad humínovými kyselinami, čo je charakteristické pre tento pôdny typ (Linkeš a kol., 1997). Nízke hodnoty tohto parametra indikujú slabo humifikovanú pôdnu organickú hmotu (Sotáková, 1982).

**Tab. 3** Hodnoty kvalitatívnych parametrov Chk/Cfk a  $Q_{46}^4$  vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdnych typoch. Rok odberu: 2007

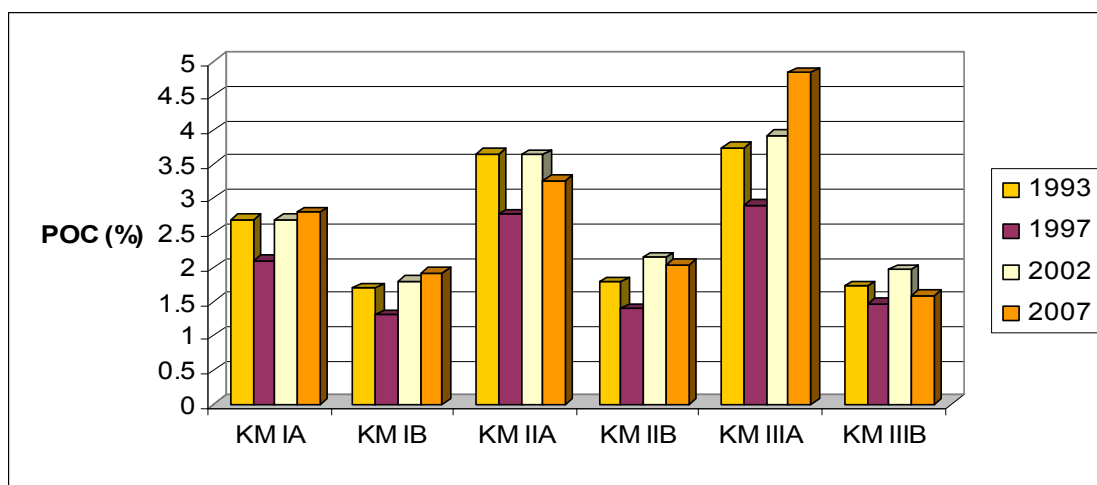
pôdny typ	kultúra	hĺbka (cm)	Chk/Cfk			$Q_{46}^4$		
			Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
KM IA	TTP	0-10	0,2	0,7	0,5	4,7	6,4	5,5
KM IB	OP	0-10	0,2	0,5	0,3	3,7	8	5,4
KM IIA	TTP	0-10	0,2	1,3	0,5	4,1	8,1	6
KM IIB	OP	0-10	0,2	0,6	0,4	4,7	7,3	5,7
KM IIIA	TTP	0-10	0,2	0,7	0,5	5,2	6,1	5,6
KM IIIB	OP	0-10	0,4	0,6	0,5	5,6	5,8	5,7

Ďalším dôležitým kvalitatívnym parametrom je optický kvocient  $Q_{46}^4$ , pričom vyššie hodnoty tohto parametra sú charakteristické pre labilnejšiu, menej vyzretú POH (Sotáková, 1982). V súlade s týmto tvrdením, sú vysoké hodnoty optického parametra, ktoré sa medzi jednotlivými skupinami kambizemí pohybujú v rozmedzí 5,4 – 6, pričom najvyššia hodnota

bola zistená na trvalých trávnych porastoch kyslých kambizemí (tab. 3) Z kvalitatívneho hľadiska je možné pôdnu organickú hmotu kambizemí predovšetkým na TTP zaradiť do najhoršej III. kategórie kvality (Barančíková, 2007).

Hodnoty POC kambizemí sa v priebehu celého monitorovacieho cyklu nachádzajú nad limitnými hodnotami pre túto pôdnu skupinu (Barančíková, 2007). Najnižšie hodnoty POC na kambizemiach počas celého monitorovacieho obdobia boli zaznamenané v r. 1997, po prvom 5 ročnom cykle, podobne ako v ostatných pôdnych typoch (Barančíková, 2009). Príčin poklesu obsahu organického uhlíka medzi rokmi 1993-1997 môže byť viacero, ale v slovenskom poľnohospodárstve je to predovšetkým pomerne prudký pokles znižovania produkcie maštalného hnoja po roku 1989 ako aj pokles úrod poľnohospodárskych plodín a s tým súvisiaci nižší prísun rastlinných zvyškov do pôdy (Jurčová, 1996). Po roku 1997 sa situácia v slovenskom poľnohospodárstve čiastočne stabilizovala a koncom 90-tych rokov ako jedna z priorít štátnej dotačnej politiky bolo realizované tiež zvyšovanie obsahu organických látok v pôde prostredníctvom organického hnojenia (Jurčová, 2000), resp. zvyšujúci sa podiel orných pôd, na ktorých sa aplikuje minimálne obrábanie pôdy, čoho dôsledkom môže byť aj nárast a následné stabilizovanie obsahu POC v sledovaných pôdnych skupinách orných pôd. Na takmer všetkých skupinách kambizemí OP i TTP sa hodnoty POC v poslednom monitorovacom cykle (2007) nelíšia od počiatočných hodnôt na týchto pôdnych skupinách (obr. 1). Nárast pôdneho organického uhlíka bol zistený iba na trvalých trávnych porastoch kambizemí na karbonátových substrátoch, pričom iba na tejto skupine kambizemí je hodnota POC z posledného odberu vyššia ako počiatočná koncentrácia pôdneho organického uhlíka (obr. 1).

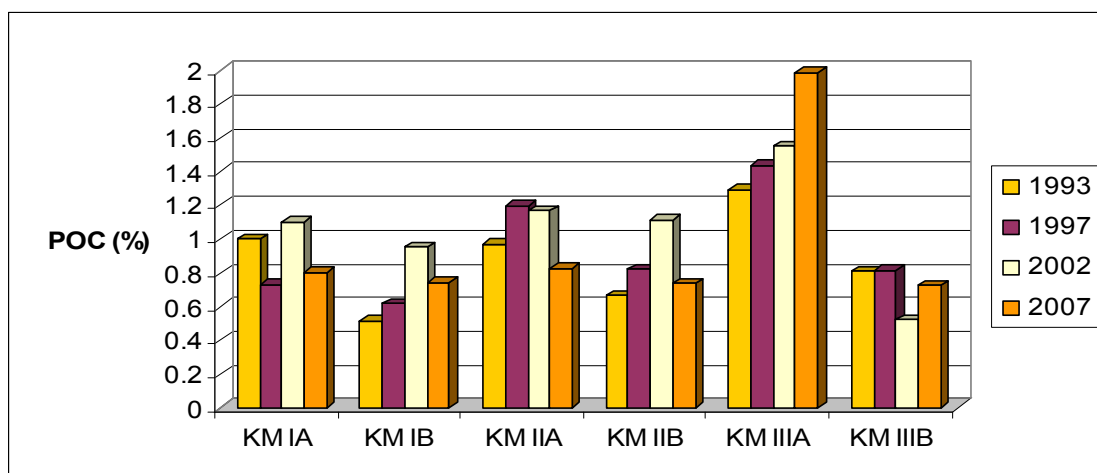
**Obr. 1** Vývoj POC na jednotlivých skupinách kambizemí v ornici v monitorovacom období 1993 – 2007.



Hodnoty POC v podorničnom horizonte kambizemí, okrem kambizemí na karbonátových substrátoch na TTP, sú veľmi nízke a v priebehu monitoringu majú kolísavý trend. Postupný nárast hodnôt pôdneho organického uhlíka v podornici bol zaznamenaný na kambizemiach na karbonátových substrátoch na TTP (Obr. 6.2).



**Obr. 2** Vývoj POC na jednotlivých skupinách kambizemí v podorničnom horizonte v monitorovacom období 1993 – 2007

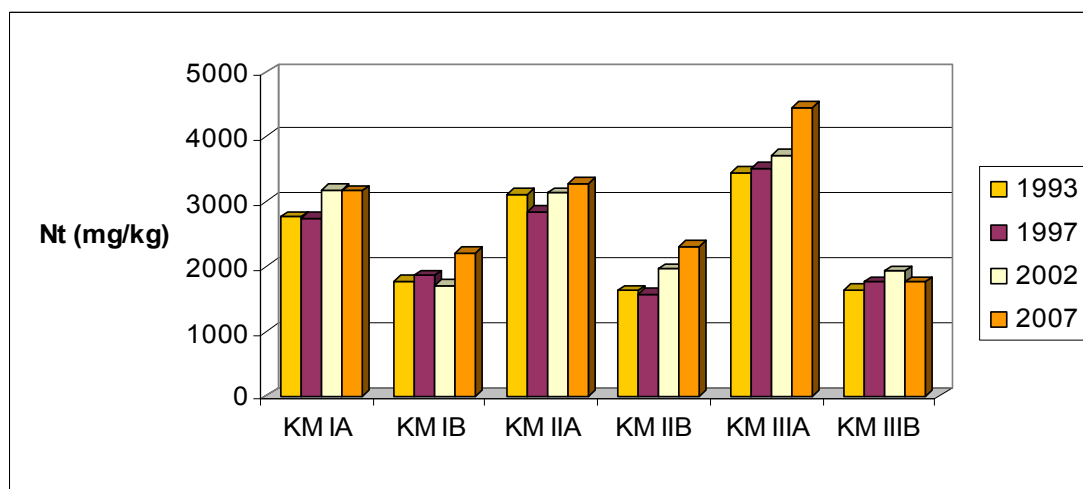


Nakoľko hodnoty celkového dusíka úzko korelujú s hodnotami POC ich trend v priebehu monitoringu je porovnateľný. Na kambizemiach na flyši a kyslých kambizemiach sú hodnoty Nt v priebehu monitoringu pomerne vyrovnané, postupné zvyšovanie tohto parametra bolo zaznamenané na kambizemiach kyslých na OP a trvalých trávnych porastoch kambizemí na karbonátových substrátoch (obr. 3).

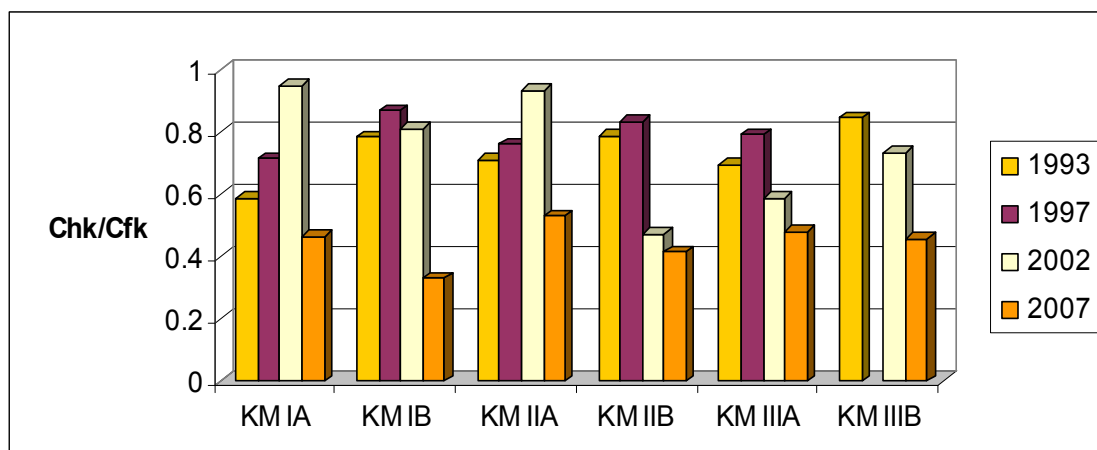
V pôdnej organickej hmote kambizemí v priebehu celého monitorovacieho obdobia prevládajú fulvokyseliny nad humínovými kyselinami, teda hodnoty pomeru Chk/Cfk sú menšie ako 1. V poslednom odberovom cykle na všetkých skupinách kambizemí bol zaznamenaný pokles tohto parametra, teda podstatné zvýšenie zastúpenia fulvokyselín v pôdnej organickej hmote kambizemí, čo môže indikovať zlabilnenie štruktúry POH v tomto pôdnom type (obr. 4).

Hodnoty optického parametra  $Q^4_6$  jednotlivých skupín kambizemí sú značne vysoké a v priebehu monitoringu sa pohybujú ako 5. V zatiaľ poslednom odbere bol zaznamenaný značný nárast tohto parametra, čo môže podobne ako v prípade pomeru Chk/Cfk indikovať zlabilnenie štruktúry POH kambizemí (obr. 5).

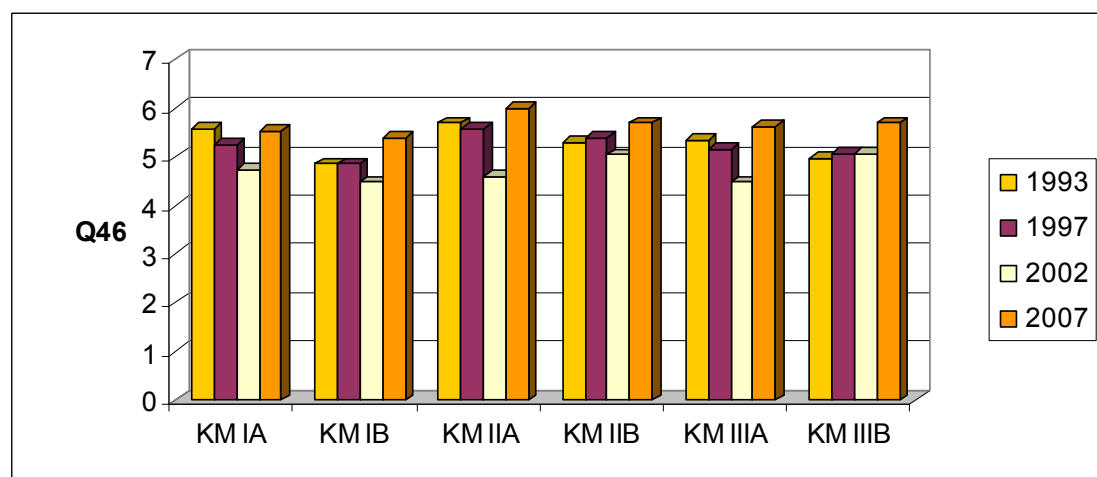
**Obr. 3** Vývoj celkového dusíka (Nt) na jednotlivých skupinách kambizemí v monitorovacom období 1993 - 2007



**Obr. 4** Vývoj pomeru Chk/Cfk na jednotlivých skupinách kambizemí v monitorovacom období 1993 - 2007



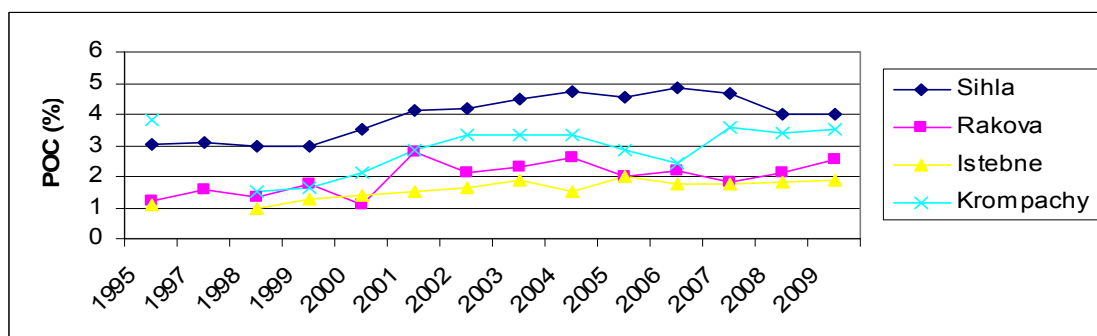
**Obr. 5** Vývoj optického parametra  $Q_6^4$  na jednotlivých skupinách kambizemí v monitorovacom období 1993 – 2007



Zmeny základných parametrov obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty na kľúčových lokalitách kambizemí (1995-2009).

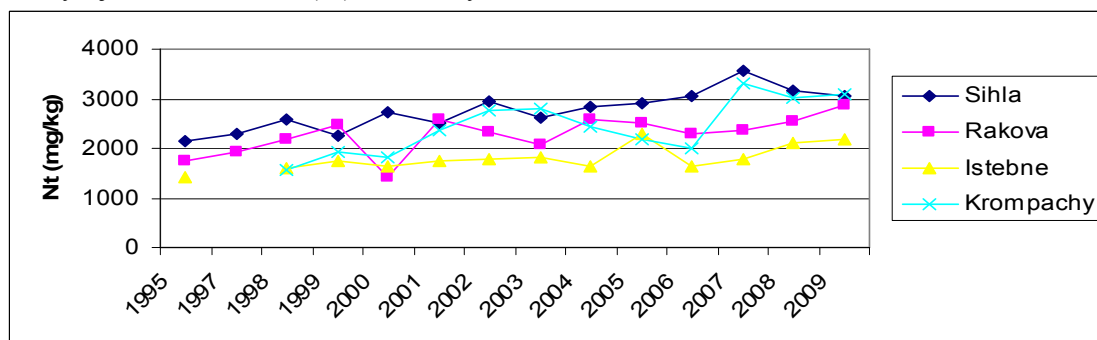
Najvyšší obsah pôdneho organického uhlíka spomedzi kambizemí na kľúčových lokalitách má lokalita Sihla, ktorá sa nachádza na TTP Slovenského rudohoria v nadmorskej výške cca 1000 m. Najnižší obsah POC bol zaznamenaný na lokalite Istebné, ktorá sa nachádza na ornej pôde (obr. 5). Uvedená skutočnosť je v súlade s priemernými hodnotami POC kambizemí na OP a TTP v rámci základnej monitorovacej siete. V prvej fáze monitoringu (1995-2003) hodnoty POC na všetkých sledovaných lokalitách kambizemí stúpali, od r. 2004 je trend v obsahu POC kolísavý, pričom ustálený stav POC bol pozorovaný na ornej pôde lokality Istebné (obr. 5).

**Obr. 5** Vývoj POC na kľúčových lokalitách kambizemí v monitorovacom období 1995 – 2009



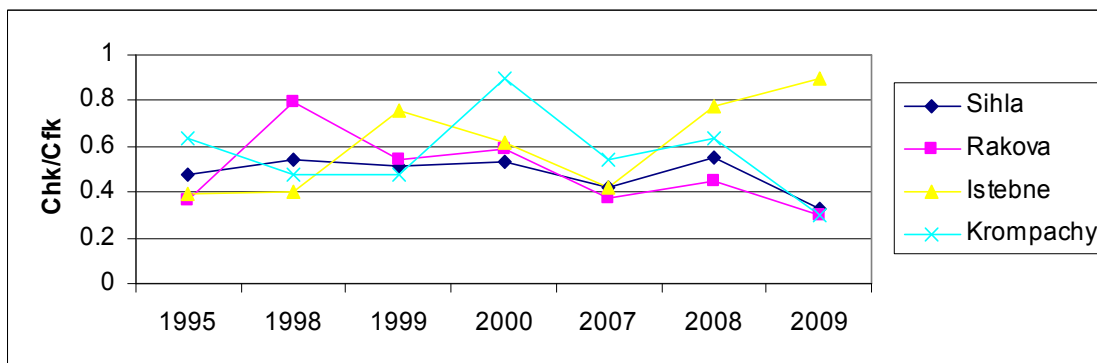
Podobne ako pri hodnotách POC aj hodnoty celkového dusíka boli najvyššie na lokalite TTP Sihla a najnižšie na ornej pôde lokality Istebné (obr. 6). Vývoj Nt v priebehu monitorovacieho obdobia mal vyššiu fluktuáciu ako POC ale trend oboch parametroch bol podobný, čo potvrdzuje aj vysoká hodnota korelačného koeficientu medzi POC a Nt ( $R=0,83^{**}$ ,  $n=53$ ).

**Obr. 6** Vývoj celkového dusíka (Nt) na kľúčových lokalitách kambizemí v monitorovacom období 1995 - 2009



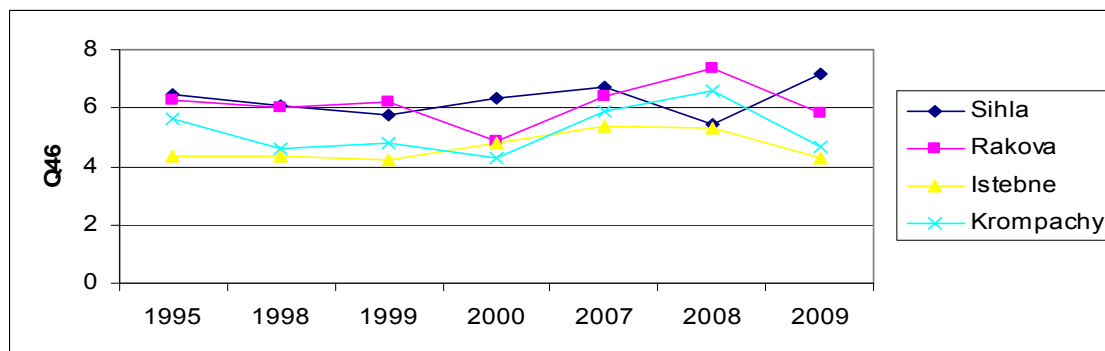
Zmeny v kvalitatívnych parametroch pôdnej organickej hmoty môžeme pozorovať aj na kľúčových lokalitách kambizemí. Počas celého monitorovacieho obdobia na sledovaných lokalitách prevládali fulvokyseliny nad humínovými kyselinami, takže pomer Chk/Cfk bol menší ako 1. V priebehu monitoringu môžeme pozorovať pomerne značné kolísanie tohto parametra, pričom v poslednom období bol zaznamenaný pokles hodnoty Chk/Cfk na kľúčových lokalitách kambizemí na trvalých trávnych porastoch, naopak, na kambizemi na ornej pôde sme zaznamenali nárast tohto parametra (obr. 7).

**Obr. 7** Vývoj pomeru Chk/Cfk kľúčových lokalitách kambizemí v monitorovacom období 1995 - 2009



V priebehu monitorovacieho obdobia najvyššie hodnoty optického parametra  $Q^4_6$  indikujúce najmenej stabilnú štruktúru POH boli zistené na trvalých trávnych porastoch lokalít Sihla a Raková, relatívne najnižšie hodnoty tohto parametra indikujúce stabilnejšiu štruktúru boli zaznamenané na ornej pôde lokality Istebné (obr. 8).

**Obr. 8** Vývoj optického parametra  $Q^4_6$  na kľúčových lokalitách kambizemí v monitorovacom období 1995 – 2009



### 6.6.2 Zmeny v chemickom zložení humínových kyselín na kľúčových lokalitách kambizemí Sihla (055) a Raková (059) na TTP (1995-2007).

Kvalita pôdnej organickej hmoty predovšetkým na orných pôdach s nízkymi hodnotami celkového množstva POC zohráva pri viacerých procesoch (inaktivácia kontaminantov, transformácia organických polutantov) dôležitejšiu úlohu ako jej celkové množstvo. Z hľadiska úrodnosti, ale aj mimoprodukčných funkcií pôdy dôležitú úlohu zohrávajú humínové kyseliny (HK), ktoré spolu s fulvo kyselinami (FK) a humínom reprezentujú tri základné frakcie humusu. Pre poznanie detailnej chemickej štruktúry je vhodné izolovať humínové kyseliny a monitorovaním ich základných chemických parametrov sledovať humifikačné, resp. mineralizačné trendy POH. Z uvedeného dôvodu sa na vybraných kľúčových lokalitách v trojročných monitorovacích cykloch izolujú HK a zmeny ich chemickej štruktúry sa sledujú stanovením vybraných chemických a fyzikálno-chemických parametrov.

**Tab. 4** Vývoj hodnôt základných parametrov chemickej štruktúry humínových kyselín kambizemí

Lokalita/rok	C (atom.%)	H (atom.%)	Car (%)	$\alpha$ (%)	$E^{1\%}_6$	COOH (meq/1g HK)
055/95	39.7	41.0	30	36.3	11	2.7
055/98	38.5	43.1	29	37.7	11.5	2.8
055/01	39.9	39.5	31.3	40.8	12	3.6
055/04	39.3	40.9	31.6	41.5	14.3	2.6
055/07	40.6	38.4	24.5	30	16.5	3
059/95	38.8	41.5	30.7	36.2	9	2.5
059/98	39.4	40.4	30	38.8	7.4	2.8
059/01	38.6	41.3	27.6	35.3	7	2.9
059/04	38.8	40.0	25.2	33.1	7.9	2.2
059/07	39.3	40.1	21.2	25.2	9.6	3.1

**C, H** - hodnoty uhlíka a vodíka elementárnej analýzy v atómových %, **Car** - % aromatického uhlíka,  **$\alpha$**  - stupeň aromaticity (%),  **$E^{1\%}_6$**  - extincia nameraná v 1% roztoku HK pri vlnovej dĺžke 600 nm, **COOH** – karboxylová kyslosť (meq/1g HK)

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.

Zastúpenie uhlíka v HK sledovaných kambizemí Sihla (055) a Raková (059) je v porovnaní s HK černoze (Barančíková, 2009) nízke a naopak, percento vodíka značne vysoké, čo indikuje nízky stupeň humifikácie humínových kyselín kambizemí (tab.4). Trend v zastúpení C a H v priebehu monitorovacieho obdobia je značne kolísavý, predovšetkým v zastúpení vodíka HK lokality Sihla (tab.4).

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  $E^{1\%}_6$  Kumada nazýva stupeň humifikácie. Nízke hodnoty tohto parametra indikujú slabo humifikovateľnú pôdnu organickú hmotu. Nízkymi hodnotami (7-16)  $E^{1\%}_6$  disponujú aj nami sledované HK kambizemí, ktoré sú v súlade s nízkymi hodnotami uhlíka a vysokými hodnotami vodíka elementárneho zloženia HK (tab.4). Na porovnanie, hodnoty  $E^{1\%}_6$  černoze sa pohybujú nad 30 (Barančíková, 2009).

Ďalším dôležitým parametrom pri posudzovaní kvality HK je obsah karboxylových funkčných skupín. Vyššie hodnoty COOH charakterizujú vyzretejšiu POH s vyšším stupňom humifikácie a nízke hodnoty tohto parametra nízky humifikačný stupeň HK (Rossel a kol. 1989). V nami sledovaných kambizemiach sú hodnoty karboxylovej kyslosti pomerne nízke v priebehu monitorovacieho obdobia sa pohybujú v rozpätí 2,2 -3,6 a ich trend je kolísavý (tab.4), na rozdiel od černoze, kde sú hodnoty tohto parametra vyššie ako 4,5 (Barančíková, 2009).

Pri štúdiu štruktúry humusových kyselín (HK) je v súčasnosti jednou z najpoužívanejších spektrálnych techník nukleárna magnetická rezonancia uhlíka  $^{13}\text{C}$ , ktorá umožňuje kvantitatívne stanovenie jednotlivých typov uhlíka v štruktúre pôdnej organickej hmoty (Mathers a kol. 2000). Z parametrov  $^{13}\text{C}$  NMR spektier je z hľadiska chemickej štruktúry HK najdôležitejšie percentuálne zastúpenie alifatického (Calif) a aromatického uhlíka (Car), z ktorých sa stanovuje stupeň aromaticity  $\alpha$ . Podiel aromatického uhlíka a stupňa aromatizácie v HK kambizemí z lokalít Sihla a Raková je nízke, čo je v súlade s hodnotami ostatných sledovaných parametrov (tab.4) a indikuje slabo humifikovanú POH na týchto lokalitách kambizemí. Ako uvádza Gonzáles-Peréz (Gonzáles-Peréz a kol. 2007) neobrábané pôdy vykazujú nižšie percento Car ako orné pôdy, čo je v súlade aj s našimi výsledkami, nakoľko sledované HK sú izolované z trvalých trávnych porastov kambizemí. V prípade lokality Sihla je zastúpenie stupňa aromatizácie značne kolísavé, ale v prípade HK z lokality Raková je badateľný trend ďalšieho zlabilňovania HK, čo indikujú klesajúce hodnoty stupňa aromatizácie HK (tab. 4).

### **Hodnotenie množstva a kvality pôdnej organickej hmoty v období 2006-2009.**

V uvedenom období bolo uskutočnené komplexné hodnotenie monitoringu pôdnej organickej hmoty troch odberov, 1993, 1997, 2002. Na základe získaných výsledkov je zrejme, že obsah organického uhlíka v orníčnom horizonte orných pôd rovnakých pôdnych typov je podstatne nižší ako na TTP. Dosaiahnuté výsledky monitoringu POH tiež ukazujú, mierny pokles organického uhlíka ornice v prvom päťročnom cykle, ktorý sa môže vzťahovať na komplexné zmeny, ktorými prešlo slovenské poľnohospodárstvo v uvedenom období. V druhom cykle sme na všetkých sledovaných pôdnych skupinách orníc (okrem rendzín) zaznamenali nárast tohto parametra, takže môžeme povedať, že úroveň POH v r. 2002 dosiahla stav zistený na začiatku monitorovacieho obdobia. Na základe zatiaľ iba čiastkových výsledkov môžeme konštatovať, že stav POC dosiahnutý v roku 2002 sa na väčšine zatiaľ hodnotených pôdnych typov udržuje aj v ďalšom monitorovacom cykle z roku 2007.

Rozdiely v hodnotách POC v podorníčnom horizonte (35-45 cm) boli v priebehu monitoringu minimálne, na viacerých pôdnych typoch však môžeme pozorovať postupný

nárast organického uhlíka v tejto hĺbke. Pomerne alarmujúci je však pokles POC v podorničnom horizonte regozemí, ktoré disponujú najnižším množstvom POC na orných pôdach. Zmeny v hodnotách celkového dusíka boli minimálne, ale na niektorých pôdnych typoch bol zaznamenaný postupný nárast  $N_t$ , ktorý na niektorých pôdnych typoch pokračuje aj v ďalšom období (monitorovací cyklus 2007).

Zmeny v hodnotách  $C_{HK}/C_{FK}$  boli v prvom monitorovacom cykle minimálne, ale v druhom cykle sme na viacerých pôdnych typoch zaznamenali zníženie tohto parametra, čo môže súvisieť s nárastom POC v tomto cykle, nakoľko pri zvyšovaní množstva pôdnej organickej hmoty sa rýchlejšie tvoria fulvokyseliny na úkor stabilnejších humínových kyselín. Uvedený trend pokračuje v kambizemiach aj v ďalšom období (monitorovací cyklus 2007). V súlade s týmito zmenami je aj zvýšenie farebného kvocientu  $Q_6^4$  v druhom monitorovacom cykle a na kambizemiach aj v treťom monitorovacom cykle (2007).

Chemická štruktúra humínových kyselín, podobne ako ostatné kvalitatívne parametre POH je úzko spätá s pôdnym typom. V priebehu monitorovacieho obdobia mali zmeny v štruktúre HK pomerne malý kolísavý charakter, ale v posledných odberoch sú badateľné určité trendy, ktoré indikujú zlabilnenie štruktúry HK na černozemi na ornej pôde a kambizemiach na TTP.

## Literatúra

- Barančíková, G., 2007: Kategorizacja gleb uzytkowanych rolniczo na podstawie zawartosci i jakosci materii organicznej. In: Rola materii organicznej w srodowisku. Gonet, S.S., Markiewicz, M. (eds.). Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2007, Torun, str. 47-60, ISBN 83-919331-6-4.
- 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.: Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Bratislava, str. 55 – 79, ISBN 978-80-89128-54-9
- Bedrna, Z., 1966: Obsah humusu v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Poľnohospodárstvo, vol. 12, č. 10, str. 763-769
- Bielek, P., Šurina, B., Ilavská, B., Vilček, J., 1998: Naše pôdy. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava, 80 pp.
- Cambell, C.A., Souster, W., 1982: Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. Can. J. Soil Sci., vol. 62, str. 651-656.
- Franzluebbers, A.J., 2002: Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil. Till. Res., vol. 66, str. 95-106
- Guo L. B., Gifford R. M., 2002: Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis." Global Change Biology, 8, str. 345-360.
- González-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, str. 20-24.
- 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, str. 81-84.
- Jurčová, O., 1996: Treba skončiť s koristníckym vzťahom k živiteľke. Rolnícke noviny, BESEDA, (6.11.1996), str. 1-6.

- Jurčová, O., 2000: Ako sme zahumusovávali naše orné pôdy. *Roľnícke Noviny* (7.12.2000)
- Kobza, J., Barančíková, G., Brečková, V., Búrik, V., Houšková, B., Fiala, K., Chomaničová, A., Litavec, T., Makovníková, J., Matúšková, L., Pechová, B., Váradiová, D., 1999: Čiastkový monitorovací systém –Pôda: Záväzné metódy. Bratislava, str. 95-110
- Kumada, K., 1987.: Chemistry of soil organic matter. Tokyo, Elsevier, str. 17-30.
- Leifeld, J., Kogel-Knabner, I., 2005: Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? *Geoderma*, vol. 124, str. 143-155.
- 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, str. 80-90.
- 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  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Aust. J. Soil Res.*, vol. 38, str. 769-787
- Reeves, D.E. 1997. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Res.*, vol. 43, , str. 131-167.
- Rosell, R.A., Andriulo, A.E., Schnitzer, M., Crespo, M.B., Miglierina, A.M., 1989c acids properties of an Argiudoll soil under two tillage systems. *Sci. Tot. Envir.* Vol. 81/82, str. 391-400.
- Saby, N.A., Bellamy, P.H., Morvan, X., Arrouays, D., Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Kibblewhite, M.G., Verdoodt, A., Bereny Uveges, J., Fredenschus, A., Simota, C., 2008: European soil-monitoring networks be able to detect changes in topsoil organic carbon content? *Global Change Biology*, vol. 14, str. 2432-2442
- Sotáková, S., 1982: Organická hmota a úrodnosť pôdy. Bratislava, *Príroda*, 234 str.
- STU ISO 10694, 2001. Stanovenie organického a celkového uhlíka po suchom spaľovaní. SÚTN, Bratislava, pp.12.

## 6.7 Súčasný stav a vývoj kompaktie pôd

### 6.7.1 Využitie tradičných metód pri zisťovaní fyzikálneho stavu pôd

Kompakcia pôdy patrí medzi hlavné ohrozenia pôdy (Eckelmann a kol. 2006). V praxi je však často podceňovaný jej dosah na pôdu pre jej povahu. Je to totiž prevažne skrytý (veľa prejazdov je zahladených, prekrytých pripojeným náradím) a postupný (kumulatívny vplyv všetkých prejazdov) proces. V závislosti od miery záťaže a poveternostných príp. pôdnych podmienok v čase pracovných úkonov dosahuje pôda určitý rovnovážny stav (od posledného kyprenia asi za 7- 10 rokov), ktorý sa s ďalšími prejazdami nemení pri zachovaní daných podmienok (Lhotský, 2000). Pri používaní dnes tak veľmi potrebnej výkonnej mechanizácie nevyhnutnej pre udržanie konkurencieschopnosti podnikov v trhovej ekonomike, no i patrične ťažkej, je bez určitých preventívnych opatrení (Kobza a kol. 2005) náročné dosiahnuť fyzikálny stav pôdy pod limitmi zhutnenia. Podceňovaním dosahu kompaktie si môže poľnohospodár vážne narušiť rentabilitu pestovania plodín, a navyše vystavuje svoju pôdu nebezpečenstvu jej totálnej degradácie eróziou, ktorej riziko sa zvyšuje so stupňom utlačenia v dôsledku zníženej retenčnej schopnosti pôdy a následnému povrchovému odtoku. Táto časť správy je zameraná na hodnotenie fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností vybraných pôd Slovenska vzhľadom na limity zhutnenia, ktoré sa pre jednotlivé pôdne druhy líšia vo svojich hodnotách.

#### *Materiál a metódy*

V prvej časti správy sú hodnotené výsledky štvrtého odberového cyklu monitoringu fyzikálnych vlastností pôd Slovenska v rámci tzv. *základnej siete* (odoberané len na orných pôdach), týkajúce sa týchto pôdnych typov – *kambizeme na flyši (KM1)*, *kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (KM2)* a *kambizeme na karbonátových substrátoch (KM3)*. Odbery vzoriek v rámci štvrtého cyklu boli uskutočnené v roku 2007. Prvý cyklus odberu sa realizoval v roku 1993, druhý v roku 1997, tretí v roku 2002. Výsledky posledného cyklu sú vyhodnotené štatisticky a porovnané s hodnotami príslušných parametrov zistených v predchádzajúcich odberoch. V rámci uvedených štyroch odberových cyklov bol vyhodnotený trend vývoja sledovaných fyzikálnych parametrov daných pôdnych typov.

V druhej časti správy sú hodnotené fyzikálne vlastnosti z každoročne odoberaných *klúčových lokalít*. V rámci vyššie uvedených pôdnych typov pripadajú do úvahy tieto lokality:

- Raková* - Kambizem kultizemná (KMm<sup>a</sup>), stredne ťažká, hlinitá
- Istebné* - Kambizem pseudoglejová kultizemná (KMga), stredne ťažká, hlinitá
- Krompachy* - Kambizem kultizemná (KMm<sup>a</sup>), stredne ťažká, hlinitá

Sledované fyzikálne parametre z odberov z tzv. *základnej siete* i *klúčových lokalít* sú zamerané na hodnotenie základných fyzikálnych vlastností pôdy, ktoré sa stanovujú z Kopeckého valčekov o objeme 100 cm<sup>3</sup>. Vzorky sa odoberajú len v rámci orných pôd a to z ornice (0- 0,10 m) a podornice (0,30-0,40 m).

Pri vyhodnocovaní výsledkov bola použitá metóda popisnej štatistiky a grafické znázornenie. Vyhodnotenie fyzikálnych vlastností sledovaných pôd zo *základnej siete* a z *klúčových lokalít* bolo urobené vo vzťahu k limitom zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy (klasifikačná stupnica zemín podľa Nováka) v zmysle zákona 220/2004 Z. z. ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (tab.1).



Tab.1 Limity zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy v zmysle zákona 220/2004 Z.z.

Pôdna vlastnosť	Pôdny druh <sup>1</sup>					
	IL	IV, IH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnosť $p_d$ (g.cm <sup>-3</sup> )	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
Pórovitosť $P_c$ (obj. %)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimálna vzdušná kapacita $VzK$ (obj. %)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Maximálna kapilárna kapacita $MKK$ (obj. %)	>35	>35	>35	-	-	-
Retenčná vodná kapacita $RVK$ (obj. %)	>35	>35	>35	-	-	-

<sup>1</sup> **Pôdny druh:** IL – íl, IV – ílovitá, IH – ílovito-hlinitá, H – hlinitá, PH – piesčito-hlinitá, HP – hlinito-piesčitá, P – piesčitá

## Výsledky a diskusia

### 6.7.1.1 Vyhodnotenie súčasného stavu z posledného štvrtého odberového cyklu

Sledované pôdne typy sú zastúpené stredne ťažkými hlinitými a ťažkými, ílovito-hlinitými pôdami. Pretože kritické hranice zhutnenia sú závislé od pôdneho druhu, bolo vyhodnotenie urobené podľa tohto členenia.

#### Stredne ťažké pôdne druhy v rámci daných pôdných typov

##### Hlinité pôdy

V danej zrnitostnej kategórii majú zastúpenie všetky sledované pôdne typy (tab.2), pričom najviac lokalít je hodnotených v rámci kambizemí na flyši a na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach, preto tieto výsledky sú najreprezentatívnejšie. Naopak tretia skupina je trvalo málopočetná, keďže tieto pôdy ako menej úrodné a skeletnaté, sú často zatrávňované a nevyužívajú sa ako orné pôdy, prípadne sú tu problémy s odberom neporušených pôdných vzoriek.

Tab.2 Štvrtý odberový cyklus (rok 2007) – stredne ťažká, hlinitá pôda.

Pôdny typ	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	$p_d$	$P_c$	$P_N$	MKK	VzK
			g.cm <sup>-3</sup>	objemové %			
KM na flyši (KM1) hlinité	0-0,10 m	x	1,28	51,6	14,8	33,4	18,3
		$x_{min}$	1,14	46,3	9,0	27,1	10,0
		$x_{max}$	1,42	57,0	22,6	37,2	27,3
	0,30-0,40 m	x	1,56	41,9	8,5	31,7	10,1
		$x_{min}$	1,37	38,1	4,4	23,4	6,5
		$x_{max}$	1,64	49,2	14,4	36,3	15,9
KM na kyslých substr. a pestrých bridliciach (KM2) hlinité	0-0,10 m	x	1,32	50,0	11,1	35,0	15,0
		$x_{min}$	1,16	35,8	6,7	28,4	7,4
		$x_{max}$	1,70	55,7	18,3	43,1	21,4
	0,30-0,40 m	x	1,60	40,7	4,9	34,0	6,8
		$x_{min}$	1,47	37,6	2,6	30,8	4,2
		$x_{max}$	1,67	45,4	7,1	39,9	11,1
KM na karbonátových substrátoch (KM3) hlinité	0-0,10 m	x	1,50	43,8	8,8	33,4	10,4
		$x_{min}$	-	-	-	-	-
		$x_{max}$	-	-	-	-	-

**Vysvetlivky:** KM1 – kambizem na flyši, KM2 – kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach, KM3 – kambizeme na karbonátových substrátoch,  $p_d$  – objemová hmotnosť, MKK – maximálna kapilárna kapacita, P – pórovitosť nekapilárna (<sub>N</sub>), celková (<sub>C</sub>), VzK – minimálna vzdušná kapacita, x – arit. priemer,  $x_{min}$  (<sub>max</sub>) – minimum (maximum)

Výsledky z nich môžu slúžiť len ako príklad stavu fyzikálnych vlastností na týchto pôdach.

Ornice predmetných hlinitých pôdných typov sú na základe priemerov sledovaných parametrov v poslednom odberovom cykle v dobrom fyzikálnom stave s výnimkou kambizemí na karbonátových substrátoch, ktoré sú v kritickom intervale hodnotami objemovej hmotnosti a celkovej pórovitosti a s výnimkou krajných hodnôt (maximá pri objemovej hmotnosti a MKK, minimá pri  $P_c$  a VzK) pri kambizemiach na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach. Pri podorniciach je situácia horšia (pri KM na karbonátových substrátoch chýbajú údaje pre ich vyššiu skeletnosť v hlbších vrstvách pôdy). Tie sú zhutnené už podľa priemerných hodnôt sledovaných parametrov.

## Ťažké pôdne druhy v rámci daných pôdných typov

### Ílovito-hlinité pôdy

V rámci ílovito-hlinitých pôd sú hodnotené všetky predmetné kambizeme, no tieto skupiny pôd sú všetky málopočetné (tab.3). Ornice majú v dobrom fyzikálnom stave podľa priemerných hodnôt objemovej hmotnosti i celkovej pórovitosti. Hodnoty za kritickou hranicou boli zaznamenané pri MKK,  $P_N$  a VzK, čo ale je nedostatkom ílovitých pôd vôbec bez ohľadu na pôdny typ a tiež pri kambizemiach na flyši (krajné hodnoty). Podornice sú oproti orniciam už strednými hodnotami v kritickom intervale s výnimkou kambizemí na karbonátových substrátoch.

**Tab.3** Štvrtý odberový cyklus (rok 2007) – ťažká, ílovito-hlinitá pôda.

Pôdny typ	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	$\rho_a$	$P_c$	$P_N$	MKK	VzK
			$g \cdot cm^{-3}$				
KM na flyši (KM1) ílovité	0-0,10 m	x	1,41	47,2	6,6	40,2	8,0
		$x_{min}$	1,32	44,6	5,1	35,3	6,8
		$x_{max}$	1,49	49,8	8,1	45,1	9,3
	0,30-0,40 m	x	1,44	46,7	4,5	41,2	5,6
		$x_{min}$	1,21	37,9	3,2	34,0	3,9
		$x_{max}$	1,68	55,6	5,9	48,3	7,3
KM na kyslých substr. a pestrých bridliciach (KM2) ílovité	0-0,10 m	x	1,26	52,2	10,0	39,6	12,6
		$x_{min}$	1,13	47,0	7,4	38,2	8,8
		$x_{max}$	1,39	57,4	12,6	41,0	16,4
	0,30-0,40 m	x	1,52	43,7	9,1	32,4	11,2
		$x_{min}$	1,52	43,2	8,1	30,9	10,1
		$x_{max}$	1,52	44,1	10,0	34,0	12,4
KM na karbonátových substrátoch (KM3) ílovité	0-0,10 m	x	0,90	66,4	24,3	34,7	31,8
		$x_{min}$	-	-	-	-	-
		$x_{max}$	-	-	-	-	-
	0,30-0,40 m	x	1,35	50,2	8,7	39,5	10,8
		$x_{min}$	-	-	-	-	-
		$x_{max}$	-	-	-	-	-

Vysvetlivky ako v tab. 2

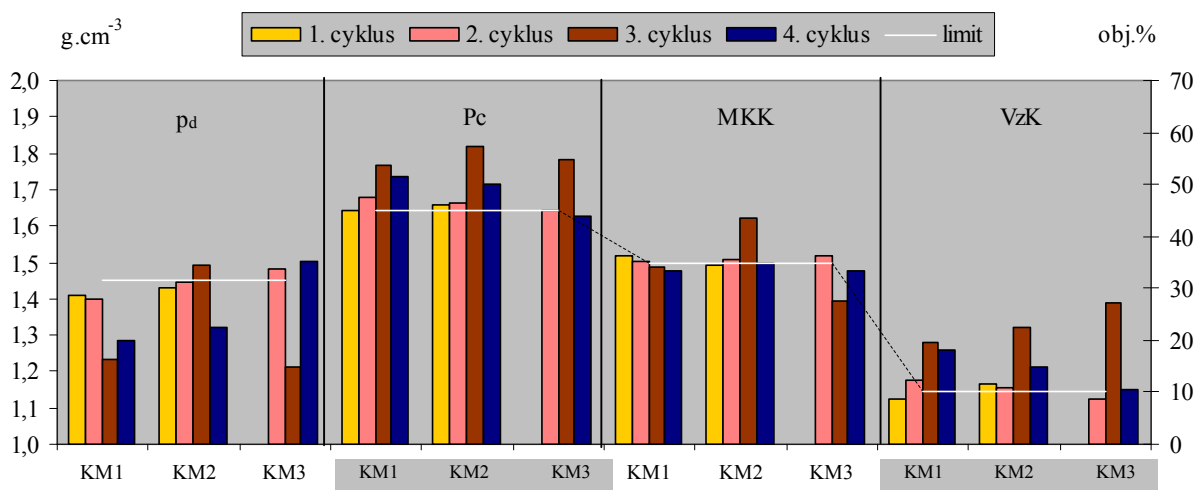
### 6.7.1.1 Vyhodnotenie vývojového trendu sledovaných pôdných typov v základnej sieti za všetky štyri odberové cykly (1993, 1997, 2002, 2007)

Ak porovnáme aktuálny fyzikálny stav predmetných pôd z ich stavom v predchádzajúcich odberových cykloch (obr. 1 až 4), môžeme pozorovať určitý trend. Na daných grafoch možno pozorovať, že najmenšími výkyvmi medzi cyklami sa vyznačujú stredne ťažké hlinité kambizeme (mimo karbonátových substrátov), v rámci ktorých je hodnotený väčší počet lokalít.

#### Hlinité pôdy

Sú to naše najrozšírenejšie pôdy a s najoptimálnejšou textúrou, pričom sa môžu v závislosti od iných pôdných vlastností (obsah skeletu, organickej hmoty) od seba značne líšiť. Kambizeme sa vyznačujú stredným obsahom menej kvalitnej organickej hmoty a obyčajne vyššou skeletnosťou stúpajúcou v smere do hĺbky. V rámci pravidelne kyprenej ornice (obr.1) je fyzikálny stav sledovaných pôd pomerne priaznivý s výnimkou kambizemí na karbonátových substrátoch v 2. a 4. cykle odberu. Oproti predchádzajúcim cyklom došlo vo väčšine prípadov k jeho zlepšeniu (mimo zmienovaných KM na karbonátových substrátoch). V podornici je situácia horšia, keď už priemerné hodnoty sledovaných parametrov pôdy vo väčšine prípadoch boli prekročené alebo sa aspoň priblížili k limitom zhutnenia v závislosti od typu parametra (obr.2). Kým podľa objemovej hmotnosti je zhutnenie pri všetkých sledovaných pôdných typoch jednoznačné, pri ostatných doplňujúcich parametroch tomu tak nie je (s výnimkou KM na karbonátových substrátoch, KM na flyši v 1.cyklu, príp. KM na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach - 2. a 4. cyklus). Trend vývoja fyzikálneho stavu podornice je negatívny, teda došlo k jeho zhoršeniu oproti predchádzajúcim cyklom. Celkovo v celom pôdnom profile aj období monitorovania najpriaznivejšie hodnoty boli zaznamenané pri KM na flyši a najhoršie pri KM na karbonátových substrátoch.

**Obr. 1** Základné fyzikálne vlastnosti ornice (0-0,10 m) hlinitých pôdných druhov v rámci daných pôdných typov v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



#### Vysvetlivky:

KM1 – kambizeme na flyši

KM2 – kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach

KM3 – kambizeme na karbonátových substrátoch

limit – kritická hodnota zhutnenia

1., 2., 3., 4. cyklus – odberové cykly v základnej sieti v rokoch 1993, 1997, 2002, 2007

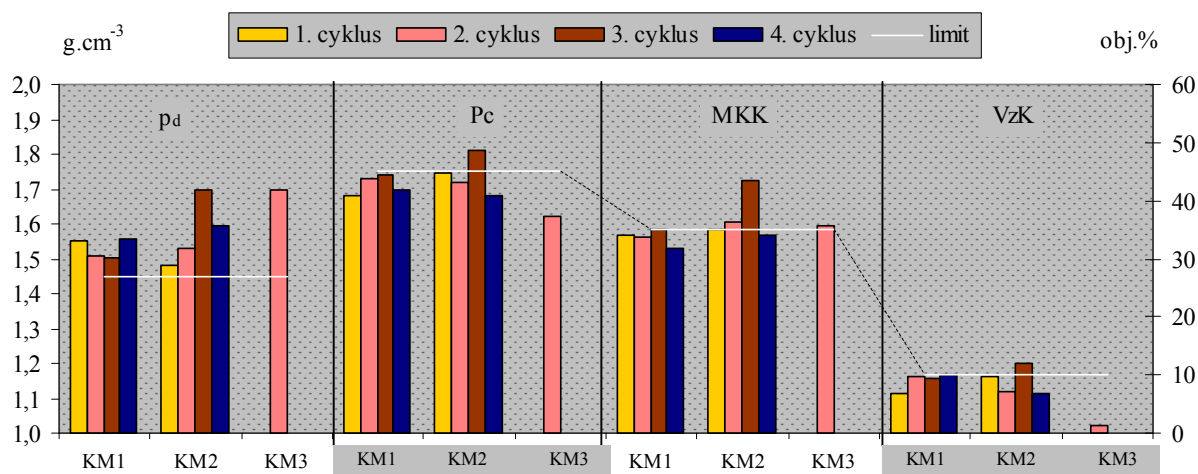
p<sub>d</sub> – objemová hmotnosť (g.cm<sup>-3</sup>)

P<sub>c</sub> – celková pórovitosť (%)

M<sub>KK</sub> – maxim. kapilárna kapacita (%)

V<sub>zK</sub> – minimálna vzdušná kapacita (%)

**Obr. 2** Základné fyzikálne vlastnosti podornice (0,30-0,40 m) hlinitých pôdnych druhov v rámci daných pôdnych typov v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja

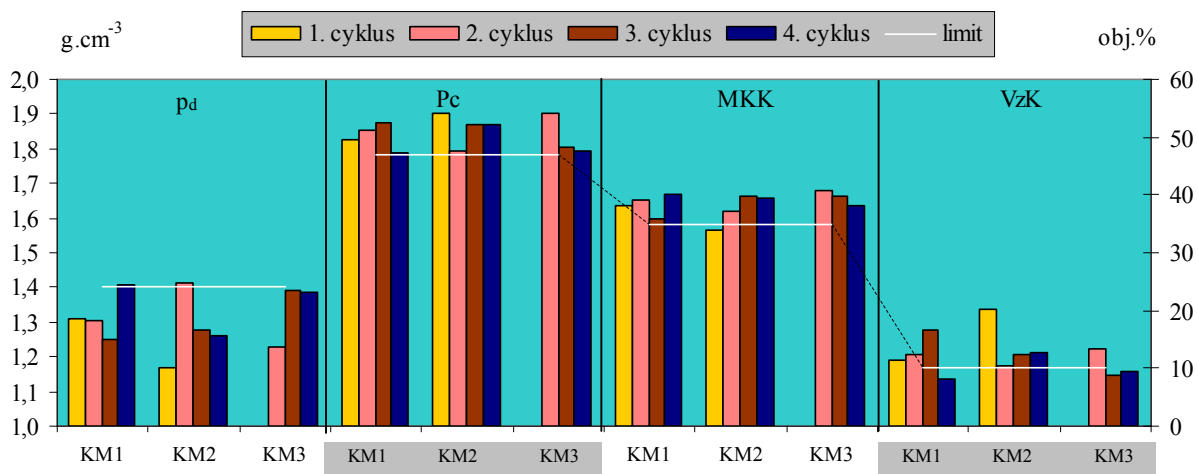


Vysvetlivky ako pri obr. 1

### Ílovito-hlinité pôdy

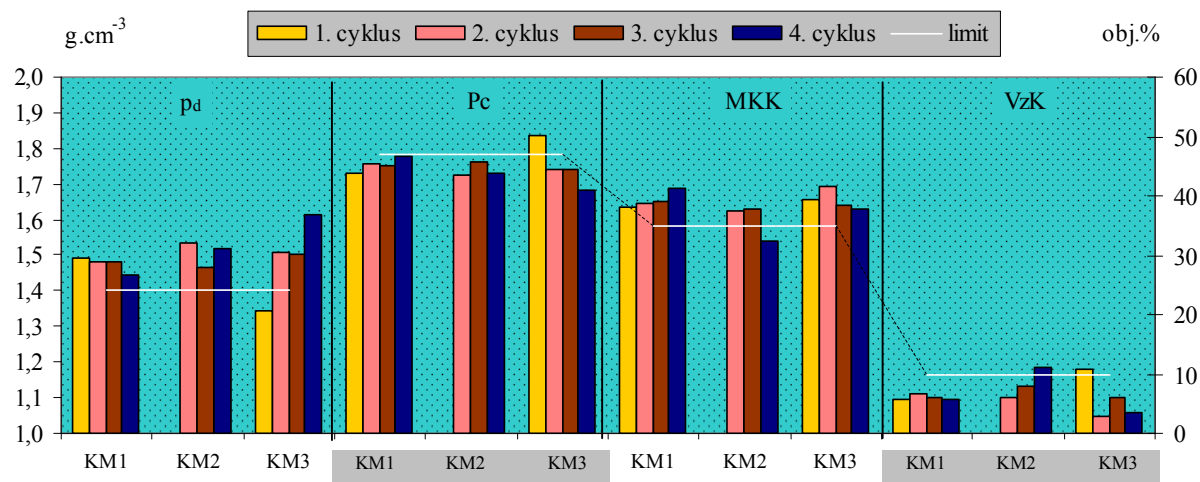
Patria síce medzi naše druhé plošne najrozšírenejšie pôdy, no predmetné pôdne typy s touto textúrou sú zastúpené malým počtom lokalít, a teda aj výsledky možno považovať za málo reprezentatívne, čo sa nakoniec prejavilo aj na značne rozkolísaných hodnotách sledovaných pôdnych charakteristík, a môžu slúžiť len ako príklad stavu fyzikálnych vlastností na týchto pôdach. Z hľadiska celého pôdneho profilu ornice vykazujú lepší fyzikálny stav (obr.3). Zhutnené boli 3 prípadoch (KM na flyši v 4. cykle, KM na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach v 2. cykle), kým v podornici (obr.4) vo všetkých prípadoch mimo KM na karbonátových substrátoch v 1. cykle. Bolo zaznamenané zlepšenie fyzikálneho stavu v 4. cykle oproti poslednému pri KM na kyslých a karbonátových substrátoch, kým v podornici bolo tomu presne naopak. V porovnaní z hlinitými pôdami ílovité obsahujú viac kapilárnych pórov, čo sa prejavilo na vyššej maximálnej kapilárnej kapacite a nižšej minimálnej vzdušnej kapacite.

**Obr. 3** Základné fyzikálne vlastnosti ornice (0-0,10 m) ílovito-hlinitých pôdnych druhov v rámci daných pôdnych typov v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



Vysvetlivky ako v obr. 1

**Obr. 4** Základné fyzikálne vlastnosti podornice (0,30-0,40 m) ílovito-hlinitých pôdnych druhov v rámci daných pôdnych typov v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



Vysvetlivky ako v obr. 1

### 6.7.1.3 Vyhodnotenie fyzikálnych vlastností podornice v rámci kľúčových lokalít.

V tejto časti správy je detailnejšie zhodnotený fyzikálny stav kambizemí na flyši (zastúpené lokalitami Raková a Istebné) a kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (zastúpené lokalitou Kropachy), ktoré sú zástupcami v rámci sledovaných pôdnych typov z 1. časti. Dôraz pri vyhodnocovaní je kladený na podornicu, ktorá je viac náchylná na zhutnenie, keďže je mimo bežných agrotechnických kypriacich opatrení. Každoročné odbery na týchto lokalitách umožňujú získanie údajov ovplyvnených pestovateľskými technológiami viacerých poľnohospodárskych plodín na tej istej pôde počas viacerých rokov, na rozdiel od údajov zo základnej siete, ktoré sú získané síce v rámci jedného roka, no z viacerých lokalít s rôznymi pestovateľskými technológiami.

V prípade kompaktie pôdy treba brať do úvahy pôsobenie viacerých pôdnych charakteristík ako sú zrnitosť, obsah organickej hmoty (Hlušičková, Lhotský 1994, Houšková 2002, Širáň 2004, 2005, Heuscher, Brandt, Jardine 2005), príp. obsah karbonátov.

Predmetné kambizeme sú pôdy stredne ťažké, hlinité, so nízkym až stredným (lokalita Istebné - orná pôda), prípadne stredným až vysokým (lokality Raková a Kropachy - TTP) obsahom humusu nízkej kvality v ornici a nízkym až veľmi nízkym obsahom v podornici (Barančíková, 2002), s pH v oblasti kyslej (Raková), slabo kyslej (Kropachy) až neutrálnej (Istebné - Makovníková 2002). Na lokalitách Raková a Kropachy sú trvalé trávne porasty TTP, pričom tieto sú v Rakovej spásané a lokalita Istebné je na ornej pôde, v posledných 4 rokoch sa tu pestujú d'atelino-trávne miešanky.

Čo sa týka aktuálnych údajov fyzikálnych vlastností pôdy za posledný rok 2009 (tab.4) možno konštatovať, že podornica lokalít pod TTP (Raková a Kropachy) je podľa priemerov v dobrom fyzikálnom stave vo všetkých ukazovateľoch (mimo MKK v Kropachoch). Horšie je to na lokalite Istebné, kde hodnoty objemovej hmotnosti a celkovej pórovitosti mierne prekračujú hranice zhutnenia (tab.4). Krajnými hodnotami (maximá, príp. minimá) však presahujú limity všetky tieto lokality.

V prípade priemerov z celého sledovaného obdobia (hodnotených 11 rokov v rámci obdobia 1995-2009; tab.5) sú podľa objemovej hmotnosti zhutnené podornice na všetkých troch lokalitách, nie je tomu však aj podľa celkovej pórovitosti. Z doplnkových parametrov sú nad limitné hodnoty MKK a VzK na lokalitách Raková a Istebné. Treba však počítať s tým,

že pri výpočte priemerných údajov dochádza k určitým skresleniam. Podľa hodnôt objemovej hmotnosti pôdy (obr.5) ako aj celkovej pórovitosti (obr.6) a minimálnej vzdušnej kapacity podornice bola kompakcia zaregistrovaná v Rakovej v 50 % prípadov (VzK až 83 %), v Krompachoch v 52 % a najviac v Istebnom v 82 %. Podrobnejšie štúdie (Lhotský a kol. 1984) pripúšťajú pri VzK i nižší limit 8 % pre krmoviny, v tom prípade by sa toto hodnotenie podstatne zlepšilo. Vyšší podiel prekročení limitov v ornici môže byť skreslené, keďže z nej bolo k dispozícii menší počet údajov (údaje z prvých dvoch rokov chýbajú).

Možno konštatovať, že hodnotenia hlinitých kambizemí v rámci kľúčových lokalít v podstate potvrdzujú výsledky hlinitých kambizemí z prvej časti správy, kde boli vyhodnotené síce len v hlavných odberových cykloch (každých 5 rokov), no zato na viacerých lokalitách, pričom sú tu zohľadnené rôzne plodiny, klíma, príp. heterogenita pôdných vlastností na území SR.

**Tab.4** Štatistické ukazovatele základných fyzikálnych vlastností na jednotlivých kľúčových lokalitách – aktuálny stav za rok 2009

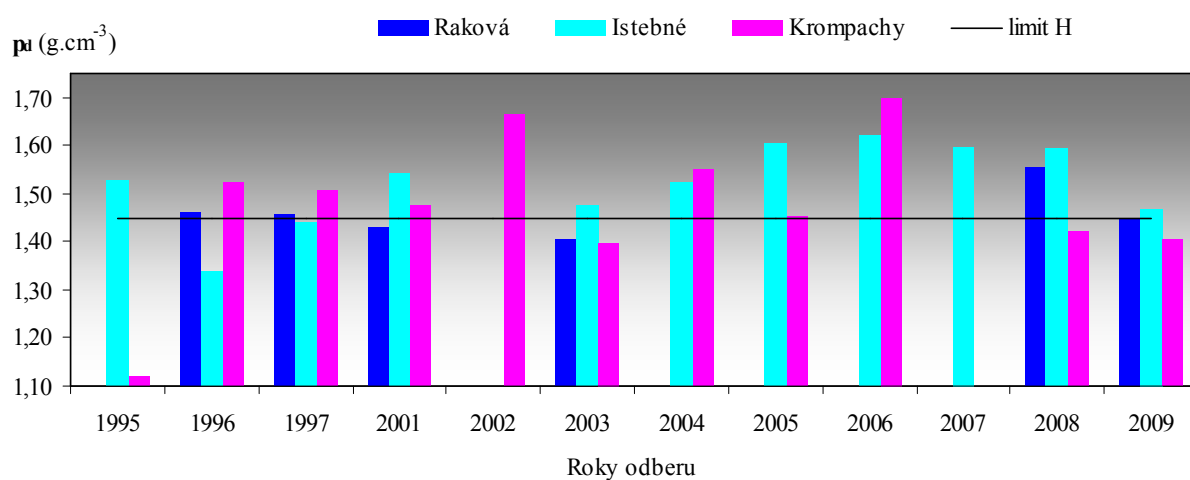
Pôdny typ (subtyp)	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	$P_d$	$P_C$	MKK	VzK
			$g \cdot cm^{-3}$	objemové %		
<i>Raková</i> KMm <sup>a</sup> hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,45	45,5	34,1	11,4
		$x_{min}$	1,39	43,3	31,5	6,9
		$x_{max}$	1,51	47,6	36,4	14,1
		$v_x$ %	3,95	4,7	7,2	34,5
<i>Istebné</i> KMga hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,47	44,4	33,8	10,6
		$x_{min}$	1,29	39,8	31,2	6,2
		$x_{max}$	1,59	51,3	36,4	17,3
		$v_x$ %	8,20	10,3	5,5	38,5
<i>Krompachy</i> KMm <sup>a</sup> hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,40	47,2	37,2	10,1
		$x_{min}$	1,28	43,7	35,7	6,8
		$x_{max}$	1,50	52,0	38,9	13,1
		$v_x$ %	8,13	9,1	4,3	31,4

Vysvetlivky ako v tab. 2

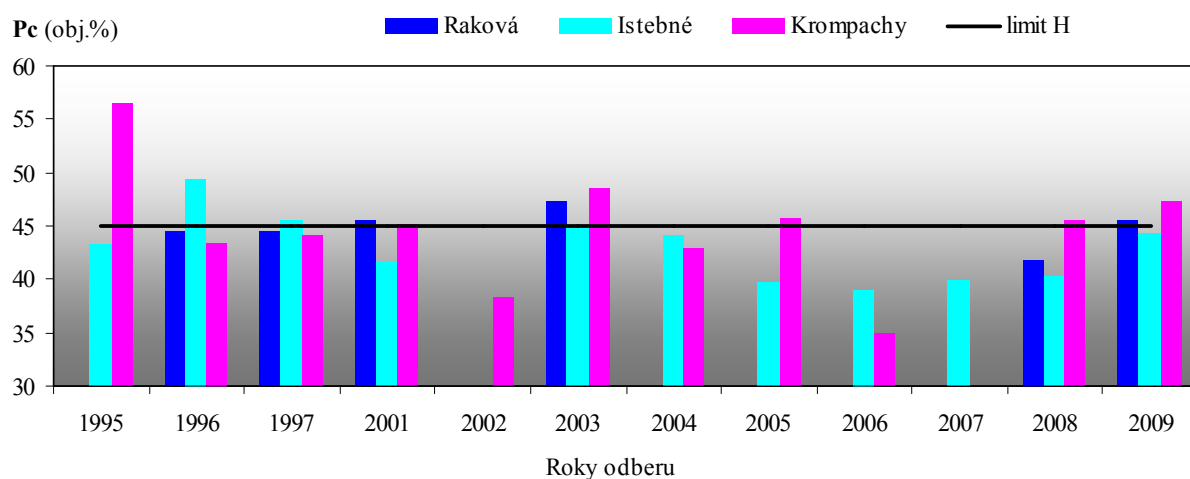
**Tab.5** Štatistické ukazovatele základných fyzikálnych vlastností na jednotlivých kľúčových lokalitách v sledovanom období (1995-2009)

Pôdny typ (subtyp)	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	$P_d$	$P_C$	MKK	VzK
			$g \cdot cm^{-3}$	objemové %		
<i>Raková</i> KMm <sup>a</sup> hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,46	44,8	37,1	7,7
		$x_{min}$	1,40	41,8	34,1	5,6
		$x_{max}$	1,55	47,2	38,8	11,4
		$v_x$ %	3,48	4,0	5,8	28,3
<i>Istebné</i> KMga hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,52	42,9	36,2	6,6
		$x_{min}$	1,34	39,0	33,0	3,7
		$x_{max}$	1,62	49,4	39,2	11,0
		$v_x$ %	5,61	7,4	6,5	35,2
<i>Krompachy</i> KMm <sup>a</sup> hlinitá	0,30-0,40 m	x	1,47	44,8	34,7	10,8
		$x_{min}$	1,12	35,0	27,0	5,2
		$x_{max}$	1,70	56,5	41,7	20,7
		$v_x$ %	10,42	12,3	12,8	40,5

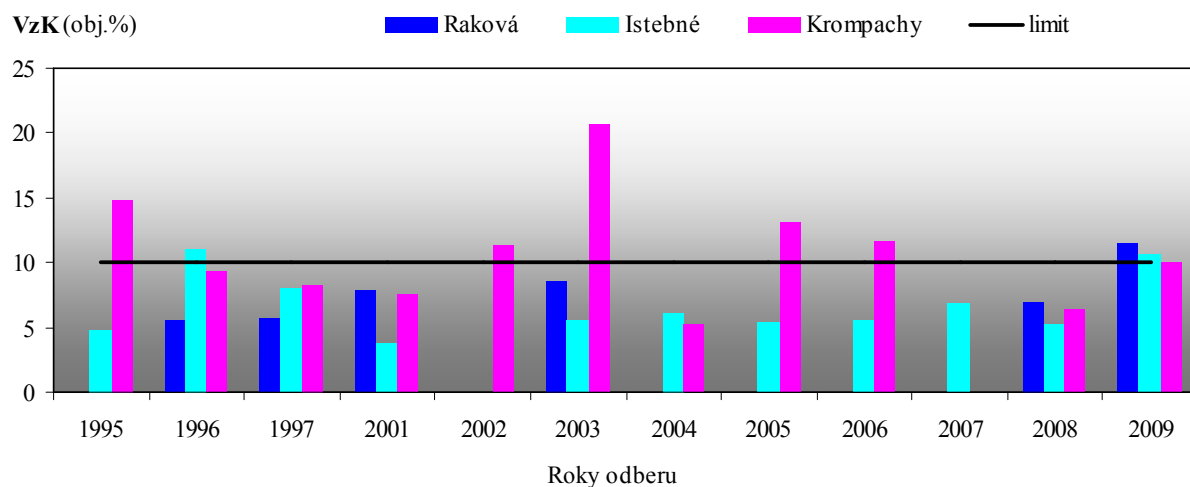
**Obr. 5** Objemová hmotnost' (pd) podornice hlinitých kambizemí



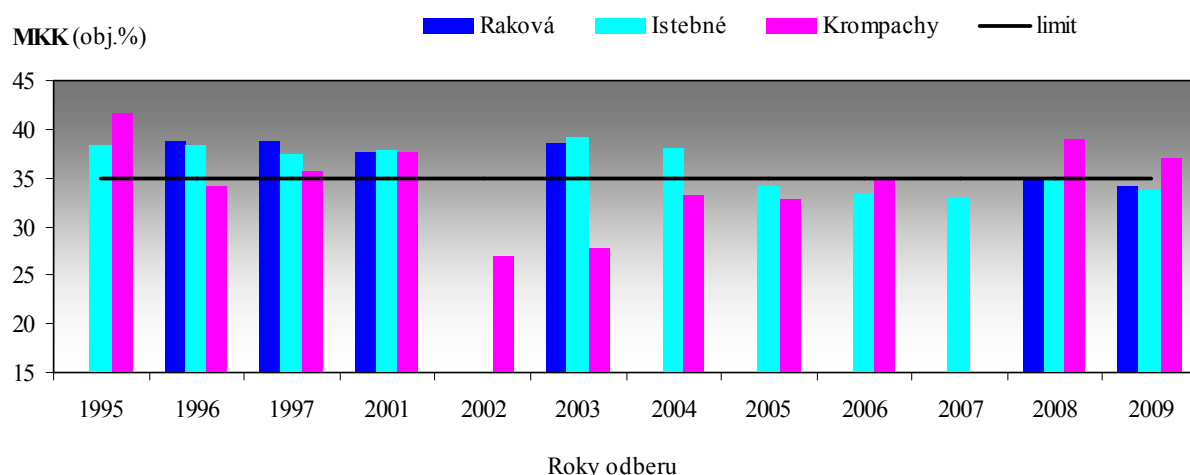
**Obr. 6** Celková pórovitosť (Pc) podornice hlinitých kambizemí



**Obr. 7** Vzdušná kapacita (VzK) podornice hlinitých kambizemí



**Obr. 8** Maximálna kapilárna kapacita (MKK) podornice hlinitých kambizemí



### Hodnotenie kompaktie pôd a jej vývoja v období rokov 2006-2009

Ak zhrnieme výsledky a ich hodnotenia za obdobie rokov 2006-2009 fyzikálny stav sledovaných pôd bol najviac ovplyvnený zrnitosným zložením pôdy (pôdnym druhom) a zhoršoval sa v smere od zrnitostne ľahších ku ťažším pôdam. Kým pri hlinito-piesčitých pôdných druhoch sú hodnoty väčšiny meraných parametrov pod limitom, podornice piesčito-hlinitých ho už dosahujú krajnými hodnotami, rovnako ako ornice hlinitých až ílovitých pôdných druhov. Podornice hlinitých až ílovitých pôd sú zhutnené aj podľa priemerov s výnimkou hlinitých černoziemí a fluvizemí na karbonátových substrátoch.

Vplyv pôdných typov je účelné vyhodnotiť v rámci jednotlivých pôdných druhov a zároveň za všetky tri odberové cykly (1993, 1997, 2002). Podľa stanovených pôdných vlastností (v smere najlepšie až najhoršie fyzikálny stav) pre ornice stredne ťažkých pôd sledované pôdne typy možno zoradiť v poradí černoze-fluvizeme-čiernice-kambizeme-hnedozeme-pseudogleje, kým málo pozmenené poradie bolo v rámci podornice (čiernice-černoze-fluvizeme-hnedozeme-kambizeme-pseudogleje). Pri orniciach ťažkých pôd sa tento sled síce výraznejšie pozmenil (kambizeme-čiernice, fluvizeme, pseudogleje - černoze- hnedozeme), no rozdiely medzi pôdnymi typmi boli nepatrné. V rámci podornice bol už stav podobný ako pri stredne ťažkých pôdach (černoze, fluvizeme-čiernice-kambizeme-hnedozeme-pseudogleje). Z daných zoradení je zjavné, že priaznivejším fyzikálnym stavom pôdy oplývajú pôdne typy s vyšším obsahom pôdnej organickej hmoty, príp. karbonátov. Celkovo však z hľadiska kompaktie pozorujeme najmä pri HM a ojedinele i pri ČM a ČA vzhľadom na priaznivú textúru čiastočne zhoršený fyzikálny stav najmä v ornici, čo je pravdepodobne v dôsledku intenzívneho využívania týchto pôd v závislosti od pestovanej plodiny.

Z doterajšieho hodnotenia kompaktie pôd SR je zjavné, že je tu potrebné brať do úvahy pôsobenie viacerých pôdných charakteristík ako sú najmä zrnitosť, ale i obsah organickej hmoty, príp. obsah karbonátov. Dané výsledky potvrdzujú doterajšie poznatky v tejto oblasti výskumu (Hlušičková, Lhotský 1994, Širáň 2004, 2005c, Lhotský 2000) a možno ich tak využívať pri ďalších hodnoteniach a mapovaní kompaktie pôd (Zrubec 1998, Houšková 2002, Makovníková, Pálka, Širáň, 2005a, 2005b, 2007, Heuscher, Brandt, Jardine 2005, Kobza a kol. 2005, Eckelman a kol. 2006).



## Záver

Stav fyzikálnych vlastností sledovaných pôd v poslednom cykle bol priaznivejší pri hlinitých pôdach v porovnaní s ílovito-hlinitými. V rámci stredne ťažkých, hlinitých pôd v najlepšom fyzikálnom stave sú kambizeme na flyši, naopak v najhoršom kambizeme na karbonátových substrátoch.

Čo sa týka ťažkých, ílovito-hlinitých pôd je stav podobný. Najpriaznivejšie hodnoty fyzikálnych vlastností si udržiavajú opäť kambizeme na flyši, v najhoršom kambizeme na karbonátových substrátoch.

V prípade vývoja kompaktie na sledovaných pôdnych typoch došlo prevažne k zlepšeniu fyzikálneho stavu v poslednom odberovom cykle v porovnaní s predchádzajúcim pri kambizemiach na flyši, príp. na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach v celom pôdnom profile i pri oboch pôdnych druhoch, no naopak k zhoršeniu pri kambizemiach na karbonátových substrátoch.

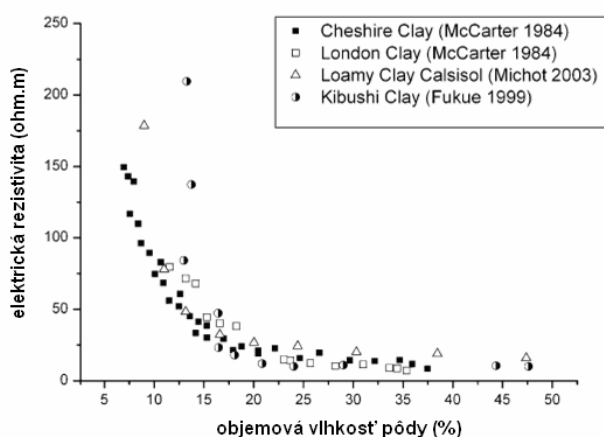
Údaje z kľúčových lokalít poukazujú hlavne na vplyv pestovateľských technológií uplatňovaných pri pestovaní určitých plodín na kompakciu pôdy, keďže základné pôdne parametre sa nemenia a poskytujú informácie aj o stave kompaktie mimo hlavných odberových cyklov. Priaznivejší fyzikálny stav bol zistený na lokalitách pod trvalými trávnyimi porastmi.

Výsledky týkajúce sa stredne ťažkých, hlinitých kambizemí z kľúčových lokalít (každoročný odber z vybraných lokalít) potvrdzujú zistenia o kambizemiach hodnotených v rámci základnej siete.

### 6.7.2 Možnosti využitia nepriamych metód v monitoringu hydrofyzikálnych vlastností pôd

Metóda elektrickej rezistívnej tomografie (ERT) má svoj pôvod v geofyzike. V súčasnosti sa však vyvíja nový aplikovaný vedný odbor hydrogeofyzika, ktorý pôvodne geofyzikálne metódy využíva pre účely environmentálneho prieskumu, vrátane monitoringu pôd, resp. najmä pôdno-hydrologických procesov (napr. BINLEY *et al.* 2002). Túto metódu sme začali rozvíjať v rámci Monitoringu pôd Slovenska v roku 2009. Potenciál týchto metód spočíva v možnosti priestorovo i časovo kontinuálnych meraní bez deštruktívneho vplyvu na pôdu, t. j. bez narušenia pôdnej štruktúry. Nevýhodou týchto meraní je potreba kalibrácie pre konkrétnu lokalitu, buď laboratórnymi geofyzikálnymi meraniami, resp. pomocou konvenčných deštruktívnych pedologických metód (odberom pôdnych vzoriek z pôdnych sond alebo vrtov a ich následnou analýzou). Elektrickú rezistivitu pôdy môžeme považovať za určitú náhradu, zástupcu variability iných fyzikálnych vlastností pôdy (obsah vody, štruktúra, transportné vlastnosti) (obr. 1) (SAMOUËLIAN *et al.* 2005). Vzhľadom k tomu, že rezistivita pôdy závisí od týchto parametrov, môžeme z jej variability nepriamo dedukovať variabilitu spomenutých pôdnych vlastností (preto túto metódu radíme medzi nepriame). Samotný pojem tomografia značí hĺbkové snímanie daného objektu, resp. zobrazovanie rozloženia fyzikálnej veličiny v dvojrozmernom reze skúmaného objektu (v našom prípade pôdy) s využitím počítačovej techniky. Pri ERT je sledovanou veličinou merný elektrický odpor pôdy, resp. jeho recipročná veličina – pôdna elektrická vodivosť. Samotné namerané hodnoty pôdnej rezistivity v rôznych častiach pôdneho profilu nám vytvárajú len zdanlivý, tzv. pseudorez pôdy. Tvorba modelu skutočnej pôdnej rezistivity z týchto údajov prostredníctvom matematického softvéru sa nazýva inverzným problémom (LOKE 2004).

**Obr. 1** Závislosť medzi momentálnou pôdnou vlhkosťou a elektrickou rezistivitou pôdy pre rôzne pôdne typy (in: SAMOUËLIAN *et al.* 2005)



V našom prípade teda riešime dva problémy – problém rekonštrukcie obrazu pôdnej rezistivity a problém zisťovania závislosti zvolenej pôdnej vlastnosti od elektrickej rezistivity pôdy. Prvý problém nám pomáha vyriešiť inverzný softvér RES2DINV, druhý chceme riešiť prostredníctvom štatistických, resp. geoštatistických metód.

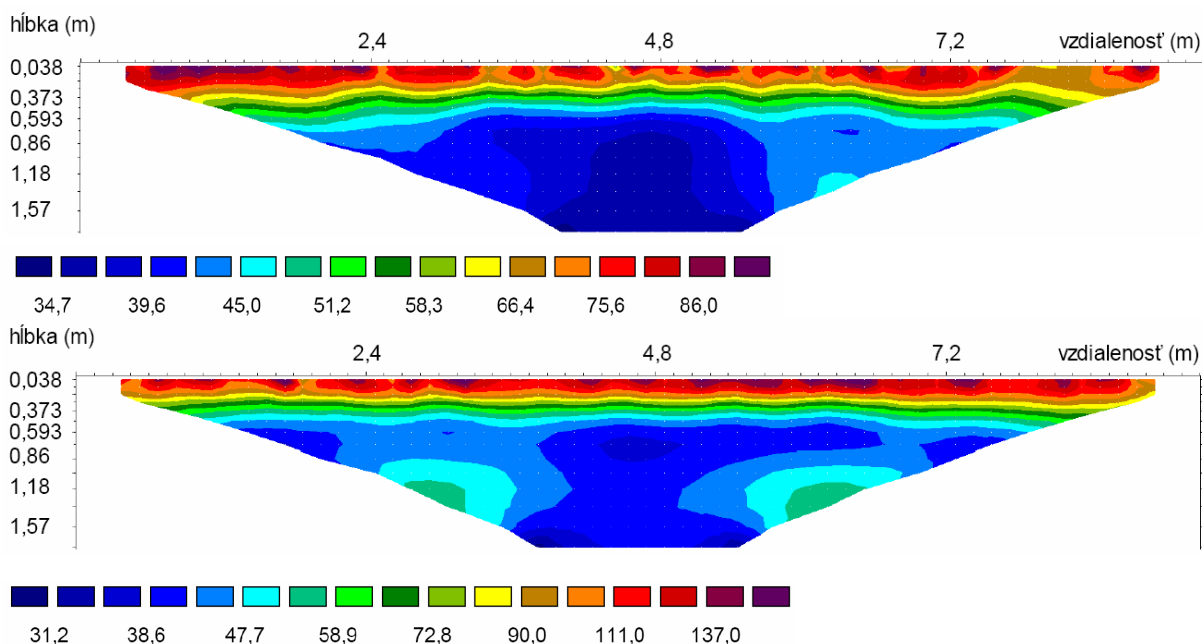
### ***Materiál a metódy***

Merania pôdnej rezistivity sme vykonali na troch lokalitách v rôznych pôdno-klimatických podmienkach v dvoch odberových termínoch, a to na konci júla a na prelome septembra – októbra. Lokality sa nachádzajú v blízkosti monitorovacích plôch Liesek, Zvolenské Nemce pri Banskej Bystrici a Tomášovce pri Lučenci. Hydrofyzikálne vlastnosti pôdy sme zisťovali konvenčnými pedologickými metódami (gravimetricky, resp. prostredníctvom komplexného rozboru fyzikálnych valcov).



V rámci vytýčeného štvorca 10x10 m sme na každej lokalite zmerali v troch rovnobežných líniah pôdnu rezistivitu systémom ARES (GF Instruments, s. r. o., Brno), pričom rozstup elektród bol 30 cm, celková dĺžka merania 9,3 m. Rozstup medzi jednotlivými líniami bol 5 m. V strede prvej línie sme po vykonaní geofyzikálneho merania na každej lokalite vykopali pôdnu sondu do hĺbky 80 cm, pričom sme odobrali fyzikálne valce z každých 10 cm.

Obr. 2: Meranie pôdnej rezistivity na lokalite Nemce



Obr. 3: Ukážka rezistivných rezov pôdy na lokalite Liesek v júli a septembri

### Čiastkové výsledky a diskusia

Charakter priebehu rezistivných rozhraní je nápadne podobný na všetkých troch lokalitách – má výrazne horizontálny priebeh, výnimku tvorí vrchná vrstva pôdnych profilov (prevažne oblasť A-horizontu), ktorá je výrazne nehomogénna aj v horizontálnom smere. Podobnosť profilov z rôznych lokalít vyplýva zrejme z vnútornej podobnosti príslušných pôd – vo všetkých troch prípadoch sa jedná o textúrne diferencované pôdy s hydromorfnými znakmi (pseudoglej luvizemný – Nemce, luvizem pseudoglejová – Tomášovce, pseudoglej modálny – Liesek). Sú to všetko takmer bezskeletnaté pôdy, teda z pohľadu elektrickej vodivosti pomerne homogénne, resp. laterálne diferencie merného elektrického odporu v týchto pôdach sú malé. Vo vertikálnom smere sa s pribúdajúcou hĺbkou menia pásma s postupne sa znižujúcim pôdnym elektrickým odporom, čo je spôsobené zvyšujúcou sa vlhkosťou, resp. nasýtenosťou pôdy vodou, ale tiež narastajúcou objemovou hmotnosťou, zvyšujúcou sa obsahom ílu a znižujúcou sa vzdušnou kapacitou pôdy. Vrchná časť pôdneho profilu je výrazne heterogénna, čo je spôsobené vysokou prekorenenosťou a teda aj prevzdušnosťou tejto vrstvy, prudkým kolísaním teploty a vlhkosti, čo môže následne spôsobiť štruktúrne zmeny pôdy, výskyt puklín a pod., dráhami preferovaného prúdenia, a tiež vyššími hodnotami chyby merania v tejto časti rezu, práve z dôvodu vysokej variability hodnôt pôdnych vlastností.

Najnižšie hodnoty merného elektrického odporu sme podľa očakávania namerali na najsevernejšej lokalite Liesek, kde aj hodnoty vlhkosti pôdy dosahujú najvyššie hodnoty. V júli bolo najsuchšie na lokalite Tomášovce, v septembri sa však hodnoty rezistivity na lokalitách Tomášovce a Nemce takmer vyrovnali, čo zrejme spôsobil vysoký zrážkový deficit na konci leta. Priebeh pôdnej vlhkosti v závislosti od hĺbky pôdy zodpovedá všeobecnému trendu na všetkých lokalitách – v povrchových vrstvách je kolísanie pôdnej vlhkosti aj merného elektrického odporu veľmi výrazné, smerom do hĺbky sa rozdiely medzi odberovými termínmi znižujú (TUŽINSKÝ 2004). V našom prípade je tento jav ešte markantnejší kvôli vlastnostiam vybraných pôd, u ktorých je v nižších častiach profilu znížená hydraulická

vodivosť, čo je typické pre hydromorfné pôdy. Vplyv porastu, resp. intenzity transpirácie z týchto meraní zatiaľ nie sme schopní určiť, vzhľadom na veľké množstvo prelínajúcich sa javov, ktoré ovplyvňujú náš meraný parameter – elektrickú rezistivitu pôdy.

## **Záver**

Hydrofyzikálne vlastnosti pôd sú veľmi premenlivé v čase i priestore. ZLATNÍK (1932) zistil, že variabilita pôdy môže prekryvať medzné hodnoty časovej premeny. Variačný koeficient hodnôt meraných veličín môže dosahovať desiatky % už na ploche niekoľkých ha. Jedným z východísk pri monitoringu týchto vlastností je napr. využitie nepriamych nedeštrukčných metód (PICHLER 2007). Jednu z týchto metód – elektrickú rezistivnú tomografiu – sme použili pre meranie pôdnej vlhkosti a ďalších hydrofyzikálnych vlastností na troch vybraných lokalitách v rôznych pôdno-klimatických podmienkach. Kalibráciu sme vykonali pomocou konvenčných deštrukčných metód. Táto metóda nám za predpokladu správnej interpretácie a v súčinnosti s geoštatistickými nástrojmi môže pomôcť odкрыť širšie priestorové súvislosti skúmaných pôdných vlastností, presnejšie určiť zásoby pôdnej vody či odhadnúť kontamináciu podzemnej vody, čomu sa chceme venovať v nasledujúcom období.

## **Literatúra**

- Barančíková, G., 2002: Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty. In: *Kobza, J. a kol.: Monitoring pôd SR. Výsledky ČMS – pôda za obdobie 1997-2001 (2. cyklus)*, VÚPOP, Bratislava, 2002, s. 54-73
- Binley, A., Winship, P., West, L. J., Pokar, M., Middleton, R., 2002: Seasonal variation of moisture content in unsaturated sandstone inferred from borehole radar and resistivity profiles. *J. Hydrology*, 267 (3-4), 160-172.
- Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carré, F., Houšková, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M., Kozak, J., Le Bas, C., Tóth, G., Tóth, T., Várallyay, G., Halla, M., Y., Zupan, M., 2006: Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. European Soil Bureau Research Report No.20, EUR 22185 EN, 2006, 94 s. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Heuscher, A. S., Brandt, C. C., Jardine, M. P., 2005: Using Soil Physical and Chemical Properties to Estimate Bulk Density Data. *Soil Sci. Soc. of America Journal* 69, 2005, s. 51-56
- Hlušíčková, J., Lhotský, J., 1994: Ochrana půdní struktury před technogenní degradací. *Metodika ÚVTIZ*, Praha, 1994, 40 s.
- Houšková, B., 2002: Vývoj fyzikálních vlastností poľnohospodárskych pôd. In: *Kobza, J. a kol.: Monitoring pôd SR. Výsledky ČMS – pôda za obdobie 1997-2001 (2. cyklus)*, VÚPOP, Bratislava, 2002, s. 131-141
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M., Vojtáš, J., 2005: Návrh regulačných pôdoochranných opatrení z výsledkov Monitoringu pôd SR, VÚPOP Bratislava, 2005, 24 s.
- Lhotský, J., Váchal, J., Ehrlich, P., 1984: Soustava opatření ke zúrodnování zhutnělých zemědělských půd. *Metodika pro praxi, ÚVTIZ*, Praha, 1984, 39 s.
- Lhotský, J., 2000: Zhutňování půd a opatření proti němu. *Studijní zpráva-rostlinná výroba*, č. 7, ÚZPI, Praha, 2000, 63 s.

- Loke, M. H., 2004: Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com), 128 s.
- Makovníková, J., 2002: In: *Kobza, J. a kol.: Monitoring pôd SR. Výsledky ČMS – pôda za obdobie 1997-2001 (2. cyklus)*, VÚPOP, Bratislava, 2002, s. 21-32
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., 2005a: 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: VÚPOP – SPS Bratislava, 2005a. s. 220-225
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., 2005b: Rezistencia vybraných pôdnych typov na modelovom území Banská Bystrica. In: *zborník prednášok*. Bratislava: Pedologická sekcia SSPLPVV SAV, 2005, s. 70-72
- Makovníková, J., Širáň, M., Pálka, B., 2007: Statický model objemovej hmotnosti pôdy a jeho aplikácia v záujmovom území Banská Bystrica. In: *Agrochémia*, roč. 47, 2007, č. 2. s. 18-21
- Pichler, V., 2007: Denzita bukových porastov ako nástroj regulácie hydrických a environmentálnych funkcií pôd. TU Zvolen, 50 s.
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G., 2005: Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil & Tillage Research* 83 (2005) 173-193.
- Širáň, M., 2004: Zhutnenie pôdy a jeho vývoj. Tretie pôdoznalecké dni na Slovensku, 22.-24. jún 2004, poster, Mojmirovce, 2004
- Širáň, M., 2005c: Spatial variability of some physical properties on arable soils of different texture with regard to soil compaction. In: *Proceeding (Vedecké práce)*, no. 27, VÚPOP Bratislava, 2005, s.139-146
- Tužinský, L., 2004: Vodný režim lesných pôd. TU vo Zvolene, 101 s.
- Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene a doplnení niektorých zákonov*, 2004
- Zlatník, A., 1932: Pokus o průzkum periodické proměny lesního a lučního stanoviště. VŠZ Brno, 129 s.
- Zrubec, F., 1998: *Metodika zúrodnenia zhutnených pôd*. Bratislava: VUPOP, 1998. 40 s.

## 6.8 Hodnotenie erózie poľnohospodárskej pôdy

Erózia pôdy sa dlhodobo zaraďuje k významným degradačným rizikám, ktoré negatívne vplývajú predovšetkým na znižovanie kvality pôdy a v konečnom dôsledku znižujú celkový potenciál územia (zhoršujúcim kvalitu života v ňom). V poslednom období je výrazne akcelerovaná neuváženou činnosťou, alebo skôr nečinnosťou človeka. Z pohľadu poľnohospodárstva sa negatívny vplyv erózie na pôdu prejavuje predovšetkým pri degradácii úrodovných vlastností poľnohospodárskych pôd, výsledkom čoho je výrazný pokles ich úrodnosti.

Dlhodobé neriešenie problematiky erózie môže viesť až k ireverzibilným negatívnym zmenám základných pôdných parametrov. Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy je v platnosti už od roku 2004, avšak nedostatok informácií týkajúcich sa intenzity a plošnej distribúcie pôdnej erózie má za následok nedostatočné využívanie vhodných protieróznych opatrení, ktoré znižujú, alebo udržujú intenzitu erózie pôdy v medziach limitných hodnôt (zákon 220/2004 Z.z.).

Monitoring erózie pôdy v rámci záujmových lokalít (sú charakterizované rôznymi pôdnymi predstaviteľmi) z pohľadu jej intenzity a negatívneho vplyvu na zmeny úrodovných pôdných parametrov má význam pre predikciu jej účinku na hlavných pôdných typoch, ako aj pre výber a realizáciu vhodných protieróznych opatrení v konkrétnych pôdno-klimatických podmienkach monitorovacej lokality.

### *Ciele riešenia v roku 2009*

- monitoring vplyvu vodnej erózie na kvantitatívne zmeny sledovaných pôdných parametrov (obsah humusu, pH/KCl, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti, prístupný fosfor a draslík) na vybraných erózných transektoch (Banská Bystrica, Plášťovce, Kečovo, Budča) v priestore (priestorová variabilita) a v čase (časová dynamika)
- sledovanie intenzity recentnej erózie na erózných transektoch vyhodnotením profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia ( $^{137}\text{Cs}$ ) v jednotlivých častiach transektov
- kvantifikácia potenciálnej a aktuálnej priemernej ročnej straty pôdy na erózných transektoch využitím erózneho modelu Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE)

### *Materiál a metódy*

V roku 2009 pokračoval druhý cyklus sledovania erózie pôdy v konkrétnych pôdno-klimatických podmienkach erózných transektov pri Banskej Bystrici, Plášťovciach, Kečove a Budči. Na uvedené lokality (ktoré sme už v minulosti charakterizovali z pohľadu priestorovej variability monitorovaných pôdných parametrov) sme sa vrátili po piatich rokoch. Porovnaním výsledkov z dvoch cyklov monitorovania získame informácie o časovej variabilite (vývoji) sledovaných vlastností pôdneho krytu (pH/KCl, obsah humusu a prístupných živín P a K, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti).

Všetky erózne transekty (monitorované v tomto roku) sa nachádzajú na orných pôdach v erózne senzitivných oblastiach Slovenska (z pohľadu intenzity zrážok, erodovateľnosti pôdy, svahovitosti atď.).

V rámci erózneho transektu sú lokalizované tri pedologické sondy po spádnicí svahu, teda v smere najväčšieho vplyvu povrchového odtoku na pôdu. Vrcholová, eróziou minimálne

ovplyvnená časť svahu je charakterizovaná referenčnou sondou, erózna časť transektu eróznou sondou a úpätie svahu kde dochádza k akumulácii pôdnej hmoty je charakterizované akumuláčnou sondou.

Pôdne parametre pH/KCl, obsah humusu a prístupných živín P (Égner) a K (Schachtschabel), zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti boli stanovené podľa štandardných analytických metód (Fiala a kol., 1999) v laboratóriách VÚPOP Bratislava.

Recentnú eróziu pôdy (za obdobie približne 46 rokov) sledujeme metódou, ktorá využíva rádioaktívny izotop  $^{137}\text{Cs}$  ako značkovací prvok. V roku 1963 bola zaznamenaná najväčšia intenzita rádioaktívneho spádu (Walling, Quine, 1993). Metóda využíva schopnosť  $^{137}\text{Cs}$  pevne sa viazať na pôdne častice a pri transporte a následnom akumulovaní pôdnej hmoty dochádza aj k transportu a akumulovaniu izotopu cézia. Podrobnejšie sa vo svojich prácach touto metódou v podmienkach Slovenska zaoberali Linkeš, Lehotský, Stankoviansky (1992), Slávik a kol. (2000), Fulajtár, Janský (2001), Styk (2007). Analýzy pôdných vzoriek na rádioaktívny izotop cézia ( $^{137}\text{Cs}$ ) boli urobené využitím polovodičového gamaspektrometrického systému vo Výskumnom ústave jadrových elektrární v Trnave.

Na kvantifikáciu potenciálnej a aktuálnej priemernej ročnej straty pôdy na erózných transektoch sme využili erózný model Univerzálnej rovnice straty pôdy (Wischmeier, Smith, 1978):

#### **A = R.K.L.S.C.P**

A – priemerná ročná strata pôdy v tonách z hektára (t/ha /rok)

R – erozivita dažďa

K – erodibilita pôdy

L – vplyv dĺžky svahu

S – vplyv svahovitosti

C – vplyv rastlinného pokryvu

P – spôsob obhospodarovania

### ***Výsledky***

#### *Transekt pri Banskej Bystrici*

Monitorovaná lokalita sa nachádza na ornej pôde v pomerne členitom reliéfe Zvolenskej kotliny, ktorá je súčasťou Slovenského stredohoria. Na záujmovom území sa nachádzajú stredne ťažké, stredne hlboké až hlboké pôdy vyvinuté prevažne na zvetralinách pieskocov, v spodnej časti svahu s prímiesou vápencov. Dĺžka transektu je 210 metrov, pričom jeho svahovitosť sa pohybuje v rozmedzí od 8 do 10°. Priemerný ročný úhrn zrážok je v tejto lokalite 850 - 900 mm (Hrnčiarová a kol., 2002). Na väčšine sledovaného úseku sa nachádza kambizem pseudoglejová, kultizemná iba v báze svahu je kambizem kultizemná. Rozdielna je hĺbka humusového horizontu v pôdných profiloch jeho jednotlivých častí. V báze svahu, kde dochádza k akumulácii translokovanej pôdnej hmoty, je jeho mocnosť najväčšia (0,45 m).

V konkrétnych podmienkach monitorovaného územia sme využili empirický model Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty. Výsledkom bolo numerické vyjadrenie potenciálnej a aktuálnej straty pôdy z plochy jedného hektára za obdobie jedného roka. V tomto odberovom cykle sa na lokalite nachádzal jarný jačmeň.

**Potenciálna strata pôdy:**

$$R - 19,90 \quad K - 0,31 \quad L - 3,08 \quad S - 2,88$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{54,86 \text{ t/ha/rok}}$$

**Aktuálna strata pôdy (jarný jačmeň):**

$$R - 19,90 \quad K - 0,31 \quad L - 3,08 \quad S - 2,88 \quad C - 0,14 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P = \mathbf{7,86 \text{ t/ha/rok}}$$

V konkrétnych pôdno-klimatických podmienkach monitorovanej lokality predstavuje potenciálna ročná strata pôdy z hektára 54,86 ton. Vypočítaná hodnota prekračuje limit stanovený zákonom 220/2004 Z.z o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (pre hlboké pôdy – 30 t/ha/rok). Pôdu na sledovanom transekte z pohľadu potenciálnej erózie zaraďujeme do kategórie erodovanosti: extrémna.

Pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu (jarný jačmeň) došlo k zníženiu hodnoty aktuálnej erózie na 7,86 t/ha/rok. Jedná sa o kategóriu erodovanosti: stredná. V porovnaní s potenciálnou eróziou ide o oveľa nižšiu hodnotu, čo je ovplyvnené pomerne vysokým protieróznym účinkom hustosiatych obilnín.

Profilová aktivita cézia v jednotlivých častiach transektu potvrdzuje skutočnosť, že tu dlhodobo prebiehajú erózo-akumulačné procesy (vysoké hodnoty cézia ešte aj v hĺbke 50 cm pôdneho profilu akumuláčnej časti svahu). Klasickú schému distribúcie cézia (cézium sa nachádza iba v ornícovom, orbou premiešanom horizonte a pod ním sú jeho hodnoty na prahu merateľnosti) sme zaznamenali na plošine a v eróznej časti svahu.

**Tab. 1** Profilová distribúcia  $^{137}\text{Cs}$  v jednotlivých častiach transektu pri Banskej Bystrici

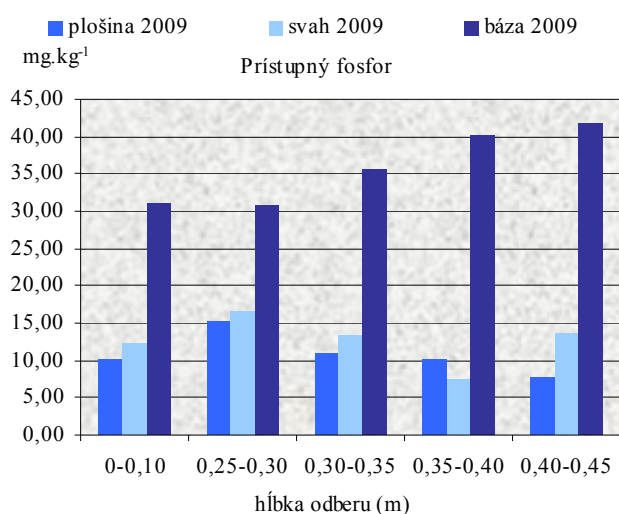
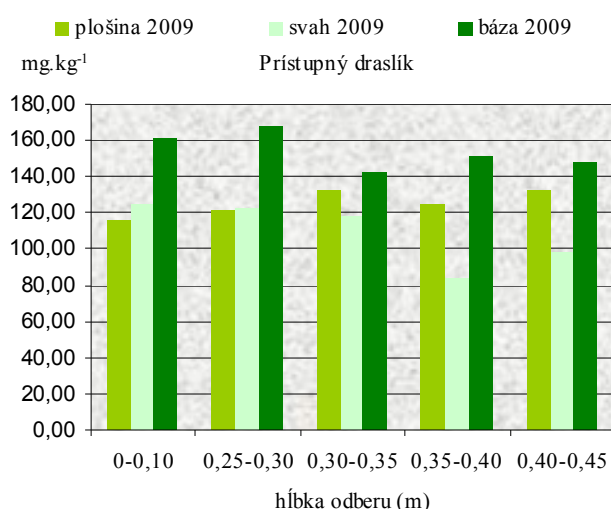
Transekt	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	17,2	12,5	1,2	-	-
svah	12,0	9,36	0,4	-	-
báza	12,9	10,3	3,9	16,9	8,7

Priemerná strata (resp. akumulácia) pôdnej hmoty za obdobie približne 46 rokov (v roku 1963 bola zaznamenaná najväčšia intenzita rádioaktívneho spádu) je posudzovaná na základe rozdielu hĺbky jeho merateľnej koncentrácie v pôdnych profiloch sond akumuláčnej (báza) a referenčnej (plošina) časti transektu. V tomto prípade sa jedná o vrstvu s mocnosťou 150 mm. V báze svahu sa priemerne ročne akumulovala vrstva pôdy s hrúbkou 3,3 mm. Pri aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu (1,35 g.cm<sup>-3</sup>) to predstavuje priemernú ročnú stratu (resp. akumuláciu) pôdnej hmoty 44,55 t/ha.

Podľa nameraných hodnôt prístupného fosforu sa pôda transektu zaraďuje do kategórie s malou zásobou tohto prvku (pravdepodobne pôda nebola hnojená dlhšie obdobie). Aj pri jeho nízkom obsahu v pôde môžeme skonštatovať, že vplyv erózie na jeho zásobu sa prejavil najmä v báze svahu, kde dochádza k jeho akumulácii spolu s pretransportovanou pôdnou hmotou (obr. 1).

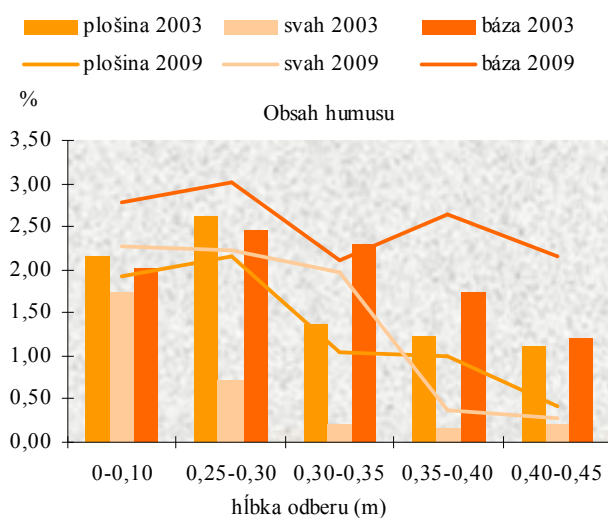
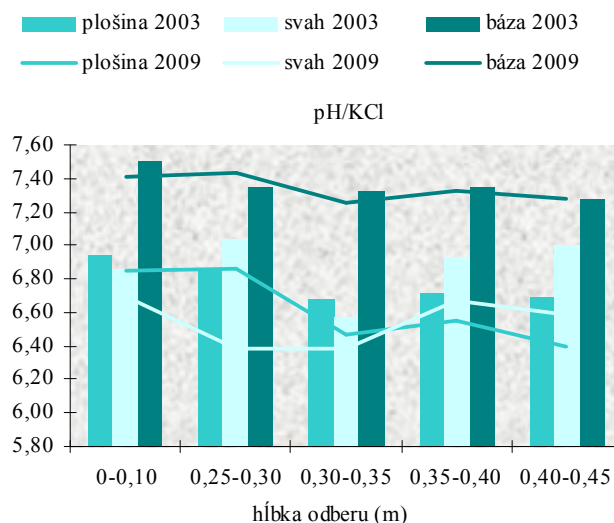
Vplyv erózie pôdy na kvantitatívne zmeny obsahu prístupného draslíka (stredná zásoba) sa prejavil predovšetkým v priestorovej distribúciu tohto makroprvku v pôdnych profiloch jednotlivých častí transektu. V eróznej časti sú jeho hodnoty v rámci celého pôdneho profilu výrazne nižšie v porovnaní s bázou svahu (obr. 2). Podobne ako pri fosfore, aj pri draslíku dochádza k jeho transportu spolu s uvoľnenými pôdnymi časticami, na ktoré sú tieto makroprvky relatívne pevne fixované. Časová dynamika zmien bude vyhodnotená až v treťom cykle sledovania nakoľko v prvom neboli robené analýzy uvedených makroprvkov.



**Obr. 1****Obr. 2**

Negatívny vplyv erózie pôdy sa prejavil aj v prípade obsahu pôdnej organickej hmoty (humus) v profiloch sond jednotlivých častí transektu (priestorová variabilita). Najvyššie hodnoty humusu boli namerané v pôdnom profile akumuláčnej časti svahu, naopak v jeho eróznej časti obsah humusu s narastajúcou hĺbkou pôdy výrazne klesal (obr. 3). Podobne ako v prípade makroživín P a K, aj humus sa relatívne pevne fixuje na jemný podiel pôdy a spolu s ňou je vplyvom erózie translokovaný do svahových depresií. Časová dynamika (za obdobie 2003 až 2009) sa výraznejšie prejavila len na báze svahu kde došlo k zvýšeniu obsahu humusu v celom pôdnom profile. Zaujímavá je skutočnosť, že v mieste kde sme predpokladali najväčší vplyv erózie (je tu umiestnená erózna sonda) sme nezaznamenali pokles obsahu humusu v pôdnom profile. Akumuláciu v báze svahu môžeme vysvetliť plošným vplyvom erózie v rámci celého sledovaného transektu.

Hodnoty pôdnej reakcie ornice na celom transekte zaraďujú túto pôdu do kategórie neutrálna. Pôda vznikla na zvetralinách premiešaných substrátov (výskyt pieskovecov aj vápencov) kde najmä prítomnosť zvetralín vápencov zabezpečuje pôde optimálne pH pre rast a vývoj rastlín. V porovnaní s akumulátnou časťou (vyšší podiel zvetralín vápenca) sme na plošine a v eróznej časti svahu zaznamenali nižšie hodnoty pôdnej reakcie (priorávanie spodnejších vrstiev pôdy).

**Obr. 3****Obr. 4**

Časová dynamika zmien sa prejavila v eróznej časti svahu kde mierne poklesla hodnota pH v rámci celého pôdneho profilu (obr. 4). V tejto časti svahu v pôdotvornom substráte nie je (v porovnaní s akumulácnou časťou) taký podiel zvetralín vápencov a preto pri strate pôdy dochádza k miernemu znižovaniu pH.

Vplyv vodnej erózie je signifikantný aj v prípade zastúpenia jednotlivých zrnitostných kategórií v rámci pôdnych profilov častí monitorovaného územia. So zvyšujúcou sa hĺbkou pôdneho profilu stúpa podiel ílu v eróziu ovplyvnenej časti svahu (tab. 2). Tým, že eróziou dochádza k odnosom pôdnych častíc, na povrch sa dostáva zrnitostne ťažšie podložie. Akumuláciou pretransportovaných častíc jemného piesku a prachu v báze svahu dochádza k zvýšeniu ich percentuálneho zastúpenia v celom pôdnom profile.

**Tab. 2** Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Banskej Bystrici

Transekt	Hĺbka odberu (m)	Obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (%)			
		< 0,002 mm íl	0,002-0,05 mm prach	0,05-2,0 mm jemný piesok	pôdny druh
plošina	0-0,10	21,43	47,60	30,97	hlinitá
	0,25-0,30	20,94	55,21	23,85	prachovito-hlinitá
	0,30-0,35	24,15	41,11	34,74	hlinitá
	0,35-0,40	23,09	40,96	35,95	hlinitá
	0,40-0,45	28,13	39,93	31,94	ílovito-hlinitá
svah	0-0,10	22,97	48,45	28,58	hlinitá
	0,25-0,30	21,98	44,02	34,00	hlinitá
	0,30-0,35	21,85	49,85	28,30	hlinitá
	0,35-0,40	28,03	31,12	40,85	ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	27,95	33,52	38,53	ílovito-hlinitá
báza	0-0,10	20,87	41,59	37,53	hlinitá
	0,25-0,30	20,52	42,15	37,33	hlinitá
	0,30-0,35	21,80	41,25	36,95	hlinitá
	0,35-0,40	20,97	43,23	35,80	hlinitá
	0,40-0,45	20,97	44,23	34,80	hlinitá

V druhom cykle monitorovania sa objemová hmotnosť ornice pohybuje vo všetkých častiach záujmovej lokality okolo hodnoty  $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$  a hodnoty pórovitosti sú nad 50% (tab. 3). V zhode so zákonom 220/2004 Z.z. ornica neprekračuje limity zhutnenia, ktoré sú stanovené pre pôdny druh hlinitá. Na základe klasifikácie pôd podľa pórovitosti (Kosil, 1973) sa ornica na celom sledovanom úseku zaraďuje medzi mierne utlačenú. Pôda na transekte vytvára pre väčšinu poľnohospodárskych plodín optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes a kol., 1996).

**Tab. 3** Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Banskej Bystrici

Transekt	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť ( $\text{g.cm}^{-3}$ )		PO (obj. %)	
		2003	2009	2003	2009
plošina	0-0,10	1,42	1,30	47,25	50,79
	0,30-0,35	1,59	1,47	41,15	45,35
svah	0-0,10	1,47	1,29	45,14	50,12
	0,30-0,35	1,76	1,40	33,14	47,49
báza	0-0,10	1,37	1,35	49,48	49,11
	0,30-0,35	1,62	1,49	40,01	43,81

PO - celková pórovitosť

### Transekt pri Plášťovciach

Erózny transekt je lokalizovaný v členitom reliéfe Krupinskej planiny, ktorá je súčasťou Slovenského stredohoria. V záujmovej lokalite sa vyskytujú stredne ťažké až ťažké, hlboké pôdy predovšetkým hnedozemného typu vyvinuté na polygenetických substrátoch (v báze s prímiesou zvetralín vápencov). Transekt je umiestnený na ornej pôde so svahovitosťou 11°. Jeho dĺžka je 480 m. Priemerný ročný úhrn zrážok je v tejto lokalite 600 - 650 mm (Hrnčiarová a kol., 2002). Monitorovaná lokalita je charakteristická hnedozemou kultizemnou s náznakmi oglejenia vplyvom povrchovej vody. Pôda sa vyvinula na polygenetických hlinách, len v akumuláčnej časti svahu sa objavujú aj zvetraliny flyšových hornín a vápencov. Orbou premiešaný humusový horizont má na plošine a eróznej časti svahu mocnosť 0,25 m avšak v báze je jeho hrúbka v dôsledku akumulácie pôdnej hmoty 0,50 m.

V konkrétnych podmienkach záujmovej lokality sme využitím modelu USLE vypočítali potenciálnu a aktuálnu stratu pôdnej hmoty:

#### Potenciálna strata pôdy:

$$R - 29,71 \quad K - 0,26 \quad L - 4,66 \quad S - 3,40$$
$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = 122,39 \text{ t/ha/rok}$$

#### Aktuálna strata pôdy (pšenica letná forma ozimná):

$$R - 29,71 \quad K - 0,26 \quad L - 4,66 \quad S - 3,40 \quad C - 0,11 \quad P - 1$$
$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = 13,46 \text{ t/ha/rok}$$

Na základe kalkulácie numerických hodnôt môžeme konštatovať, že pôda záujmovej lokality je potenciálne extrémne ohrozená vodnou eróziou. Hodnoty straty pôdy (potenciálna erózia) niekoľko násobne prekračujú limit stanovený zákonom č. 220/2004 (hlboká pôda – 30 t/ha/rok). Je to spôsobené predovšetkým dĺžkou a sklonom transektu, ako aj pomerne vysokou hodnotou faktora erozivity dažďa (R).

Aj pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu (pšenica letná forma ozimná) je pokles hodnoty aktuálnej erózie na 13,46 t/ha/rok pomerne vysoké číslo (vysoká erózia), avšak v porovnaní s potenciálnou eróziou ide o oveľa nižšiu hodnotu. V tomto prípade ani pomerne vysoký protierózny účinok hustosiatych obilnín nedokáže eliminovať negatívny vplyv erózie tak aby nedochádzalo k výraznejším stratám pôdnej hmoty.

Merateľná aktivita rádioaktívneho izotopu cézia v pôdnom profile akumuláčnej časti eróznej katény bola zaznamenaná až do hĺbky 0,50 m, pričom v referenčnej a eróznej časti transektu sú jeho koncentrácie na rozhraní ornice a podornice prakticky na hranici merateľnosti. Profilová distribúcia cézia potvrdzuje signifikantný vplyv erózie pôdy, výsledkom čoho je strata pôdnych častíc zo svahu a ich následná akumulácia v báze transektu (tab. 4).

Tab. 4 Profilová distribúcia  $^{137}\text{Cs}$  v jednotlivých častiach transektu pri Plášťovciach

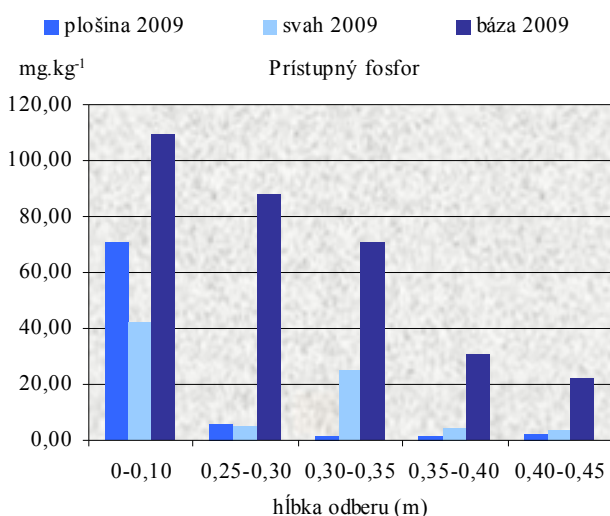
Transekt	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	11,6	0,4	0,4	-	-
svah	8,7	0,8	0,6	-	-
báza	11,5	10,0	4,6	1,0	1,1

V priebehu cca 46-tich rokov bola pretransportovaná vrstva pôdy s mocnosťou 200 mm (priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty je vo výške vrstvy 4,35 mm) čo pri zohľadnení aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu (1,42 g.cm<sup>-3</sup>) predstavuje priemernú ročnú akumuláciu pôdy 61,77 t/ha (extrémna erózia).

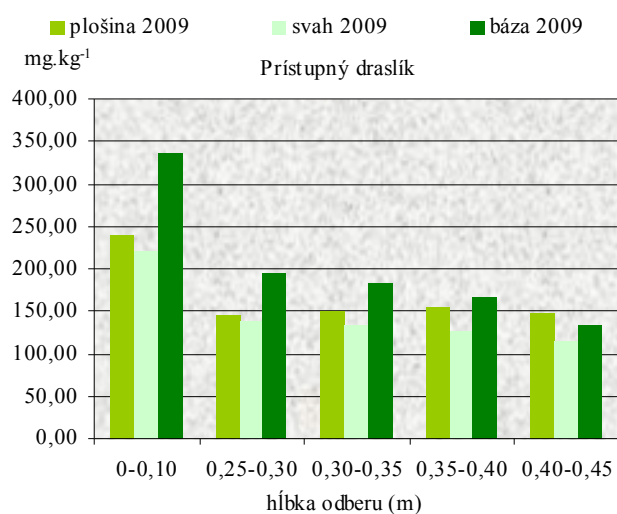
Zásoba prístupného fosforu v pôde v rámci jednotlivých častí transektu je rôzna, čo je významne ovplyvnené prítomnosťou eróznou-akumulačných procesov na lokalite. Strednú zásobu tohto makroprvku v ornici referenčnej a eróznej časti svahu strieda veľmi malá zásoba v podornici (obr. 5). Naopak jeho obsahy v báze svahu sú v rámci takmer celého vzorkovaného profilu pomerne vysoké (akumulácia pretransportovanej pôdnej hmoty).

Kvantitatívne zmeny obsahu prístupného draslíka sa prejavili predovšetkým v eróznej časti kde sú jeho hodnoty v rámci celého pôdneho profilu nižšie v porovnaní s referenčnou a akumulacnou časťou svahu (obr. 6). Spolu s uvoľnenými pôdnymi časticami dochádza k jeho transportu a následnej akumulácii v svahových depresiách. Časovú dynamiku zmien vyhodnotíme až v treťom cykle sledovania.

Obr. 5

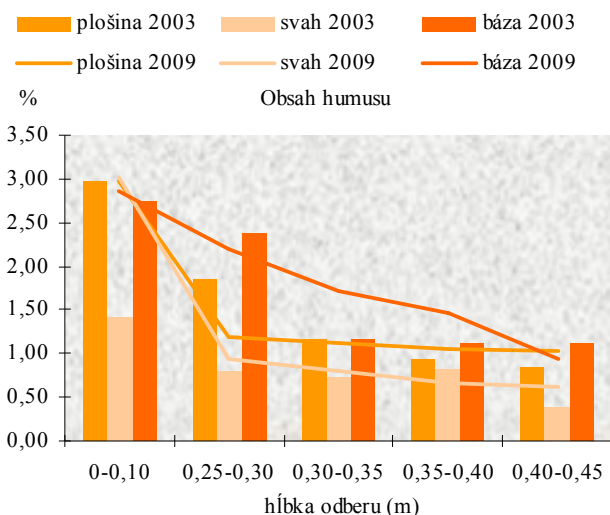


Obr. 6

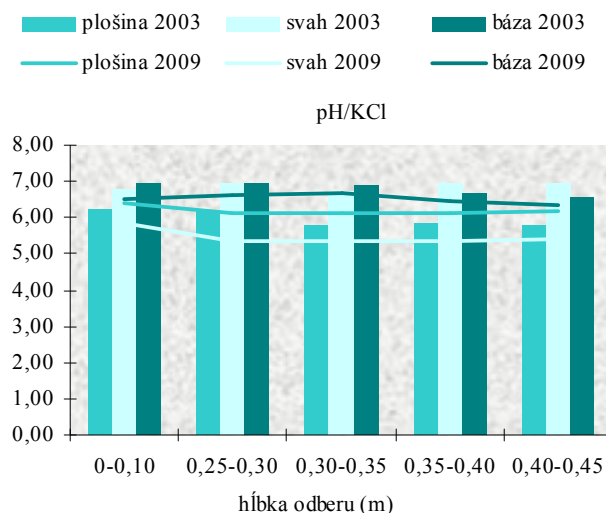


Strata pôdnej hmoty a tým aj humusu, ktorý je relatívne pevne na ňu naviazaný sa prejavila najmä v jeho priestorovej distribúcii v eróznej časti transektu kde sú jeho hodnoty v rámci celého pôdneho profilu výrazne nižšie v porovnaní s jeho referenčnou a akumulacnou časťou. Časová dynamika zmien tohto parametra v ornici všetkých častí monitorovaného územia bola nevýznamná, mierny nárast nastal len v podornici bázy svahu kde dochádza k akumulovaniu pretransportovanej pôdnej hmoty.

Obr. 7



Obr. 8



Pôdna reakcia ornice na sledovanej lokalite zaraďuje túto pôdu do kategórie neutrálna až slabo kyslá (plošina). Jej zmeny v priestore neboli významné, avšak časová dynamika zmien sa prejavila v eróznej časti svahu kde mierne poklesla hodnota pH v rámci celého pôdneho profilu (obr. 8). Neutrálna reakcia pôdy v rámci celého profilu v báze svahu je výsledkom jej genézy z pôdotvorného substrátu (polygenetické hliny) s prítomnosťou určitého podielu zvetralín vápencov.

Pre väčšiu časť monitorovanej lokality (referenčná a erózna časť) je charakteristická ťažká, prachovito-ílovito-hlinitá pôda, len v báze sa nachádza stredne ťažká, hlinitá pôda. Na plošine a v eróziu ovplyvnenej časti dominujú v celom pôdnom profile ílové a prachové frakcie (tab. 5), pričom v akumuláčnej časti je podiel frakcie ílu nižší a zvyšuje sa podiel jemného piesku. Vysoké zastúpenie frakcií ílu a prachu v eróznej ale aj referenčnej časti svahu potvrdzujú skutočnosť, že odnosom vrchných vrstiev pôdy sa na povrch dostáva zrnitostne ťažšie podložie (pôdotvorným substrátom sú polygenetické hliny).

**Tab. 5** Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Plášťovciach

Transekt	Hĺbka odberu (m)	Obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (%)			pôdny druh
		< 0,002 mm íl	0,002-0,05 mm prach	0,05-2,0 mm jemný piesok	
plošina	0-0,10	39,89	44,09	16,02	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,25-0,30	39,88	44,80	15,32	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	39,80	45,30	14,90	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	41,81	43,70	14,49	prachovito-ílovitá
	0,40-0,45	37,75	43,99	18,26	prachovito-ílovito-hlinitá
svah	0-0,10	35,17	45,41	19,42	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,25-0,30	36,27	43,97	19,76	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	34,20	43,40	22,40	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	37,68	44,66	17,66	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	30,64	42,31	27,05	ílovito-hlinitá
báza	0-0,10	26,10	47,15	26,75	hlinitá
	0,25-0,30	29,10	47,78	23,12	ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	26,10	45,84	28,06	hlinitá
	0,35-0,40	26,25	45,79	27,96	hlinitá
	0,40-0,45	23,83	39,94	36,23	hlinitá

Aj napriek vysokému podielu ílovej a prachovej frakcie v ornici na plošine a v eróznej časti svahu, pôda neprekračuje limit zhutnenia pre ťažké pôdy. Vrchná časť ornického horizontu sa mení na tzv. grumic vrstvu (s mocnosťou 6 cm), ktorá je veľmi porózna, pretože je tvorená pevnými drobnými pôdnymi agregátmi.

**Tab. 6** Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Plášťovciach

Transekt	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm <sup>-3</sup> )		PO (obj. %)	
		2003	2009	2003	2009
plošina	0-0,10	1,15	1,04	56,65	59,93
	0,30-0,35	1,48	1,70	45,18	35,32
svah	0-0,10	1,37	1,13	49,25	56,33
	0,30-0,35	1,45	1,61	47,17	39,00
báza	0-0,10	1,34	1,07	49,91	58,07
	0,30-0,35	1,39	1,42	48,95	46,99

PO - celková pórovitosť

V podornici na celom sledovanom úseku sú limitné hodnoty objemovej hmotnosti pre zhutnenie poľnohospodárskej pôdy prekročené (tab. 6). Podornica je výrazne zhutnená, čo významne vplýva na akceleráciu erózie pôdy. Pôda nie je schopná infiltrovať vodu do hlbších vrstiev pôdneho profilu a pri výrazných zrážkach dochádza veľmi rýchlo k vytváraniu povrchového odtoku.

#### *Transekt pri Kečove (OP)*

Záujmová lokalita sa nachádza na ornej pôde v členitom reliéfe Slovenského krasu, ktorý je súčasťou Slovenského rudohoria. Pôdotvorným substrátom, na ktorom sa vyvinula pôda monitorovaného územia sú neogéne sedimenty napriek tomu, že sa transekt nachádza v Slovenskom krase, pre ktorý je charakteristický výskyt vápencov a dolomitických vápencov. Transekt je umiestnený na ornej pôde so svahovitosťou 10°. Jeho dĺžka je 110 m. Priemerný ročný úhrn zrážok je v tejto lokalite 700 mm (Hrnčiarová a kol., 2002). Na celom transekte sa nachádza stredne ťažká kambizem pseudoglejová kultizemná. Orbou premiešaný orníkový horizont má v rámci sledovaného územia rôznu mocnosť (plošina: 0,25 m, svah 0,22 m, báza 0,30 m). V báze svahu je hrúbka akumulovaného humusového horizontu až 0,85 m.

Pre konkrétne pôdno-klimatické podmienky monitorovaného územia sme vypočítali potenciálnu a aktuálnu priemernú ročnú stratu pôdnej hmoty:

#### **Potenciálna strata pôdy:**

$$R - 27,64 \quad K - 0,29 \quad L - 2,23 \quad S - 2,88$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{51,47 \text{ t/ha/rok}}$$

#### **Aktuálna strata pôdy (raž siata):**

$$R - 27,64 \quad K - 0,29 \quad L - 2,23 \quad S - 2,88 \quad C - 0,17 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = \mathbf{8,75 \text{ t/ha/rok}}$$

Potenciálna ročná strata pôdy z hektára predstavuje v konkrétnych podmienkach záujmového územia hodnotu 51,47 ton, čím je prekročený limit stanovený zákonom 220/2004 Z.z o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (pre hlboké pôdy – 30 t/ha/rok). Z pohľadu potenciálnej erózie zaraďujeme pôdu na sledovanom transekte do kategórie erodovanosti: extrémna.

Zohľadnením aktuálneho rastlinného pokryvu, ktorým je raž siata, dochádza k zníženiu hodnoty aktuálnej erózie na 8,75 t/ha/rok. V tomto prípade sa jedná o kategóriu erodovanosti: stredná. Táto hodnota je v porovnaní s potenciálnou eróziou nižšia (dobrý protierózny účinok hustosiatych obilnín), stále však dochádza k pomerne vysokým stratám pôdnej hmoty.

Klasická schéma distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia platí aj v tomto prípade (potvrďuje dlhodobu prebiehajúcu eróziu pôdy na záujmovej lokalite). V pôdnych profiloch jednotlivých častí záujmovej lokality sa tento izotop nachádza v referenčnej a eróznej časti svahu len v ornici a v akumuláčnej časti sme jeho merateľné koncentrácie stanovili až do hĺbky 0,45 m (tab. 7).

**Tab. 7** Profilová distribúcia  $^{137}\text{Cs}$  v jednotlivých častiach transektu pri Kečove (OP)

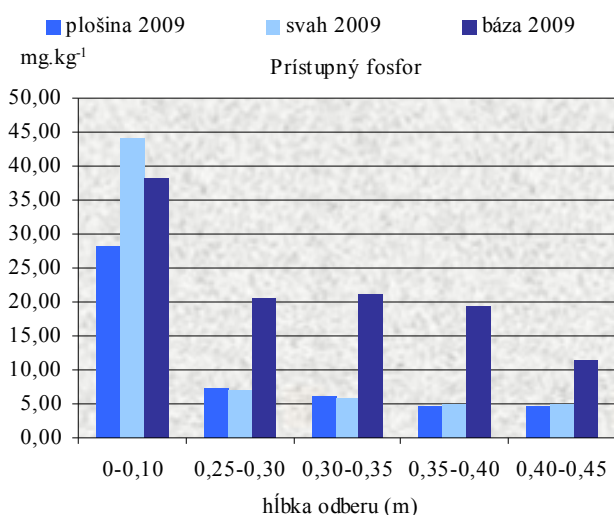
Transekt	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )				
	0-0,10 m	0,30-0,3 5m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	12,6	1,1	0,46	-	-
svah	8,35	0,9	-	-	-
báza	15,1	7,5	6,8	7,8	-

Pomocou porovnania aktivity  $^{137}\text{Cs}$  v pôdnych profiloch akumuláčnej a referenčnej časti erózneho transektu sme zistili, že za obdobie od jeho najväčšieho spádu pribudla v báze svahu približne 150 mm hrubá vrstva pôdy (3,26 mm ročne). Zohľadnením aktuálnej objemovej hmotnosti ornice akumuláčnej časti transektu ( $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ ) získame hodnotu priemernej ročnej akumulácie pôdy, ktorá je v tomto prípade 44,0 ton z hektára plochy.

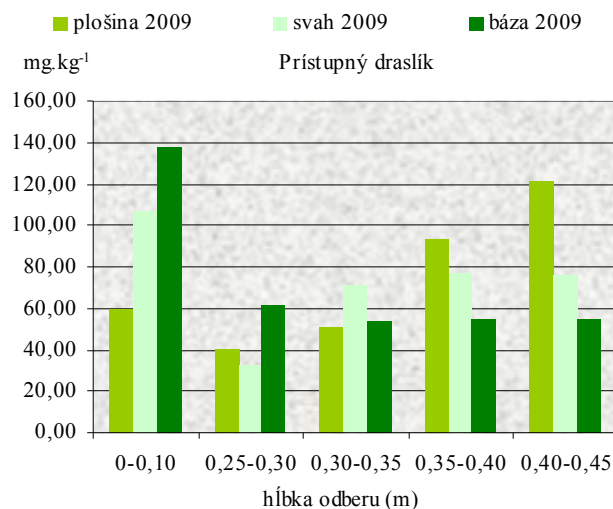
Pôda záujmovej lokality má strednú (na plošine malú) zásobu prístupného fosforu čo znamená, že pravdepodobne nebola dlhšie obdobie hnojená anorganickými hnojivami. Podobne ako v prípade transektu pri Banskej Bystrici, aj tu pri jeho relatívne nízkych obsahoch sa vplyv erózie na jeho zásobu prejavil najmä v báze svahu, kde dochádza k jeho akumulácii spolu s pretransportovanou pôdnou hmotou (obr. 9).

V porovnaní s predchádzajúcimi monitorovanými lokalitami nebol na tejto lokalite vplyv erózie na kvantitatívne zmeny obsahu prístupného draslíka až taký významný. Predpokladaný nárast obsahu tohto makroprvku v pôdnom profile akumuláčnej časti transektu sme stanovili len v orníčovom horizonte. Časová dynamika zmien bude vyhodnotená až v treťom cykle sledovania nakoľko v prvom neboli robené analýzy týchto makroprvkov.

Obr. 9



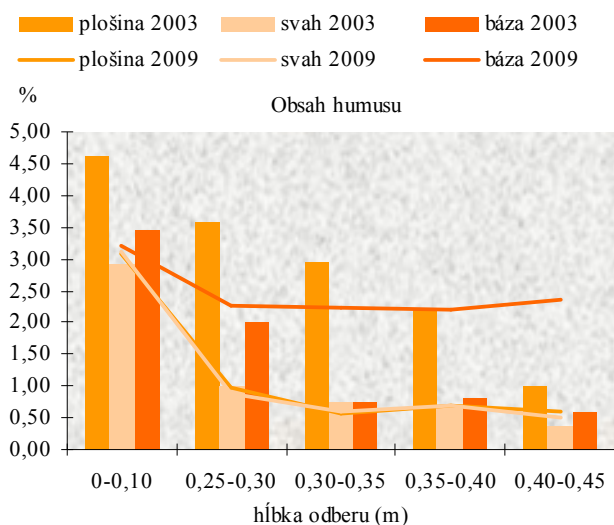
Obr. 10



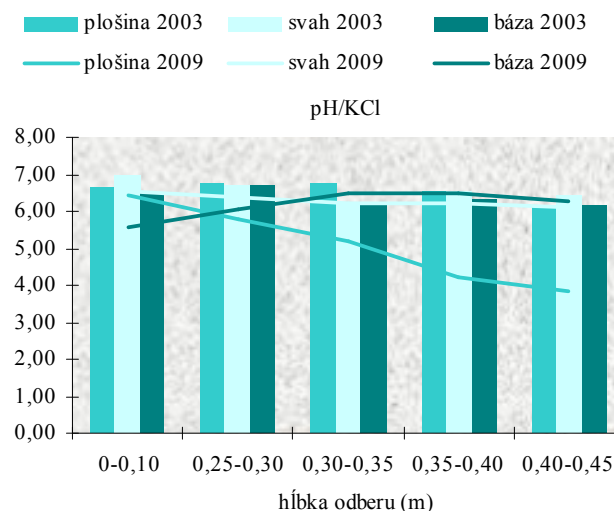
Prítomnosť erózie pôdy potvrdzuje aj priestorová distribúcia humusu v pôdnych profiloch erózneho transektu. Jeho najvyššie hodnoty v rámci celého pôdneho profilu boli namerané v akumuláčnej časti transektu. Naopak v eróznej časti, kde by sa mal vplyv vodnej erózie prejavovať najviac, boli hodnoty obsahu humusu najnižšie (obr. 11). V porovnaní s rokom 2003 došlo k zvýšeniu obsahu humusu v podornici bázy svahu, čo môže byť výsledok akumulácie pretransportovanej pôdnej hmoty za obdobie rokov 2003-2009.

Hodnotou pôdnej reakcie ornice sa pôda erózneho transektu zaraďuje do kategórie slabo kyslá. Jej zmeny v priestore a čase (priestorová variabilita, časová dynamika) sa výraznejšie prejavili len na plošine svahu kde došlo k výraznejšiemu zníženiu pH v rámci celého pôdneho profilu (obr. 12). Pravdepodobne je to výsledok orbovej erózie spôsobenej orbou po svahu, kedy môže dochádzať odnosom pôdnej hmoty (vplyvom orbového telesa) už aj z plošiny svahu. Na povrch sa dostávajú spodnejšie vrstvy pôdneho profilu.

Obr. 11



Obr. 12



Na celom eróznom transekte sa nachádza stredne ťažká pôda pričom dominuje pôdny druh prachovito-hlinitá. Charakteristické pre túto pôdu je výrazné zastúpenie frakcie prachu (tab. 8). Vplyv erózie sa prejavil vyšším podielom prachovej frakcie v celom pôdnom profile bázy svahu v porovnaní s ostatnými časťami sledovaného územia.

Tab. 8 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Kečove (OP)

Transekt	Hĺbka odberu (m)	Obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (%)			pôdny druh
		< 0,002 mm íl	0,002-0,05 mm prach	0,05-2,0 mm jemný piesok	
plošina	0-0,10	16,97	56,67	26,36	prachovito-hlinitá
	0,25-0,30	20,68	55,69	23,63	prachovito-hlinitá
	0,30-0,35	27,34	51,38	21,28	ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	42,96	39,28	17,76	ílovitá
	0,40-0,45	51,71	33,09	15,20	ílovitá
svah	0-0,10	17,81	58,07	24,12	prachovito-hlinitá
	0,25-0,30	23,88	57,40	18,72	prachovito-hlinitá
	0,30-0,35	25,58	54,97	19,45	prachovito-hlinitá
	0,35-0,40	28,52	52,32	19,16	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	25,78	48,76	25,46	hlinitá
báza	0-0,10	18,75	70,90	10,35	prachovito-hlinitá
	0,25-0,30	18,07	60,71	21,22	prachovito-hlinitá
	0,30-0,35	18,53	59,75	21,72	prachovito-hlinitá
	0,35-0,40	18,31	57,13	24,56	prachovito-hlinitá
	0,40-0,45	19,34	63,22	17,44	prachovito-hlinitá

Objemová hmotnosť a pórovitosť ornice sa v rámci celého erózneho transektu výrazne nemení (tab. 9). V zhode so zákonom 220/2004 Z.z. ornica neprekračuje limity zhutnenia, pre stredne ťažké pôdy. Pôda na transekte vytvára pre väčšinu poľnohospodárskych plodín optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes a kol., 1996).

Vyššie hodnoty objemovej hmotnosti a zároveň nižšie hodnoty pórovitosti podornice v sledovaných častiach záujmového územia sú výsledkom nepreorávania tejto časti pôdneho profilu. Na základe klasifikácie pôd podľa pórovitosti (Kosil, 1973) sa podornica na celom sledovanom úseku zaraďuje medzi utlačenú.



**Tab. 9** Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Kečove (OP)

Transekt	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm <sup>-3</sup> )		PO (obj. %)	
		2003	2009	2003	2009
plošina	0-0,10	1,12	1,39	56,97	46,16
	0,30-0,35	1,37	1,62	48,26	38,89
svah	0-0,10	1,34	1,35	49,62	47,85
	0,30-0,35	1,41	1,60	47,28	38,99
báza	0-0,10	1,27	1,35	51,81	48,07
	0,30-0,35	1,33	1,54	50,22	41,35

PO - celková pórovitosť

### Transekt pri Budči

Erózný transekt je umiestnený na ornej pôde v pomerne členitom reliéfe severnej časti Pliešovskej kotliny. V záujmovej lokalite sa vyskytujú stredne ťažké, hlboké pôdy predovšetkým kambizemného a pseudoglejového typu, ktoré sa vyvinuli na polygenetických substrátoch s prímiesou zvetralín vulkanických hornín. Pri dĺžke transektu 120 m je jeho svahovitosť 11°. Priemerný ročný úhrn zrážok sa v tejto lokalite pohybuje od 700 do 750 mm (Hrnčiarová a kol., 2002). Na monitorovanej lokalite sa nachádza pôdny typ kambizem pseudoglejová kultizemná. Orbou premiešaný humusový horizont má v rámci celého transektu rovnakú mocnosť (0,30 m).

V tomto odberovom cykle sa na lokalite nachádzala pšenica letná forma ozimná. Pre konkrétne pôdno-klimatické podmienky záujmovej lokality sme využitím modelu USLE vypočítali potenciálnu a aktuálnu stratu pôdnej hmoty:

#### Potenciálna strata pôdy:

$$R - 19,90 \quad K - 0,31 \quad L - 2,33 \quad S - 3,40$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{48,87 \text{ t/ha/rok}}$$

#### Aktuálna strata pôdy (pšenica letná forma ozimná):

$$R - 19,90 \quad K - 0,31 \quad L - 2,33 \quad S - 3,40 \quad C - 0,11 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = \mathbf{5,37 \text{ t/ha/rok}}$$

Vypočítaná hodnota straty pôdy (potenciálna erózia) prekračuje limit stanovený zákonom č. 220/2004 (hlboká pôda – 30 t/ha/rok). Pôda záujmovej lokality je potenciálne extrémne ohrozená vodnou eróziou. Pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu, ktorým je pšenica letná forma ozimná dochádza k poklesu priemernej ročnej hodnoty straty pôdy na 5,37 t/ha/rok (aktuálna erózia). V porovnaní s potenciálnou eróziou ide o podstatne nižšiu hodnotu čo je ovplyvnené pomerne vysokým protieróznym účinkom hustosiatych obilnín.

Prítomnosť dlhodobých pôsobiacich eróznno-akumulačných procesov na tejto lokalite dokumentuje klasická schéma distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia v jednotlivých pôdnych profiloch. V referenčnej a eróznej časti svahu sa tento izotop vyskytuje len v ornici avšak v báze svahu sme jeho merateľné koncentrácie stanovili do hĺbky 0,40 m (tab. 10)

**Tab. 10** Profilová distribúcia <sup>137</sup>Cs v jednotlivých častiach transektu pri Budči

Transekt	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )				
	0-0,10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	10,3	1,0	0,8	-	-
svah	13,1	0,7	0,7	-	-
báza	13,2	12,3	4,3	0,56	0,49

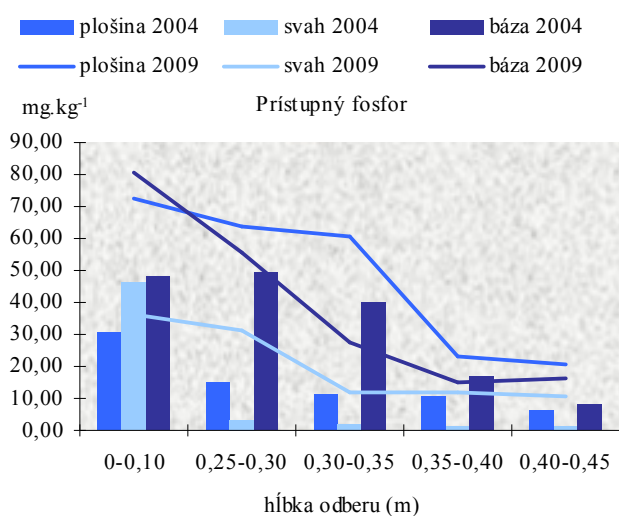
Rozdiel hĺbky merateľnej koncentrácie izotopu cézia v pôdnych profiloch sond akumuláčnej a referenčnej časti transektu predstavuje vrstvu pôdy hrubú približne 100 mm čo v prepočte za obdobie od najväčšieho spádu cézia činí priemernú ročnú akumuláciu pôdy 2,17 mm. Pri aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu ( $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ ) to predstavuje priemernú ročnú akumuláciu pôdnej hmoty 30,59 t/ha (vysoká erózia).

V porovnaní s pomerne vysokou zásobou prístupného fosforu v ornici referenčnej a akumuláčnej časti svahu je jeho zásoba v eróznej časti dosť nízka. Priestorová diferenciácia fosforu je aj na tejto lokalite významne ovplyvnená prítomnosťou eróznou-akumulačných procesov. Pri pohľade na obr. 13 vidíme klasickú schému distribúcie tohto makroprvku v pôdnych profiloch eróziou ovplyvneného územia, kedy v dôsledku straty pôdnej hmoty v eróznej časti svahu dochádza aj k stratám fosforu a naopak pri akumulácii pôdnych častí v báze svahu dochádza aj k jeho akumulácii.

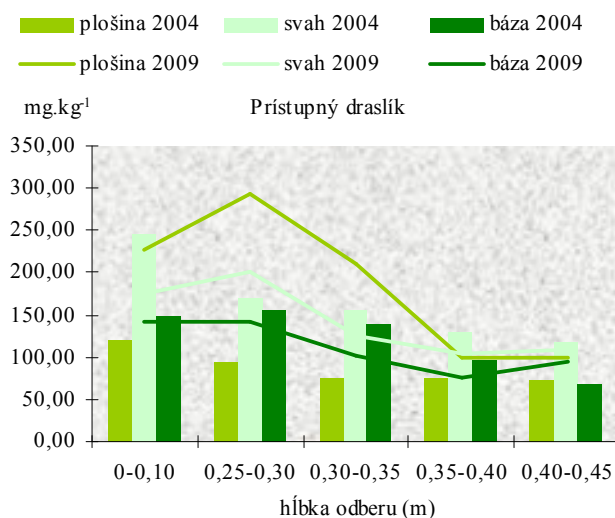
Je zaujímavé, že profilová distribúcia prístupného draslíka v rámci erózneho transektu nepotvrďuje významnejší vplyv erózie na tento makroprvok. Najvyššie hodnoty boli namerané v pôdnych profiloch referenčnej a eróziou ovplyvnenej časti transektu (obr. 14). Niekedy sa vplyv erózie na priestorovú distribúciu draslíka hodnotí dosť problematicky nakoľko sa tento prvok (na rozdiel od fosforu) môže prirodzene nachádzať aj v hlbších častiach pôdneho profilu v pomerne vysokých koncentráciách

Časová dynamika zmien sa prejavila výrazným zvýšením obsahu fosforu v ornici horizonte vrcholovej a akumuláčnej časti svahu, čo je pravdepodobne výsledok použitia anorganických hnojív. Prejavilo sa to aj vyššou koncentráciou draslíka (v porovnaní s rokom 2004) v referenčnej časti erózneho transektu.

Obr. 13



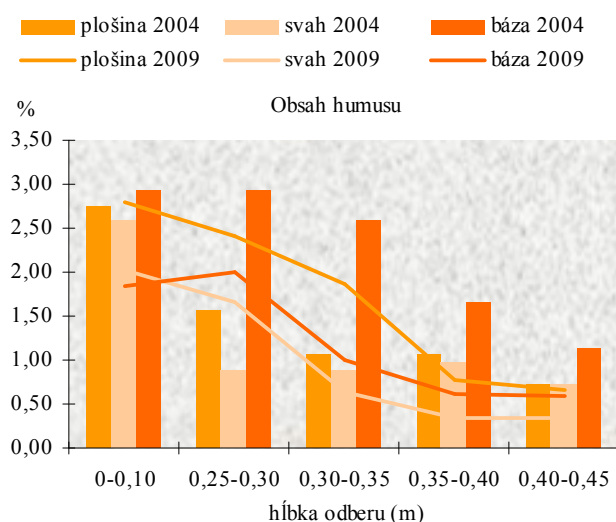
Obr. 14



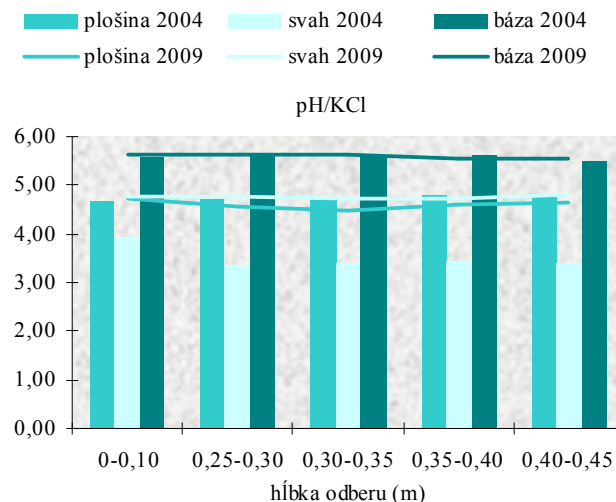
V prípade humusu sa na sledovanom transekte výraznejšie prejavila časová dynamika tohto parametra kedy došlo za obdobie 2004-2009 k výraznému poklesu jeho obsahov v ornici referenčnej a akumuláčnej časti svahu. Vplyvu erózie pôdy na priestorovú distribúciu humusu v rámci monitorovaného územia bol výraznejší v roku 2004 kedy sme namerali oveľa vyššie hodnoty humusu v celom profile bázy svahu.

Pôdna reakcia zaraďuje túto pôdu do kategórie kyslá. V rámci transektu sme zaznamenali výrazné zníženie pH na plošine a v jeho eróznej časti kde sa priorávaním na povrch dostáva kyslejšie podložie, naopak v akumuláčnej časti pre ktorú je charakteristická akumulácia pretransportovanej pôdnej hmoty pozorujeme mierne zvýšenie pôdnej reakcie v celom vzorkovanom profile (obr. 16).

Obr. 15



Obr. 16



Na transekte sa nachádza stredne ťažká pôda, prevláda pôdny druh hlinitá. Priestorová variabilita jednotlivých zrnitostných kategórií v rámci monitorovaného územia je pravdepodobne ovplyvnená vplyvom erózie. V pôdnych profiloch referenčnej a akumuláčnej časti transektu je výrazne zastúpená prachová frakcia. V jeho eróziu ovplyvnenej časti, kde dochádza stratám pôdnej hmoty, sa na povrch dostáva podložie, v ktorom prevláda frakcia jemného piesku (zvyšuje sa podiel tejto frakcie v celom profile). Transportom a následnou akumuláciou pôdnych častíc dochádza v báze svahu k zvýšeniu podielu prachovej frakcie celom pôdnom profile (tab. 11).

Tab. 11 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Budči

Transekt	Hĺbka odberu (m)	Obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (%)			pôdny druh
		< 0,002 mm íl	0,002-0,05 mm prach	0,05-2,0 mm jemný piesok	
plošina	0-0,10	19,92	44,41	35,67	hlinitá
	0,25-0,30	20,31	44,74	34,94	hlinitá
	0,30-0,35	19,46	45,60	34,94	hlinitá
	0,35-0,40	23,00	53,10	23,90	prachovito-hlinitá
	0,40-0,45	24,25	39,46	36,28	hlinitá
svah	0-0,10	25,24	27,62	47,13	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,25-0,30	27,28	22,19	50,52	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	26,11	20,14	53,75	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	24,55	19,04	56,41	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	24,42	18,67	56,90	piesčito-ílovito-hlinitá
báza	0-0,10	16,07	44,25	39,67	hlinitá
	0,25-0,30	16,88	45,55	37,56	hlinitá
	0,30-0,35	15,97	43,26	40,76	hlinitá
	0,35-0,40	15,63	45,48	38,89	hlinitá
	0,40-0,45	15,59	44,99	39,41	hlinitá

Objemová hmotnosť a pórovitosť ornice na celom transekte neprekračujú limit zhutnenia pôdy stanovený pre pôdny druh hlinité pôdy (220/2004 Z.z.). Zrnitostne ťažšie podložie, ktorým sú polygenetické hliny s prímiesou zvetralín vulkanitov, môže vplývať na

vyššie hodnoty objemovej hmotnosti podornice. Na základe klasifikácie pôd podľa pórovitosti (Kosil, 1973) sa podornica vo všetkých častiach monitorovanej lokality zaraďuje do kategórie utlačená (nepreorávanie tejto časti pôdneho profilu). Vplyv erózie pôdy na časovú dynamiku fyzikálnych vlastností v rámci transektu je v tomto prípade nevýrazný (tab. 12).

**Tab. 12** Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Budči

Transekt	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm <sup>-3</sup> )		PO (obj. %)	
		2004	2009	2004	2009
plošina	0-0,10	1,47	1,38	44,35	47,30
	0,30-0,35	1,57	1,52	41,50	42,42
svah	0-0,10	1,37	1,46	48,38	43,50
	0,30-0,35	1,51	1,50	43,92	41,10
báza	0-0,10	1,40	1,41	47,49	45,80
	0,30-0,35	1,49	1,53	44,45	41,80

PO - celková pórovitosť

## Záver

Druhý cyklus monitoringu erózie pôdy v konkrétnych pôdno-klimatických podmienkach monitorovaných lokalít pokračoval v roku 2009 na erózných transektoch pri Banskej Bystrici, Plášťovciach (okr. Levice), Kečove (okr. Rožňava) a Budči (okr. Zvolen), kde sme v zhode s cieľmi riešenia sledovali a vyhodnocovali vplyv erózie pôdy na priestorovú diferenciáciu a časovú dynamiku významných pôdnych parametrov.

Vypočítané hodnoty potenciálnej erózie (využitie Univerzálnej rovnice straty pôdy - USLE) vo všetkých monitorovaných lokalitách prekračujú limity straty pôdnej hmoty, ktoré sú uvedené v zákone 220/2004 Z.z. a zaraďujú pôdy na transektoch do kategórie vysoká až extrémna erodovanosť. Zohľadnením konkrétnej pestovanej poľnohospodárskej plodiny (aktuálna erózia) poklesnú hodnoty straty pôdy v závislosti od toho, aký má konkrétna rastlina protierózny účinok. Potvrdila sa dobrá protierózna schopnosť hustosiatych obilnín (pestovali sa na všetkých transektoch), kedy hodnoty vypočítanej aktuálnej erózie výrazne poklesli pod zákonný limit, avšak ich účinnosť nie je až taká, aby bol vplyv erózie eliminovaný na nízku úroveň (pôda je stále zaraďuje do kategórie strednej erodovanosti).

Na základe zhodnotenia priestorovej aktivity izotopu <sup>137</sup>Cs v jednotlivých pôdnych profiloch môžeme konštatovať, že na všetkých sledovaných lokalitách dlhodobo pôsobia eróžno-akumulačné procesy (recentná erózia). Jedná sa o eróziu, ktorá sa prejavuje na konkrétnom území v posledných dekádach (od obdobia najväčšieho spádu cézia). Hodnoty priemernej ročnej straty pôdnej hmoty (resp. akumulácie v báze svahu), sú v porovnaní s aktuálnou eróziou vo všetkých prípadoch výrazne vyššie. Musíme si však uvedomiť, že sa jedná o recentnú eróziu teda o priemer za obdobie približne 46 rokov. Počas tohto časového úseku môže byť erózia jeden rok extrémna, ale na druhý rok (v závislosti od pestovanej plodiny a množstva a intenzity zrážok) môže, výrazne poklesnúť až na minimálnu hodnotu.

Pôdne parametre prístupný fosfor a humus sú pomerne pevne fixované na povrchy jemného podielu pôdy, preto sa zaraďujú k relatívne vhodným indikátorom sledovania vplyvu vodnej erózie na pôdu. Vplyvom eróžno-akumulačných procesov dochádza k výraznému poklesu ich obsahov v pôde erózných častí a naopak k ich akumulácii v pôdnych profiloch akumulčných častí svahov. Túto schému priestorovej distribúcie prístupného fosforu a humusu sme zaznamenali na všetkých erózných transektoch.

Časovú dynamiku zmien za obdobie 2003-2009 sme vyhodnotili len v prípade humusu nakoľko prístupný fosfor sme v pôde na týchto lokalitách v prvom cykle nestanovovali. Výraznejšie sa prejavila len v akumulčných častiach transektov pri Banskej Bystrici

a Kečove. Došlo k zvýšeniu obsahu humusu v pôdnom profile. Zaujímavá je skutočnosť, že v mieste svahu kde sme predpokladali najväčší vplyv erózie sme nezaznamenali pokles obsahu humusu v pôdnom profile. Akumuláciu v báze svahu môžeme vysvetliť plošným vplyvom erózie v rámci celého sledovaného transektu.

V porovnaní s fosforom nie je draslík až taký vhodný indikátor pre sledovanie vplyvu erózie na pôdu. V niektorých prípadoch sa vplyv erózie na priestorovú distribúciu draslíka hodnotí dosť problematicky nakoľko sa tento prvok môže prirodzene nachádzať aj v hlbších častiach pôdneho profilu v pomerne vysokých koncentráciách. Vplyv eróznno-akumulačných procesov na priestorovú distribúciu prístupného draslíka sme zaznamenali len na transektoch pri Banskej Bystrici a Plášťovciach, kde dochádza k poklesu jeho obsahov v pôde eróznnych častí a naopak akumulácii v akumulčných častiach transektov.

Pôdna reakcia je na všetkých sledovaných lokalitách ovplyvnená jej genézou z pôdotvorného substrátu. Priestorovú diferenciáciu pôdnej reakcie sme zaznamenali v prípade eróznnych transektov pri Banskej Bystrici a Kečove. Na plošine a v eróznnej časti svahu (v dôsledku priorávania spodnejších vrstiev pôdy) boli namerané nižšie hodnoty pôdnej reakcie v porovnaní s akumulčnou časťou. Časová dynamika zmien tohto parametra sa prejavila na transektoch pri B.B. a Plášťovciach. V porovnaní s rokom 2003 výraznejšie poklesli hodnoty pH v eróznnych častiach časti svahov (na povrch sa dostáva kyslejšie podložie).

Vplyv erózie pôdy na zastúpenie na jednotlivých zrnitostných kategórií sa viac či menej prejavuje vo všetkých monitorovaných lokalitách. V eróznnych častiach svahov dominujú tie zrnitostné frakcie, ktoré sú väčšinou zastúpené v spodnejších častiach pôdnych profilov. Eróziou dochádza k odnosom jemnejších pôdnych častíc a na povrch sa dostáva väčšinou zrnitostne ťažšie podložie. V prípade transektu pri Budči sa na povrch dostáva podložie, v ktorom prevláda frakcia jemného piesku (zvyšuje sa podiel tejto frakcie v celom profile).

Hodnoty objemovej hmotnosti a pórovitosti ornice na všetkých sledovaných transektoch neprekračujú limity zhutnenia pôdy stanovené pre jednotlivé pôdne druhy (220/2004 Z.z.) a vytvárajú pre väčšinu poľnohospodárskych plodín optimálne podmienky vodného, vzdušného a tepelného režimu. Vyššie hodnoty objemovej hmotnosti a nižšie hodnoty pórovitosti v podornici všetkých eróznnych transektov sú výsledkom nepreorávania tejto časti pôdneho profilu.

## **Hodnotenie erózie pôd v období rokov 2006-2009**

Záverom môžeme konštatovať, že v zhode s cieľmi úlohy, ktorá prebiehala v rokoch 2006-2009, sa na všetkých monitorovaných lokalitách (Suchá Dolina, Kežmarok, Tachty, Voderady, Plavé Vozokany, Zacharovce, Rišňovce, Bartošovce, Smolinské, Ulič, Kečovo (TTP), Banská Bystrica, Plášťovce, Kečovo (OP), Budča) viac, či menej prejavil negatívny vplyv eróznno-akumulačných procesov na kvantitatívne zmeny základných úrodovných parametrov (pH/KCl, obsah humusu a prístupných živín P a K, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti). Erózne transekty sme sa snažili lokalizovať z pohľadu intenzity zrážok, erodovateľnosti pôdy, svahovitosti atď. v erózne senzitivných oblastiach Slovenska. Na základe vyhodnotenia profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia sme zistili, že erózia vplýva na pôdu záujmových lokalít dlhodobo, čoho výsledkom sú výrazné straty pôdnej hmoty v eróznnych častiach svahov a jej následné kumulovanie v svahových depresiách. Túto skutočnosť potvrdzuje aj numerická kalkulácia straty pôdnej hmoty využívajúca empirický vzorec Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE).

## *Literatúra*

- Fiala, K. a kol., 1999: Závazné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – Pôda. VÚPOP Bratislava, 1999, 142 s.
- Fulajtár, E., Janský, L., 2001: Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana. VÚPOP Bratislava, 2001, 310 s.
- Hanes, J., Zaujec, A., Sisák, P., Linkeš, V., Mucha, V., Čurlík, J., 1996: Pedológia, SPU Nitra, 1996, 119 s.
- Hrnčiarová, T. a kol., 2002.: Atlas krajiny Slovenskej republiky (Landscape atlas of the Slovak Republic). Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Rep., 2002, 344 p. ISBN 80-88833-27-2
- Kosil, V. a kol.: Půdoznalství I. II. SPN Praha, 1973
- Linkeš, V., Lehotský, M., Stankoviansky, M., 1992: Príspevok k poznaniu vývoja vodnej erózie pôd na pahorkatinách Podunajskej nížiny s využitím <sup>137</sup>Cs. Vedecké práce č. 17. VÚPÚ Bratislava, 1992, s. 111-120
- MPSR: 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
- Slávik, O., den Besten, J.W., Cebecauer, T., Fulajtár, E., Hofierka, J., Horňák, M., Lehotský, M., van der Perk, M., Šuri, M., Walling, D.E., Wielinga, A., Zhang, Y.S., 2000: Radiocaesium redistribution in the Mochovce catchment, Slovakia. In: Perk M., et al.: Spatial redistribution of radionuclides within catchments: Development of GIS-based models for decision support systems. Final Report. Spartacus, EC Contract No. IC15-CT98-0215 Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics (UCEL) Faculty of Geographical Sciences Utrecht University, 2000, 93-125.
- Styk, J., 2007: Indication of erosive-accumulative processes intensity at using <sup>137</sup>Cs profile distribution on selected soil transect. Agriculture (Poľnohospodárstvo), Journal for agriculture sciences, 53, 2007 (1), Istia Nitra, p. 23-30
- Walling, D.E., Quine, T.A., 1993: Use of caesium-137 as a tracer of erosion an sedimentation. Handbook for the application of the caesium-137 technique. UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579, University of Exeter, 1993
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978: Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning, Agricultural Handbook 537, USDA, 1978

## **7. PRÍNOSY RIEŠENIA**

Dosiahnuté výsledky a získané poznatky sú významné pre posúdenie aktuálneho stavu a vývoja našich pôd v poľnohospodárskej krajine. Sú využiteľné najmä v decíznej sfére pri ďalšej ochrane a využívaní poľnohospodárskeho pôdneho fondu Slovenska. Získané poznatky sú využiteľné aj pre ďalší rozvoj vednej disciplíny a univerzitách environmentálneho zamerania, ako aj pre širokú odbornú verejnosť nielen u nás, ale aj v rámci EÚ.

## **8. REALIZÁCIA VÝSLEDKOV RIEŠENIA**

V súlade so Zákonom č. 220/2004 Z.z. a jeho novelizáciou pod č. 219/2008 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy, predmetom celonárodného záujmu by mala byť ochrana vlastností a funkcií poľnohospodárskej pôdy v takom rozsahu, aby sa zachovala jej biologická rozmanitosť. Práve permanentné monitorovanie priebehu zmien vlastností poľnohospodárskej pôdy rozhodujúcich z hľadiska najmä jej mimoprodukčných funkcií tu má kľúčové postavenie. Poznanie intenzity a rozsahu degradačných procesov je podkladom pre ďalšiu realizáciu spôsobu ochrany a využívania poľnohospodárskych pôd. Súčasťou riešenia boli vypracované nehmotné realizačné výstupy, ktoré sú uvedené v ďalšej časti správy (kapitola 12). Svojím charakterom sa jedná o závažné materiály, ktoré už boli publikované v Edičnom stredisku pri Výskumnom ústave pôdozvedectva a ochrany pôdy (VÚPOP) v Bratislave. Súčasťou realizácie dosiahnutých výsledkov je aj ich publikovanie v našich i zahraničných periodikách, na našich i medzinárodných konferenciách a seminároch, ktoré odznali formou referátov, prednášok i posterov.

Navyše po vstupe SR do spoločenstva krajín EÚ sa získané výsledky dostávajú do nových, širších, medzinárodných dimenzií, čím sa ich spoločenská hodnota ešte zvyšuje. Svedčí o tom aj zvyšujúci sa medzinárodný dopyt po dôležitých informáciách o aktuálnom stave a vývoji pôd Slovenska so zámerom ich prepojenia do európskych štruktúr a databáz, čo napokon vyplýva aj z nášho členstva v EÚ.

## 9. PLNENIE ÚLOH A UZNESENÍ Z POSLEDNEJ PRIEBEŽNEJ OPONENTÚRY

Priebežná oponentúra úlohy „Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine“ sa uskutočnila dňa 20. apríla 2009 pri VÚPOP Bratislava za účasti zástupcu MP SR Ing. Tomáša Šimútha, ktorý bol zároveň aj predsedom oponentskej rady.

Oponentská rada na svojom zasadnutí konštatovala, že:

- zameranie výskumnej úlohy „Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine“ vychádza z materiálu „Návrh rezortných úloh výskumu a vývoja na roky 2006 – 2009“ schválenými Poradou vedenia ministerstva
- po formálnej a vecnej stránke je predložená správa v súlade s uvedeným materiálom
- riešenie projektu prebehlo v súlade so schváleným VČH

Oponentská rada súčasne schválila správu pre priebežnú oponentúru s drobnými pripomienkami.

Oponentská rada zároveň uložila koordináčnemu pracovisku:

- skompletizovať dokumentáciu zo záverečnej oponentúry vrátane podrobnému záznamu a tieto predložiť MP SR
- podľa osobitných pokynov Oddelenia výskumu a vzdelávania MP SR vypracovať podklady o riešení úlohy výskumu a vývoja do celoštátneho IS VUP
- spracovať skrátenú správu o výsledkoch, priebehu a stave čiastkového monitoringu Pôda a následne ju predložiť na rokovanie vedenia MP SR

Oponentská rada taktiež odporučila koordináčnemu pracovisku publikovať dosiahnuté výsledky a získané nové poznatky a zabezpečiť ich využitie v praxi.

Záverom tejto časti možno prehlásiť, že všetky požiadavky a odporúčania Oponentskej rady boli splnené.



## 10. ČERPANIE FINANČNÝCH ZDROJOV A POROVNANIE S PLÁNOM

Čerpanie finančných zdrojov na úlohe v rokoch 2006–2009 je uvedené v nasledujúcich tabuľkách 1 až 4.

Tab. 1 Čerpanie finančných zdrojov v tis. Sk a v tis. eurách k 31.12.2006

Čerpanie finančných zdrojov (porovnanie)	Kalkulačná položka 2006					
	Bežné		Kapitálové		Spolu	
	Sk	EUR	Sk	EUR	Sk	EUR
Plán	7000.-	232,357	-	-	7000.-	232,357
Skutočnosť	7639.-	253,568	-	-	7639.-	253,568

Tab. 2 Čerpanie finančných zdrojov v tis. Sk a v tis. eurách k 31.12.2007

Čerpanie finančných zdrojov (porovnanie)	Kalkulačná položka 2007					
	Bežné		Kapitálové		Spolu	
	Sk	EUR	Sk	EUR	Sk	EUR
Plán	7000.-	232,357	-	-	7000.-	232,357
Skutočnosť	7071.-	234,714	-	-	7071.-	234,714

Tab. 3 Čerpanie finančných zdrojov v tis. Sk a v tis. eurách k 31.12.2008

Čerpanie finančných zdrojov (porovnanie)	Kalkulačná položka 2008					
	Bežné		Kapitálové		Spolu	
	Sk	EUR	Sk	EUR	Sk	EUR
Plán	8000.-	265,513	-	-	8000.-	265,513
Skutočnosť	8051.-	267,244	-	-	8051.-	267,244

Tab. 4 Čerpanie finančných zdrojov v tis. Sk a v tis. eurách k 31.12.2009

Čerpanie finančných zdrojov (porovnanie)	Kalkulačná položka 2009					
	Bežné		Kapitálové		Spolu	
	Sk	EUR	Sk	EUR	Sk	EUR
Plán	7000.-	232,357	-	-	7000.-	232,357
Upravené	6231.-	206,841	-	-	6231.-	206,841

## 11. SÚHRN

Vytýčené ciele sú v súlade s cieľom vecného smerovania výskumu a vývoja „Podpora trvalo udržateľného rozvoja“ a jeho treťou prioritou, zameranou na monitorovanie a analýzy produkčného potenciálu slovenskej krajiny z hľadiska očakávaných zmien a reálnych možností jej ekonomického využívania, sociálnych a environmentálnych funkcií, ako aj na nástroje pre vytváranie vhodnej štruktúry poľnohospodárskej krajiny z hľadiska jej udržateľného rozvoja. Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že stanovené ciele boli splnené. Metodické postupy riešenia prebiehali vo vzťahu k jednotlivým odborným okruhom v nadväznosti na publikované metodické postupy (Fiala a kol., 1999). Postupne boli implementované nové metódy doporučené Európskou komisiou a existujúcich ISO noriem s ohľadom na zachovanie continuity doterajšieho sledovania vývoja vlastností pôd.

Na základe dosiahnutých výsledkov sa v poslednom období ukazuje určitá stabilizácia pôdnej organickej hmoty po predchádzajúcom poklese najmä na orných pôdach. Zmeny v kvalitatívnych parametroch neboli preukazné. Najkvalitnejšia organická hmota sa dlhodobo udržuje na černozeiach a najmenej kvalitná predovšetkým na vysokohorských rendzinách. Mierne sa znížil pokles prístupných živín – fosforu a draslíka. Doteraz sa nepotvrdili výraznejšie zmeny v kontaminácii pôd. Mierny acidifikačný trend bol zistený na kyslých pôdach a substrátoch. Procesy salinizácie a sodifikácie prebiehajú od substrátových horizontov smerom k povrchu pôdy, pričom tento vývoj je zreteľnejší v pôdach so slabým až stredným vývojom solných pôd, pričom proces sodifikácie je dominantný. Fyzikálny stav monitorovaných pôd bol najviac ovplyvnený textúrou pôdy a zhoršoval sa v smere od zrnitostne ľahších ku ťažším pôdam. Významný je aj proces erózie, ktorý prebieha neustále s väčšou alebo menšou intenzitou. Prejavuje sa približne na 43,3 % aktuálnej výmery poľnohospodárskej pôdy.

## 12. REALIZAČNÉ VÝSTUPY

Súčasťou riešenia boli aj vypracované a publikované realizačné výstupy v podobe samostatných publikácií, spojených často aj s návrhom regulačných opatrení pre zvýšenie ochrany pôdy na základe dosiahnutých výsledkov.

### *Rok 2006*

#### **Kategorizácia poľnohospodárskych pôd z hľadiska množstva a kvality pôdnej organickej hmoty na základe doteraz získaných výsledkov z monitoringu pôd SR.**

V uvedenej práci sme sa pokúsili kategorizovať jednotlivé pôdne typy vyskytujúce sa na poľnohospodárskych pôdach Slovenska na základe množstva ale aj kvality POH. Detailná kategorizácia kvality pôdnej organickej hmoty okrem jej základných parametrov bola uskutočnená aj na základe vybraných parametrov chemickej štruktúry humínových kyselín. Výsledky monitoringu obsahu POC boli zohľadnené aj pri stanovení limitných hodnôt POC na orných pôdach jednotlivých pôdnych typov. Tieto limitné hodnoty POC podávajú poľnohospodárom prvú informáciu o rizikovom stave pôdnej organickej hmoty na konkrétnom pôdnom type.

Práca bola publikovaná:

Barančíková, G.: Kategoryzacja gleb uzytkowanych rolniczo na podstawie zawartosci i jakosci materii organicznej. In: Rola materii organicznej w srodowisku. Gonet, S.S., Markiewicz, M. (eds.). Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2007, Torun, str. 47-60, ISBN 83-919331-6-4

#### **Možnosti využitia nukleárnej magnetickej rezonancie na prehĺbenie poznatkov o organických formách základných biogénnych prvkov**

Práca podáva základnú informáciu o spektrálnej metóde nukleárnej magnetickej rezonancie (NMR) <sup>13</sup>C, <sup>31</sup>P a <sup>15</sup>N a jej využitie pri detailnej charakteristike pôdnej organickej hmoty. V práci sú uvedené mnohé dôkazy o tom, že spektroskopická metóda nukleárnej magnetickej rezonancie je užitočným nástrojom pri štúdiu detailnej štruktúry pôdnej organickej hmoty, organického fosforu v pôde a tiež dynamiky pôdneho dusíka v pôde ako aj v jednotlivých frakciách humusových látok. NMR značne rozširuje naše vedomosti vo všetkých sférach štúdia POH, ktoré zahŕňujú pochopenie povahy mineralizácie a humifikácie, účinkov kultivácie, interakcie POH so xenobiotikami a ťažkými kovmi.

Práca bola publikovaná:

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

### *Rok 2007*

#### **Mapa rozdielov v obsahu organického uhlíka medzi rokmi 1993 a 2002.**

Práca podáva základný algoritmus tvorby mapového výstupu POC v orníčovom horizonte pre poľnohospodárske pôdy Slovenska a následne tvorbu mapového výstupu: Rozdiely v obsahu organického uhlíka medzi rokmi 1993 a 2002. Mapa rozdielov v kategóriách obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska je vhodným ilustračným materiálom, ktorý umožňuje zistiť priestorovú lokalizáciu zmien (zvýšenie, resp. zníženie) POC počas uplynulých 10 rokov monitoringu pôdnej organickej hmoty.

Algoritmus tvorby mapového výstupu bol publikovaný v práci:

Barančíková, G., Makovníková, J.: Prístup k tvorbe mapy obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In: Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov, Sobocká, J, Kulhavý, J. (eds.). Bratislava, 2008, str. 345-351, ISBN: 978-80-89128-44-0

Výsledky výstupu boli publikované:

Barančíková, G., Makovníková, J., Širáň, M.: Zmeny v hodnotách indikátorov pôdnej kvality východného Slovenska. In: Identifikácia zmien zložiek životného prostredia problémových oblastí východného Slovenska. Zborník z medzinárodnej konferencie, Košice, 2008, str. 28-34, ISBN: 978-80-552-0087-3, Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.

Barančíková, G., Makovníková, J., Širáň, M.: Identifikácia senzitívnych oblastí na základe monitorovania zmien pôdnej reakcie, obsahu organickej hmoty a kompaktie. In: Pôda-národné bohatstvo. Piate pôdoznalecké dni. Kobza, J. (ed.). Zborník príspevkov, Sielnica, 2008, str. 113-120, ISBN: 978-80-89128-49-5

### **Modelovanie obsahu pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska**

RothC 26.3 model je jedným z najčastejšie využívaných modelov pre simuláciu vývoja pôdneho organického uhlíka (POC). Nakoľko na Slovensku tento model nebol doposiaľ používaný bolo potrebné uskutočniť jeho validáciu na vybraných pôdnych monitorovacích lokalitách s rozdielnymi pôdnymi a klimatickými parametrami. Získané výsledky naznačujú, že RothC 26.3 model je vhodný pre prognózovanie pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

Práca bola publikovaná:

Barančíková, G: Validácia modelu RothC na vybraných monitorovacích lokalitách. Vedecké práce VUPOP, vol. 29, str: 9-22, 2007, ISBN 978-80-89128-40-2

### **Kritériá pre identifikáciu rizikových oblastí kontaminácie poľnohospodárskych pôd a metodické postupy ich hodnotenia**

Materiál bol vypracovaný a publikovaný v súčinnosti so zákonom č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Boli rozpracované postupné kroky identifikácie rizikových oblastí kontaminácie pôd. Nad ich výkonom by mala dohliadať Pôdna služba v zmysle uvedeného zákona.

Práca bola publikovaná:

Kobza, J., Bezák, P., Hrivňáková, K., Medveď, M., Náčiniaková, Z., 2007: Kritériá pre identifikáciu rizikových oblastí kontaminácie poľnohospodárskych pôd a metodické postupy ich hodnotenia. VÚPOP Bratislava, 40 s. ISBN 978-80-89128-35-8.

### **Rok 2008**

### **Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska**

V práci sme zhodnotili aktuálny stav avývoj makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Hodnotené boli základné makroelementy P, K a Mg a mikroelementy (Cu,

Zn, Mn, Fe, B). Bol zistený úbytok uvedených makroelementov, najmä P a K. Obsah mikroelementov je prevažne stredný až dobrý.

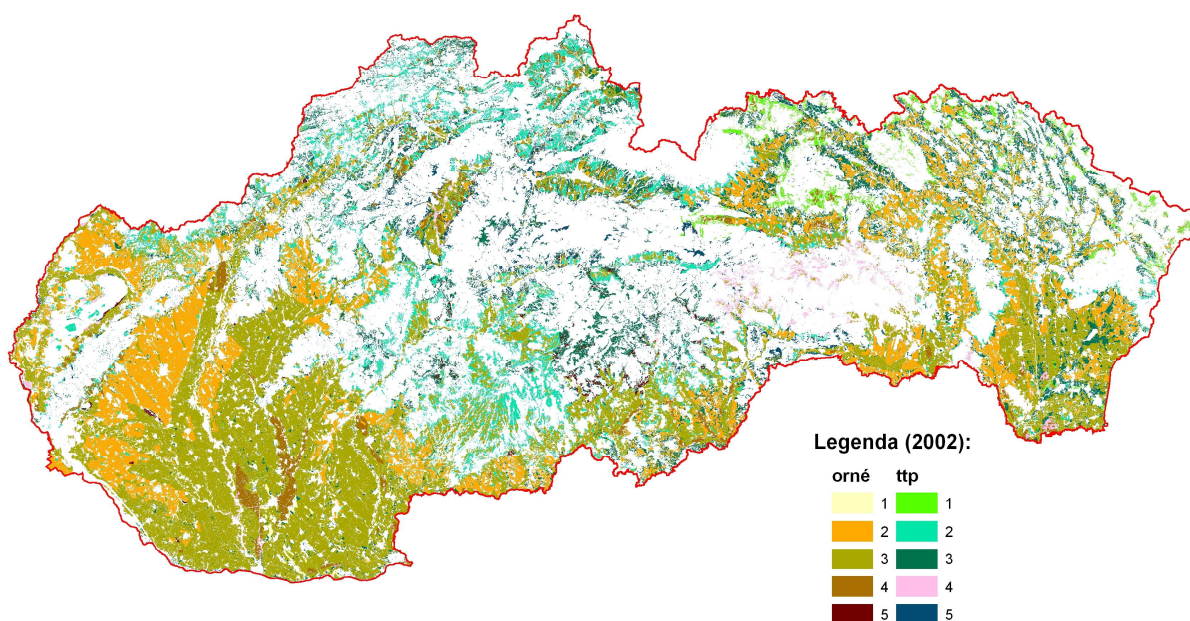
Práca bola publikovaná:

Kobza, J., Gáborík, Š. 2008. Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPOP Bratislava, 58 s. ISBN 978-80-89128-47-1.

### Obsah organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska

Bola vypracovaná priestorová distribúcia obsahu organického uhlíka na jednotlivých pôdnych asociáciach, pričom sa prvýkrát na Slovensku použilo rozlíšenie obsahu Cox na orných pôdach a TTP na rovnakom pôdnom type.

Mapový výstup:



Práca bola publikovaná:

Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B. 2008. Obsah organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska (mapový výstup). VÚPOP Bratislava, 6 s.

### Hodnotenie sorpčnej kapacity pôdnej organickej hmoty jednotlivých pôdnych typov s využitím získaných poznatkov o chemickej štruktúre HK

V tejto práci sme sa pokúsili navrhnúť kategorizáciu sorpčnej kapacity humusu na základe hlavných kvantitatívnych ale aj kvalitatívnych parametrov humusu a vybraných parametrov chemickej štruktúry humínových kyselín, ktoré reprezentujú dominantnú kvalitatívnu zložku pôdneho humusu. Návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu uvedený v tejto práci nie je komplexný, nakoľko okrem chemických parametrov nezohľadňuje aj fyzikálne konformácie HL, ktoré taktiež ovplyvňujú ich sorpčnú kapacitu. Napriek uvedenému nedostatku sa domnievame, že prezentovaný návrh môže vo veľkej miere pomôcť pri hodnotení sorpčnej kapacity humusu rôznych typov poľnohospodárskych pôd predovšetkým využívaných ako orné pôdy.

Práca bola publikovaná:

Barančíková, G., 2009: Proposal of evaluation of soil organic mater sorption capacity. In: Humic substances in ecosystems 8, editors: Zaujec, A., Bielek, P., Gonet, S.S., Debska, B., Heczko, J., Bratislava, 2009, str. 11-16, ISBN: 978-80-89128-60-0

Jedným zo základných ukazovateľov, ktorým sa pôda líši od materskej horniny je nahromadené množstvo organických látok, ktorých povaha a kvalita v podstatnej miere určujú smer procesov vývoja pôdy, jej biochemické, chemické a fyzikálne vlastnosti ako aj jej úrodnosť (Kononovova, 1963). Pôdna organická hmota (POH) je energetickým základom biologických procesov, disponuje vlastnosťami fyziologicky aktívnych látok regulujúcich rast a výživu rastlín a spolu s ílovou frakciou pôdy sú základnou mierou zodpovedné za kationovú výmennú kapacitu.

### 1. Zloženie pôdnej organickej hmoty

Organická hmota predstavuje veľmi zložitý systém špecifických (humusových) a nešpecifických zlúčenín, ktoré sa v pôde nachádzajú voľné alebo chemicky, resp. adsorpčne viazané s minerálnymi zložkami. Organická hmota združuje všetky organické látky, ktoré sa nachádzajú v pôdnom profile, okrem tých, ktoré sú súčasťou živých organizmov. Exaktne povedané, pôdna organická hmota (POH) obsahuje žijúcu aj mŕtvu organickú hmotu a je najdôležitejšom pôdnou frakciou, nakoľko priamo ovplyvňuje chemické, biologické a fyzikálne pôdne podmienky (Tan, 2003)

Bežne sa však termínom pôdna organická hmota označuje iba mŕtva organická frakcia, ktorá je tvorená chemickým a biologickým rozkladom rastlinných zvyškov v rôznom stupni rozkladu, v ktorom sa nachádza jednak morfológický rastlinný materiál, ktorý je stále viditeľný a tiež úplne rozložený rastlinný materiál, kde nie sú ani stopy po anatomickej štruktúre materiálu, z ktorého rozklad pochádza.

V súčasnosti je humus definovaný ako zmes nehumifikovanej a humifikovanej organickej hmoty, pričom humifikovaná frakcia identifikovaná Christmanom a Gjessingom (1983) je humusový materiál.

Nešpecifické zlúčeniny reprezentujú presne definované zlúčeniny organickej chémie (bielkoviny, aminokyseliny, cukry, organické kyseliny, tuky, vosky, živice). Ľahko sa rozkladajú mikroorganizmami, pomerne rýchlo reagujú na zmeny vonkajších podmienok a z toho dôvodu predstavujú aktívny začiatok pôdneho humusu.

Vlastné – špecifické humusové látky (HL), predstavujú komplex organických zlúčenín hnedého a žltého sfarbenia, ktoré sa z pôdy extrahujú roztokmi alkálií, neutrálnych solí alebo organickými rozpúšťadlami. Molekulová hmotnosť HL sa pohybuje v rozmedzí od 2000 do 200 000 Da. Sú to látky štruktúrne veľmi zložené a doposiaľ nie úplne presne popísané. Jednotlivé frakcie humusového materiálu a ich rozdielnu rozpustnosť uvádzame v tabuľke 1.

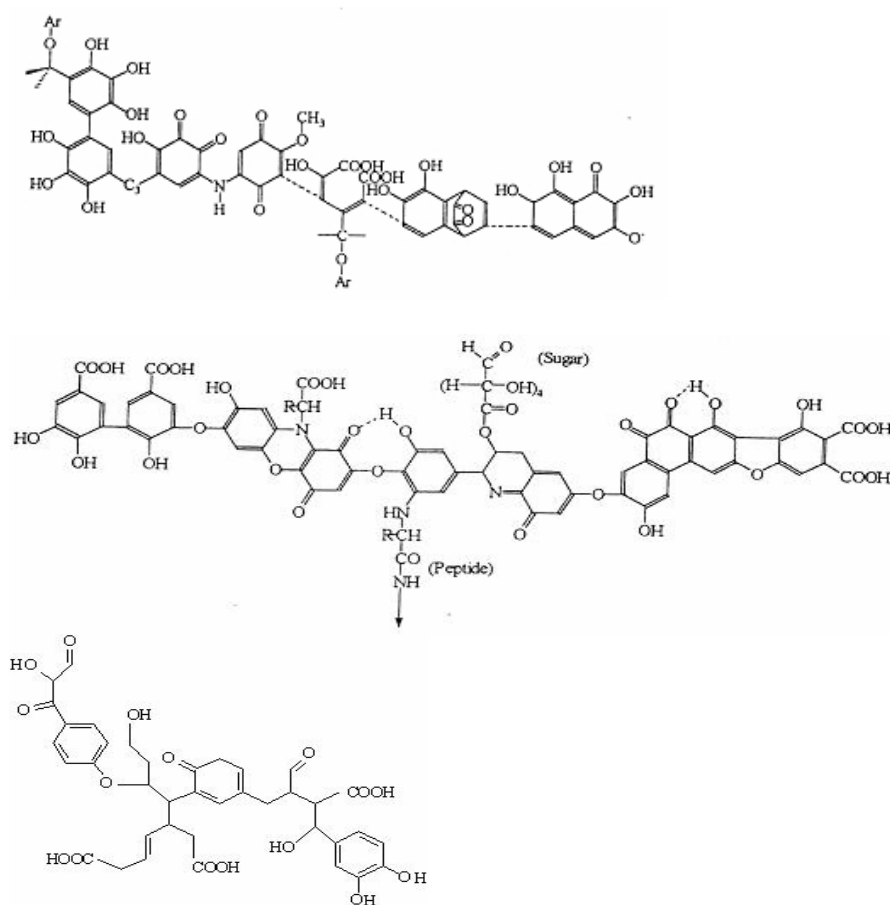
**Tab. 1** Tri hlavné typy humusových látok, rozdelené na základe ich rozdielnej rozpustnosti v kyselinách, alkalických rozpúšťadlách a vode

Typ humusových látok	Zásady	Kyseliny	voda
Fulvo kyseliny	rozpustné	rozpustné	rozpustné
Humínové kyseliny	rozpustné	nerozpustné	nerozpustné
Humín	nerozpustné	nerozpustné	nerozpustné

Podstatnú časť humusových látok (85-90% podľa Kononovovej (1963)) tvoria humínové kyseliny (HK) a fulvokyseliny (FK), ktoré môžeme vo všeobecnosti charakterizovať ako vysoko molekulárne polydisperzné, amorfné zlúčeniny žltej, hnedej až čiernej farby. V súčasnosti existuje veľa modelov chemického zloženia humusových látok

(Orlov,1974, Stevenson, 1994, Schulten, 1996). Z chemického hľadiska sú humusové látky zložené z aromatického jadra a alifatických reťazcov s mnohými špecifickými funkčnými skupinami, pričom ich počet a zloženie závisí na podmienkach ich tvorby. V dôsledku chemického zloženia sú HL schopné viazať polárne i nepolárne zlúčeniny. Humínové látky obsahujú značné množstvo funkčných skupín, z ktorých najdôležitejšie sú karboxylové a hydroxylové skupiny, vrátane fenolických (Tan, 2003). Okrem rozdielnej rozpustnosti a farby sa HK a FK vzájomne líšia aj v chemickom zložení, pričom humínové kyseliny majú vyššie zastúpenie uhlíka a nižší obsah vodíka ako FK, čoho výsledkom je aj vyšší aromatický charakter HK ako FK, ale FK majú vo všeobecnosti vyššiu celkovú kyslosť, ktorá vyplýva hlavne z vyššieho počtu karboxylových skupín v makromolekule FK (Tan, 2003).

**Obr. 1** Štruktúry molekúl humínových kyselín podľa rôznych autorov (Skokanová a Dercová, 2008a)



Navrhnuť molekulovú štruktúru humínovej kyseliny je veľmi komplikovaný proces. V súčasnosti je jednou z hypotéz zloženia HK tzv. Schultenov hypotetický monomér, ktorý je charakterizovaný sumárnym vzorcom obsahujúcim uhlík, vodík, kyslík a dusík, s najvyšším zastúpením vodíka a uhlíka (Schulten, 2002), pričom jednotlivé monoméry sú pospájané intermolekulovými vodíkovými a van der Walsovými väzbami. Schaumann a kol. (2008) vo svojej hypotéze uvádza, že matrica POH je mimoriadne dynamická a je vytváraná intermolekulovými mostíkmi, ktoré reprezentujú molekuly vody a multivalentné katióny. Ďalšou zo súčasných hypotéz, je tzv. supramolekulová teória, ktorá humínové látky charakterizuje ako spojenie relatívne malých heterogénnych molekúl, ktoré obsahujú hydrofóbne a hydrofilné zložky (Piccolo, 2001).

V súčasnosti je už mnoho dôkazov o tom, že humusové látky netvorí kovalentne viazané makromolekulové reťazce s rigidnou štruktúrou, ale že matrica POH je

intermolekulárne vytváraná zosieťovaním menších jednotiek cez vodíkové mostíky, resp. multivalentné kationy napr. vápnika v dôsledku čoho je takáto trojdimenzionálna štruktúra mimoriadne flexibilná pri nepatrných zmenách vonkajších podmienok (napr. pH) a je schopná sequestrovať ťažké kovy, organické polutanty, ale je dôležitá aj pre dynamiku vody v pôde (Picollo, 2001, Schaumann a kol. 2008, Gildemeister a kol., 2008). Takéto zosieťovanie vytvára amorfnú, sklu podobnú polymérnu štruktúru, ktorá je vo veľkej miere závislá od nepatrných zmien vonkajšej teploty. Pri zosieťovaní POH je tiež mimoriadne dôležitá úloha vápenatých kationov, ktoré indukujú zosieťovanie a zintenzívňujú „sklený“ charakter matrice POH (Schaumann a kol. 2008, Gildemeister a kol., 2008).

## 2. Sorpčná kapacita POH

Pôdna organická hmota spolu s ílovou frakciou pôdy sú základnou mierou zodpovedné za kationovú výmennú kapacitu. Thompson a kol. (1989) uvádza, že najvyššia kationovo výmenná kapacita je spojená s organo-minerálnou ílovou frakciou. Kahle a kol (2002) zistil, že po odstránení organického uhlíka z pôdy sa kationovo výmenná kapacita pôdy znížila o 54 %. Oorts a kol. (2003) uvádza rozdielnu kationovo výmennú kapacitu v rozdielnych zrnitostných frakciách, pričom zistil, že najjemnejšie zrnitostné frakcie sú zodpovedné za 76-90% celkovej kationovo výmennej kapacity pôdy. Viacerí autori uvádzajú, že najjemnejšie zrnitostné frakcie disponujú vysokým zastúpením pôdneho organického uhlíka (Kukunen a Landrum, 1996, Barančíková a Krauss, 2000). Kationovú výmennú kapacitu vo veľkej miere ovplyvňuje aj chemické zloženie hlavne humifikovanej pôdnej organickej hmoty. Partif a kol. (1995) zistil, že najväčšou mierou k tvorbe kationovej výmennej kapacity prispievajú karboxylové skupiny.

### 2.1. Teoretický základ sorpčných vlastností pôdnej organickej hmoty

#### 2.1.1. Elektrochemické vlastnosti POH

Je dobre známe, že humínové a fulvokyseliny majú amfotérny charakter, teda sú schopné interagovať s kyselinami i bázami. HL disponujú kladnými a zápornými nábojmi, ktoré sa tvoria ionizáciou alebo disociáciou rôznych funkčných skupín. Negatívne náboje sú atribútom disociácie protónov karboxylových a fenolových funkčných skupín. Vo všeobecnosti, tieto dve funkčné skupiny kontrolujú elektrochemické chovanie humusových látok a sú hlavnou príčinou adsorpčných, kationo-výmenných, komplexných a chelatačných reakcií (Tan, 2003). Úroveň elektrochemických nábojov nie je ovplyvňovaná len stupňom ionizácie aktívnych funkčných skupín, ale závisí tiež na koncentrácií a relatívnej distribúcií týchto funkčných skupín v molekule. Je dobre známe, že celková kyslosť FK je vyššia ako HK. To však neznamená, že fulvokyseliny majú vyššiu chemickú aktivitu ako humínové kyseliny. Výsledky štúdií chelatačných a komplexačných analýz ukazujú, že chelatacia kovov humínovými kyselinami je účinnejšia ako fulvokyselinami (Lombardini, 1994). Vysvetľuje sa to tým, že v dôsledku väčšej a komplexnejšej chemickej štruktúry disponujú HK väčším počtom väzobných miest ako menšie a menej komplexné FK.

Protonizáciou amino skupín sa vytvárajú kladné náboje v HL (Tan, 2000). Kladné náboje v HL majú menšiu dôležitosť ako negatívne náboje, nakoľko počet  $\text{NH}_2$  skupín je podstatne nižší ako počet iónových skupín s kyslíkom (Tan, 2000).

#### 2.1.2. Chemické reakcie a interakcie POH

V dôsledku elektrochemických vlastností sú HK schopné poskytovať široké spektrum interakcií s ílovou zložkou pôdy, s fosfátmi, rôznymi anorganickými zložkami, napr. kovmi,



organickými xenobiotikami ale aj prírodnými zložkami. Tieto reakcie plnia dôležitú úlohu v pôdnej úrodnosti, výžive rastlín, pri detoxifikácii pôdy a teda komplexne ovplyvňujú kvalitu pôdy. Adsorpčné i komplexné reakcie sa uskutočňujú predovšetkým vodíkovými alebo kovovými mostíkmi, teda procesom, ktorý umožňuje interakciu dvoch negatívne nabitých častíc. Interakcia medzi HK a ílom sa tiež vytvára vodíkovými alebo kovovými mostíkmi a tieto interakcie sa nazývajú koadsorpcia. Na rozdiel od ílových minerálov a oxidov kovov, pôdna organická hmota, vďaka svojej heterogénnej štruktúre je okrem iónových látok (napr. ťažkých kovov) schopná interagovať aj s nepolárnymi organickými kontaminantmi akými sú PAU resp. PCB. Interakcie humínových látok s iónovými alebo nepolárnymi látkami sú spôsobené viacerými typmi väzieb (Tan, 2003, Veselá a kol. 2005, Skokanová a Dercová, 2008b):

*Iónová väzba.* Tento typ väzby vychádza z pôsobenia elektrostatických síl medzi fixnými nábojmi prítomných funkčných skupín a iónmi vyskytujúcimi sa v roztoku. Vznik elektrostatickej väzby sa dá u humínových látok predpokladať napr. v prípade alkalických kovov a amoniaku.

*Koordináčna väzba.* Na vzniku koordináčnych väzieb sa v humínových látkach najviac podieľajú karboxylové a fenolické funkčné skupiny, kde zastúpenie týchto dvoch funkčných skupín je okrem iného ovplyvnené hodnotou pH, a tým aj mierou disociácie týchto funkčných skupín. V slabo kyslej oblasti sa na vzniku koordináčnych väzieb podieľajú najmä karboxylové skupiny a k nim sa pri zvýšení pH nad 7 a po disociácii protónu z fenolického hydroxyly pridávajú aj tieto funkčné skupiny.

*Vodíkové mostíky.* Aj napriek skutočnosti, že presná štruktúra humínových látok zostáva stále nedoriešená, je možné predpokladať na základe preukázanej prítomnosti niektorých funkčných skupín (amidová, laktámová, nitrilová) možnosť vzniku vodíkových mostíkov. Tieto väzby sa aj napriek svojmu nízkemu energetickému obsahu môžu významne podieľať na väzbových schopnostiach medzi humínovými látkami a kontaminantami.

*Hydrofóbne interakcie.* Tento typ väzby vzniká pri kontakte nepolárnych skupín (napr. alkylových) nesených molekulami, ktoré sa nachádzajú vo vodnom roztoku, kde tieto interakcie môžu napr. vychádzať z pôsobenia van der Waalsových síl alebo presunu  $\pi$ -elektrónov. Hydrofóbne interakcie sú najčastejšou predpokladanou väzbovou interakciou humínových látok s hydrofóbnymi a alifatickými kontaminantami.

*Kovalentná väzba.* Interakcie vedúce ku vzniku kovalentných väzieb môžu byť rozdelené na dve skupiny – reakcie prebiehajúce bez využitia aktivity enzýmov a reakcie s využitím biokatalýzy. Z hľadiska sanácie pôd kontaminovaných polyaromatickými uhl'ovodíkmi je možnosť kovalentnej väzby na humínové látky zvlášť zaujímavá, pretože sa tu jedná o stabilnú väzbu na polymérnu štruktúru, o ktorej je preukázané, že je nemutagénna a v jej prítomnosti dokonca aj niektoré mutagénne látky znižujú svoju mutagenitu. Možnosť vzniku kovalentnej väzby medzi makromolekulárnou štruktúrou humínových látok a kontaminantu je z praktického hľadiska predpokladom k imobilizácii kontaminantu. V tejto súvislosti je dôležité poznať, či proces vedúci ku vzniku kovalentnej väzby môžeme považovať za reverzibilný alebo ireverzibilný.

### 2.1.3. Katiónová výmenná kapacita (KVK) POH

Celková katiónová výmenná kapacita HL je definovaná ako súčet stálej a permanentnej KVK. Na rozdiel od ílových minerálov, u ktorých je definovaná určitá maximálna hodnota KVK, humínové kyseliny sú schopné neustále ju zvyšovať. KVK humínových látok sa zvyšuje so zvyšovaním pH v dôsledku ionizácie karboxylových ale predovšetkým hydroxylových skupín pri vysokých hodnotách pH. KVK HL sa teda zvyšuje so zvyšovaním negatívnych nábojov v dôsledku zvýšenia ionizácie fenolových skupín pri

vysokých hodnotách pH. Je potrebné poznamenať, že pri extrémne vysokých hodnotách pH (12-13) môže dochádzať k rozkladu HL v dôsledku hydrolyzy (Tan, 2003).

## 2.2. Vplyv sorpčnej kapacity POH pri detoxifikácii pôdy

Ako bolo vyššie spomenuté sorpčná kapacita POH ovplyvňuje mnoho dôležitých pôdnych procesov. V tejto práci sa zameráme predovšetkým na jej vplyv pri detoxifikácii pôdneho prostredia, nakoľko táto oblasť výskumu je predmetom záujmu nášho ústavu už niekoľko rokov, čoho výsledkom sú viaceré PhD práce a články, ktoré boli publikované na túto tému.

### 2.2.1. Sorpcia ťažkých kovov na HK

Ako bolo v teoretickej časti uvedené, napriek vyššej hodnote celkovej kyslosti fulvokyselín, účinnejšie viažu ťažké kovy (ŤK) humínové kyseliny.

Excelentné sorpčné vlastnosti HK, ktoré závisia na ich chemickej štruktúre, uvádzajú mnohí autori (Mestek a Volka, 1993, Barančíková a kol., 1997, Santos a kol., 2002). Kovy majú tendenciu vytvárať rozdielne komplexy s organickou hmotou (humínovými a fulvokyselinami) v pôdach v závislosti od charakteru kovu (Clapp a kol., 2001). Napríklad meď je viazaná neprístupne, hlavne v dôsledku tvorby komplexov, zatiaľ čo kadmium je vo vymeniteľnej forme a je ľahko prístupný (Mestek a Volka, 1993). Zhang (Zhang a kol., 1997) zistil signifikantné lineárne korelácie medzi organickou hmotou a všetkými formami Cu a Zn, na základe čoho usudzuje, že tieto kovy majú silnú afinitu k POH. Osterberg (Osterberg a kol., 1999) uvádza, že HK komplexy s Cu sú charakterizované veľmi pomalou rýchlosťou rozpustnosti, predovšetkým preto, že Cu ióny difundujú do HK častíc a sú viazané na miesta, odkiaľ sa veľmi ťažko uvoľňujú.

Nielen množstvo, ale aj kvalita organickej hmoty (chemická štruktúra) zohráva významnú úlohu pri jej interakciách s kovmi. Významné Spearmanove korelácie medzi mobilnými a potenciálne mobilnými frakciami kovov a optickým kvocientom, ktorý odráža štruktúru HK zistila Makovníková (2000). Preston (1996) zasa uvádza, že pík medzi 51 a 54 ppm z  $^{13}\text{C}$  NMR spektier, ktorý patrí CH alifatickým uhlíkom bol kladne korelovaný s podmienenou konštantou stability pre kadmium. Kladné signifikantné korelácie medzi mobilnou frakciou Cd a alifatickou časťou HK a zároveň záporné korelácie medzi mobilnou frakciou Cd a aromatickou časťou HK, resp. stupňom aromaticity stanovenými z  $^{13}\text{C}$  NMR spektier uvádzajú aj Barančíková a Makovníková (2003). Na základe týchto zistení sa dá predpokladať, že kadmium je prednostne viazaný na alifatické štruktúry, ktoré prevládajú vo vode rozpustných humínových látkach.

Sorpciou kademnatého katiónu na HK izolované z rôznych pôdnych typov v závislosti od pH prostredia sme sa detailnejšie zaoberali aj na našom pracovisku. Ako bolo v teoretickej časti uvedené, disociácia je závislá na pH prostredia a stupeň disociácie funkčných skupín pri danom pH sa odráža v sorpčnej kapacite humínovej kyseliny. Podľa Andersona a Christensena (1988) dochádza pri kladnej zmene pH v priemere o jednotku k štvornásobnému zvýšeniu sorpcie na humínové kyseliny. V našom prípade bolo takéto zvýšenie sorpcie pozorované pri zmene pH z 3 na 4 u pôdnych HK (černozeme 4x, kambizem 3,5x). V slabo kyslej oblasti pH (4-5) došlo k výrazne nižšiemu nárastu sorpcie kadmia na jednotkovú zmenu pH, a to 2-násobnému nárastu v prípade pôdnych HK.

Viacerí autori (Yong, 1992, Mestek a Volka, 1993) poukazujú pri sorpcii kadmia na HK na kľúčovú úlohu hydroxylových skupín -OH. Ako najvýznamnejšie sa z tohto hľadiska uvádzajú karboxylové skupiny -COOH a fenolické -OH skupiny (Tan, 2003). Fenolické -OH

skupiny začínajú disociovať protóny až pri pH 9, preto ich príspevok k sorpcii Cd v kyslom rozsahu pH môžeme zanedbať. Disociačná konštanta skupín –COOH je podstatne nižšia ( $pK_a=3$ ), takže 99% ionizácia karboxylových skupín je dosiahnutá už pri pH=5. Stevenson (1982) udáva, že u HK nastáva maximálna ionizácia karboxylových skupín s rôznou mierou kyslosti pri pH 7,65 a karboxylové skupiny považuje za najvýznamnejšie, ak nie jediné skupiny zodpovedné za väzbu Cd na HK.

Rozdielne množstvo karboxylových skupín aspoň z časti vysvetľuje rozdiely v sorpcii Cd medzi HK černoze a kambize. Približne konštantný pomer medzi sorpčnými maximami HK černoze a kambize pri jednotlivých hodnotách pH (pri pH 3,4,5 je tento pomer 3,4; 4,0; 3,8) nasvedčuje tomu, že rozdiel v sorpcii by mohol byť spôsobený iba ich počtom. Z tejto práce teda vyplýva, že za sorpciu Cd na humínové kyseliny zodpovedajú v kyslej oblasti karboxylové skupiny, ktorých 50% disociácia nastáva približne pri pH 3,5. Disociáciou vznikajú záporne ionizované sorpčné miesta, ktoré umožňujú naviazanie kationov, v našom prípade  $Cd^{2+}$ . Popri počte karboxylových skupín na jednotku hmotnosti HK je však pravdepodobne významné aj ich štruktúrne usporiadanie, ktoré spôsobuje, že HK s podobným počtom a kyslosťou karboxylových skupín sa správajú pri zmene pH prostredia odlišne (Madaras a kol., 2004).

Viacero literárnych zdrojov (Zhang a kol., 1997, Santos a kol., 2002, Tan, 2003) uvádza, že meď je predovšetkým viazaná na organickú hmotu. Naviac, naše predchádzajúce práce (Makovníková, 2000, Barančíková a Makovníková, 2003) potvrdzujú dôležitosť chemického zloženia POH, nakoľko bolo zistené, že štvrtá frakcia medi (meď viazaná na POH) je prednostne viazaná na organickú hmotu s vysokým stupňom humifikácie. Táto skutočnosť bola potvrdená signifikantnými negatívnymi Spearmanovými koreláciami medzi Cu IV a pomerom H/C, resp. alifatickým uhlíkom a pozitívnymi koreláciami s obsahom uhlíka a stupňom aromaticity HK. Preston (1996) tiež uvádza, že väzba kovu na POH sa zvyšuje s vyšším zastúpením aromatických uhlíkov v štruktúre POH.

Významným väzobným miestom kovov na POH je množstvo funkčných skupín, z ktorých najvýznamnejšiu úlohu zohrávajú karboxylové skupiny (Tan, 2003). Túto skutočnosť potvrdzujú aj mnohí ďalší autori (Clapp a kol., 2001, Mestek a Volka, 1993, Coccozza a kol., 2002) ako aj naše predchádzajúce výsledky (Barančíková a kol., 1997, Barančíková a Makovníková, 2003).

### 2.2.2. Sorpcia organických polutátov na HK

Osud xenobiotík v pôdnom prostredí je determinovaný množstvom fyzikálnych, chemických a biologických faktorov. Pri sorpcii xenobiotík v pôdnom prostredí rozoznávame dve možnosti:

- **absorpciu** (absorbovaná chemikália môže byť z pôdy uvoľnená ako voda zo špongie)
- **adsorpciu** (chemikália je adsorbovaná na pôdne častice a jej uvoľnenie v takomto prípade je nepravdepodobné)

pričom **adsorpcia** je pravdepodobne najdôležitejší spôsob interakcie medzi pôdou a xenobiotikami (Gevao a kol. 2000)

Vo všeobecnosti sa sorpcia xenobiotík v pôdnom prostredí uskutočňuje na minerálnej a organickej zložke pôdy. Súčasné výskumy však jednoznačne potvrdzujú kľúčovú úlohu organického uhlíka pri sorpcii hydrofóbných, ako aj polárnych organických xenobiotík (Kozák a kol. 1992, Spiteller a Haider, 1997, Stangroom a kol. 2000). Nakoľko organická hmotu sa uvádza pri organických kontaminantoch ako primárny sorbent, distribučný koeficient  $K_d$  je normalizovaný na obsah organického uhlíka v pôde –  $K_{oc}$  (Weber, 1995). Pri

sorpcii zohráva dôležitú úlohu kvalita pôdnej organickej hmoty. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že vo vzťahu k organickým kontaminantom majú humínové kyseliny v porovnaní s fulvokyselinami vyššiu sorpčnú schopnosť (Stangroom a kol. 2000). Veľkosť sorpcie organických kontaminantov tiež jednoznačne závisí od vnútornej chemickej štruktúry humínových kyselín. Dousset (Dousset a kol. 1994) dokonca uvádza, že sorpcia triazínov nesúvisí s obsahom ílu, resp. POC, ale so stupňom humifikácie pôdnej organickej hmoty. Objavujú sa tiež práce, (Spiteller a Haider, 1997, Lassen a Carlsen, 1997) ktoré uvádzajú interakcie medzi aromatickými štruktúrami pôdnej organickej hmoty a aromatickým kruhom kontaminantu, ale aj negatívne nabitými karboxylovými skupinami a rôznymi funkčnými skupinami kontaminantov. Aj v našich prácach boli zistené signifikantné lineárne korelácie medzi veľkosťou sorpcie PCB, resp. PCP a aromatickými štruktúrami pôdnej organickej hmoty (Barančíková a Gergel'ová, 1994, Barančíková a Szaboová, 1999). Rozdiely v sorpčnej kapacite 10 HK a FK pozoroval aj Nieder (Nieder a kol., 2007), pričom zistil, že uvedené rozdiely korelovali so stupňom aromaticity. Všeobecne môžeme konštatovať, že organická hmota s vyšším stupňom aromaticity, resp. vyššiou humifikáciou organickej hmoty má podstatne vyššiu schopnosť sorpcie organických kontaminantov.

Pôdna organická hmota umožňuje v priebehu humifikácie nielen sorpciu ale aj inkorporáciu (zabudovanie) mnohých organických xenobiotík, ktoré sú štruktúrne podobné humusovým látkam, pričom tieto reakcie sú signifikantným príkladom kombinácie biotických a abiotických komponentov pri transformácii xenobiotík. Poznatok, že v makromolekulovej štruktúre humínových látok môže dochádzať k trvalej fixácii kontaminantov kovalentnou väzbou je známy už pomerne dávno. Na prelome 70. a 80. rokov minulého storočia bola identifikovaná kovalentná väzba antracénu na HK izolované z pôdy znečistenej zmesou polyaromatických uhl'ovodíkov (Skokanová a Dercová, 2008b). Práce viacerých autorov potvrdili tvorbu kovalentných väzieb medzi inkorporovanými polutantami a štruktúrou humínových kyselín, (Marimoto a kol. 2000, Stynar a kol. 2002, Thiele a kol. 2002), ktorú potvrdzujú <sup>13</sup>C NMR merania xenobiotík zabudovaných v ich štruktúre (Preston, 1996) a tým podávajú jasný dôkaz o význame kvality pôdnej organickej hmoty pri takomto spôsobe abiotických transformácií xenobiotík.

Z uvedeného prehľadu jasne vyplýva, že množstvo a kvalita pôdnej organickej hmoty podstatne ovplyvňuje sorpciu resp. zabudovanie a teda imobilizáciu organických polutantov. Viacero prác potvrdilo vplyv takých chemických charakteristík HL ako je obsah aromatického resp. alifatického uhl'íka a molekulová hmotnosť HL na veľkosť sorpcie xenobiotík na HL (Chen a kol., 2007, Pitois a kol., 2008).

V súčasnosti sa však objavujú dôkazy, že nielen chemická charakteristika, ale aj fyzikálna štruktúra POH ovplyvňuje interakciu xenobiotík s humusovými látkami. Pan a kol. (2007) napr. zistil, že organická hmota toho istého chemického zloženia má rozdielne sorpčné charakteristiky v dôsledku jej rozdielnych fyzikálnych foriem, resp. konformácií. Pan (Pan a kol., 2008) v najnovšom súhrnom článku o sorpcii hydrofóbnych organických kontaminantov uvádza, že fyzikálna konformácia pôdnej organickej hmoty je rovnako dôležitá pri sorpcii ako jej chemické vlastnosti napriek tomu, že vzájomný vzťah medzi fyzikálnou konformáciou POH a jej sorpčnými charakteristikami zatiaľ nie je celkom objasnený.

### *2.3. Návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu jednotlivých pôdnych typov na základe vybraných parametrov chemickej štruktúry HK*

Ako bolo uvedené v teoretickej časti tejto práce, pôdna organická hmota, predovšetkým jej humifikovaná časť disponuje oveľa vyššou sorpčnou kapacitou ako ílové minerály. Nielen množstvo ale predovšetkým chemické zloženie a fyzikálna konformácia humusových látok sú z hľadiska sorpčnej kapacity tiež veľmi dôležité. Nakoľko fyzikálne

parametre, na základe ktorých sa stanovuje podiel „sklenených a gumových“ konformácií HL nie sú v rámci monitorovania detailnej štruktúry humusových látok sledované, návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu bude realizovaný na základe vybraných parametrov chemickej štruktúry HL. Z jednotlivých frakcií HL sú to predovšetkým humínové kyseliny, ktoré predstavujú významnú časť frakcie humifikovanej POH, pretože na rozdiel od FK a humínu, ktoré s podielajú 9, resp. 8 % na celkovom kolobehu uhlíka, podiel humínových kyselín je až 16 % (Doane a kol. 2003). Naviac, HK aj keď obsahujú nižšie množstvo funkčných skupín ako FK, disponujú vyššou chemickou aktivitou. Ako bolo v teoretickej časti uvedené, výsledky štúdií chelatačných a komplexačných analýz ukazujú, že chelatacia kovov humínovými kyselinami je účinnejšia ako fulvokyselinami. Ďalším dôležitým parametrom chemickej štruktúry, ktorý ovplyvňuje sorpčnú kapacitu HK je podiel aromatických štruktúr, ktoré zohrávajú významnú úlohu predovšetkým pri interakciách/inkorporáciách HK s organickými polutantami.

Pri hodnotení sorpčnej kapacity humusu navrhujeme využiť základné kvantitatívne a kvalitatívne parametre humusu, t. j. obsah pôdneho organického uhlíka (POC), Chk/Cfk – pomer uhlíka humínových a fulvokyselín a farebný kvocient  $Q_6^4$  a tiež vybrané parametre chemickej štruktúry HK, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú sorpčnú kapacitu HK – množstvo karboxylových skupín a stupeň aromatizácie ( $\alpha$ ), ktorý zohľadňuje aj stupeň humifikácie. Ako bolo v našich viacerých prácach uvedené (Barančíková a kol., 1997, Barančíková a Kubíková, 1998, Barančíková, 2002a, Barančíková, 2002b, Barančíková, 2004) kvalita POH a tým aj sorpčná kapacita HL je vyššia ak v POH prevládajú humínové kyseliny nad fulvokyselinami s nízkou hodnotou optického parametra  $Q_6^4$  a v HK je vysoký obsah karboxylových skupín a stupeň aromatizácie  $\alpha$ . Tabuľka 1 uvádza kategorizáciu sorpčnej kapacity humusu z hľadiska hodnôt základných kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov humusu a tabuľka 2, z hľadiska vybraných chemických parametrov humínových kyselín. Uvedená kategorizácia je modifikáciou našej predchádzajúcej práce návrhu hodnotenia kvality humusu (Barančíková, 2007), ktorý komplexne hodnotí kvalitu POH na základe všetkých parametrov sledovaných v rámci monitoringu pôdnej organickej hmoty. Návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu zohľadňuje iba tie parametre HL, ktoré priamo ovplyvňujú ich sorpčnú kapacitu. Vysoká sorpčná kapacita humusu je teda charakteristická pre lokality orných pôd s hodnotou POC väčšou alebo rovnou ako 2, s pomerom Chk/Cfk > 1 a hodnotou  $Q_6^4 < 4.5$ , ktoré disponujú vysokým obsahom karboxylových skupín ( $COOH > 4$ ) a stupňom aromatizácie ( $\alpha > 50$ ). V našich zemepisných šírkach sú to predovšetkým černoze, niektoré lokality karbonátových čierníc a časť andozemí, ktoré sa vo veľmi malej miere využívajú ako poľnohospodárske pôdy. Ak berieme do úvahy iba kvalitatívne parametre (a nie aj obsah POC) nízkou hodnotou sorpčnej kapacity disponujú predovšetkým podzoly, rankre a litozeme, ktoré sú však charakteristické vysokým obsahom organického uhlíka, čím kompenzujú jeho nízku kvalitu. Z poľnohospodársky využívaných orných pôd nízkou hodnotou sorpčnej kapacity humusu na základe vyššie uvedených parametrov disponujú predovšetkým pseudogleje, rendziny a časť kambizemí.

**Tab. 2** Návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu predovšetkým pre poľnohospodársky využívané orné pôdy

kategória	POC (%)	Chk/Cfk	$Q_6^4$	COOH (meq/1g HK)	$\alpha$ (%)
I.	$\geq 2$	$> 1$	$< 4.5$	$> 4$	$> 50$
II.	1.5 - 2	0.8 - 1	4.5 - 5	3 - 4	40 - 50
III.	$< 1.5$	$< 0.8$	$> 5$	$< 3$	$< 40$

- I. – vysoká hodnota sorpčnej kapacity humusu
- II. – stredná hodnota sorpčnej kapacity humusu
- III. – nízka hodnota sorpčnej kapacity humusu

Poznámka: Pôdny humus patrí do príslušnej kategórie aj v prípade ak spĺňa minimálne tri kvalitatívne parametre

## Záver

Pôdna organická hmota disponuje podstatne vyššou hodnotou sorpčnej kapacity ako ílové minerály, resp. oxidy kovov, ktoré sa v pôde nachádzajú. Z hľadiska sorpčnej kapacity POH dominantnú úlohu zohráva jej humifikovaná časť – pôdny humus. Humusové látky sú však mimoriadne heterogénnou zložkou POH a preto akákoľvek ich kategorizácia je neobyčajne náročná. V tejto práci sme sa pokúsili navrhnúť kategorizáciu sorpčnej kapacity humusu na základe hlavných kvantitatívnych ale aj kvalitatívnych parametrov humusu a vybraných parametrov chemickej štruktúry humínových kyselín, ktoré reprezentujú dominantnú kvalitatívnu zložku pôdneho humusu. Návrh hodnotenia sorpčnej kapacity humusu uvedený v tejto práci nie je komplexný, nakoľko okrem chemických parametrov nezohľadňuje aj fyzikálne konformácie HL, ktoré taktiež ovplyvňujú ich sorpčnú kapacitu. Napriek uvedenému nedostatku sa domnievame, že prezentovaný návrh môže vo veľkej miere pomôcť pri hodnotení sorpčnej kapacity humusu rôznych typov poľnohospodárskych pôd predovšetkým využívaných ako orné pôdy.

## Literatúra

- Anderson, P.K., Christensen, T.H.J., 1993: J. Soil Sci., 39, 1988, refered in: Mestek, O., Volka, K.: Interakce těžkých kovů s pudními složkami. Chemické Listy, 87, 795-806.
- Barančíková, G., Gergeľová, Z., 1995: Soil parameters influencing of PCB sorption. In: Van den Brink, W.J., Bosman, R. a Arendt, F. (eds.), Contaminated Soil 95, str. 357-358.
- Barančíková, G., Breková, V., Dluhoš, J. 1997: Retencia kadmia pôdami..Rostl. Výroba, vol. 43, str. 107-112.
- Barančíková, G. Kubicová, Z.: Hodnotenie množstva a kvality humusu na pôde s konvenčným a ekologickým hospodárením. Agrochémia, 2 (38), č. 4, 1998, str. 4-9
- Barančíková, G., Szaboová, J., 1999: PCP retention experiments on soils and humic acids. Vedecké práce VÚPOP, vol. 22, str. 5-11.
- Barančíková, G., Krauß, M.: Obsah organického uhlíka a dusíka vo vybraných typoch a ich zrnitostných frakciách. Agrochémia, č.1, 2000, str. 4-7.
- Barančíková, G., 2002a: Monitoring obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty In: Kobza, J. et all: Monitoring pôd Slovenskej republiky (Soil monitoring of Slovak republic). Bratislava: VÚPOP, str. 54-73
- Barančíková, G.2002b: Changes of humic acids structure on selected key monitoring localities of arable soils. Rostl. Výr., 48: 40-44
- Barančíková, G., Makovníková, J.: The influence of soil humic acid quality on sorption and mobility of heavy metals, Plant. Soil and Environment, vol.49, 12/2003. str. 565-571
- Barančíková, G.: Kategorizacja gleb uzytkowanych rolniczo na podstawie zawartosci i jakosci materii organicznej. In: Rola materii organicznej w srodowisku. Gonet,S.S., Markiewicz, M. (eds.). Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2007, Torun, str. 47-60, ISBN 83-919331-6-4
- Clapp, C.E., Hayes, M.H.B., Senesi, N., Bloom, P.R., Jardine, P.M.: Humic Substances and Chemical Contaminants. Soil Science Society of America, Madison, 2001, 502 pp.
- Cocozza, C., Miano,T.M. (2002): Structural resolution of metal-humic acids interactions through deconvolution FT-IR spectroscopy. Humic Substances: Natures's most versatile materials, Proceedings, Boston: 264-267.

- Christensen, R.F., Gjessing, E.T., 1983: Aquatic and Terrestrial Humic Materials. Ann Arbor Sci., The Butterworth group., Ann Arbor, MI.
- Chen, D.I., Xing, B.S., Xie, W.B., 2007: Sorption of phenanthrene, naphthalene and o-xylene by soil organic matter fractions. *Geoderma*, 139, 329-335.
- Dousset, S. Mouvet, C., Schiavon, M. 1994. Sorption of tetrabutylazine and atrazine in relation to the physico-chemical properties of three soils. *Chemosphere*, 28, s. 467-476.
- Doane, T.A., Devevre, O.C., Horwath, W.R., 2003: Short-term soil carbon dynamics of humic fractions in low-input and organic cropping systems. *Geoderma*, vol. 114, str. 319-33
- Gevao, B., Semple, K.T., Jones, K.C. 2000. Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental pollution*, 108, s. 3-14.
- Gildemeister, D., Schaumann, G.E., 2008: Impact of calcium cations on the formation of coordinative cross-linking in soil organic matter. *Eurosoil, 2008. Book of Abstract*, Blum, W.H., Geryabek, M.H. (eds.). Vienna, 2008, ISBN: 978-3-902382-05-04, str. 7
- Kahle, M., Kleber, M., Jahn, R., 2002: Prediction carbon content in illitic clay fractions from surface area, cation exchange capacity and dithionite-extractable iron. In: *Eurean J. Soil Sci.*, 53, pp.639-644.
- Kononovova, M.M., 1963: *Organičeskoje veščestvo počvy*. Moskva, Izdatel'stvo akademiji nauk SSSR, 312 str.
- Kukkunen, J., Landrum, P.F., 1996: Distribution of organic carbon and organic xenobiotics among different particle-size fractions in sediments. In: *Chemosphere*, 32, pp. 1063-1076.
- Kozák, J., Valla, M., Prokopec, O. a Vacek, O., 1992: Prediction of the role of soil organic matter and some other soil characteristics in herbicide adsorption. In: Kubát, J. (ed.): *Humus, its structure and role in agriculture and environment*, Elsevier, , str. 165-169.
- Lassen, P. a Carlsen, L., 1997: Interaction between humic substances and polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Drozd, J., Gonet, S.S., Senesi, N. Weber, J. (eds.): *The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection*. Wroclaw, str. 703-709.
- 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.*, 25, 2355-25369
- Makovníková, J., 2000: Relationship between selected soil parameters and available content of cadmium, lead, copper and zinc. (Slovak) *Rostl. Výr.*, 46: 289-296.
- Mestek, O., Volka K., 1993: Interaction of heavy metals with soil parameters. (Czech) *Chem. Listy*, 87: 95-806.
- Madaras, M., Barančíková, G., Makovníková, J., 2004: Influence of pH on Cadmium Sorption into Humic acids. In: Jambor, P. (ed.): *Vedecké práce č. 26, Proceedings*. Bratislava: VÚPOP, s. 159-165
- Morimoto, K.- Taysumi, K. Kuroda, K.I., 2000: Peroxidase catalyzed co-polymerization of pentachlorophenol and a potential humic precursor. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 1071-1077.
- Nieder, C., Schwarzenbach, R.P., Goss, K.U., 2007: Elucidating differences in the sorption properties of 10 humic and fulvic acids for polar and nonpolar organic chemicals. *Environ Sci. Technol.*, 41, 6711-6717

- Oorts, K., Vanlauwe, B., Merckx, R., 2003: Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100, pp. 161-171.
- Orlov, D.S., 1974: *Gumusovyje kisloty počv. Moskva, Iyd. MGU*, 334 p.
- Pan, B., Ning, P., Xing, B.S., 2008: Part IV-sorption of hydrophobic organic contaminants. *Environmental Science and Pollution research*, 15, 554-564.
- Osterberg, R., Wei, S., Shirsova, L., (1999): Inert copper ion complexes formed by humic acids. *Acta Chem. Scand.*, vol. 53, str. 172-180.
- Partiff, R.L., Giltrap, D.J., Whitton, J.S., 1995: Contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. In: *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26, pp. 1343-1355.
- Piccolo, A., 2001: The supramolecular structure of humic substances. *Soil Sci.*, vol. 166, str. 810-832
- Pitois, A., Abrahamsen, L., G., Ivanov, P.I., Bryan, N.D., 2008: Humic acids sorption onto a quartz sand surface: A kinetic study and insight into fractionation. *J. Coll. Inter. Sci.*, 325, 93-100.
- Preston, C.M., 1996: Applications of NMR to soil organic matter analysis: History and Prospects. *Soil Sci.*, 161, s. 144-166.
- Schulten, H.R., 1996: A new approach to the structural analysis of humic substances in water and soils. In: *Humic and Fulvic acids. Isolation, Structure, and Environmental Role.* (Gaffney, J.S., Marley, N.A., Clark, S.B. (eds.). ACS Symposium Series 651. American Chemical Society, Washington, DC, 42-46 str.
- Schulten, H.R., 2002: New approaches to the molecular structure and properties of soil organic matter: Humic-, xenobiotic-, biological-, and mineral-bonds. In: *Soil Mineral-, Organic Matter- Microorganisms Interactions and Ecosystem Health. Dynamics, Mobility and Transformation of pollutants and Nutrients.* Violante, A., Hzuang, P.M., Bolag, J.M., Gianfreda, L. (eds.). *Development in Soil Science 28A.* Elsevier, Amsterdam., 351-381 str.
- Santos, A., Bellin, I.C., Corbi, P.P., Cuin, A., Rosa, A.H., de Oliveira Resende, M.O., Rocha, J.C., Melnikov, P. (2002): Complexation of metal ions by humic substances and  $\alpha$ -amino acids. A comparative study. *Humic Substances: Nature's most versatile materials*, Proceedings, Boston: 271-273.
- Schaumann, G.E., Gildemaister, D., Diehl, D., Schwartz, J., 2008. The three-dimensional structure of soil organic matter. *Eurosoil, 2008. Book of Abstract*, Blum, W.H., Geryabek, M.H. (eds.). Vienna, 2008, ISBN: 978-3-902382-05-04, str. 88.
- Skokanová, M., Dercová, K., 2008a: Pôvod a štruktúra humínových kyselín. *Chem. Listy*, 102, 262-268.
- Skokanová, M., Dercová, K., 2008b: Humínové kyseliny. Interakcie humínových kyselín s kontaminantami. *Chem., Listy*, 102, 338-345.
- Stevenson, F.J. 1994: *Humus Chemistry: Genesis, Composition, reactions*, 2nd ed. Wiley, New York, 496 str.
- Spiteler, M. a Haider, K., 1997: Characterization of the interaction of natural organic matter and xenobiotics. In: Drozd, J., Gonet, S.S., Senesi, N. Weber, J. (eds.): *The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection.* Wroclaw, str. 689-695.
- Stangroom, S.J., Lester, J.N., Collins, C.D., 2000: Abiotic behaviour of organic micropollutants in soils and the aquatic environment. A review: I. Partitioning. *Environ. Technol.*, vol. 21, str. 845-863.
- Stynar, M.J.-Dec, J.-Bollag, J.M., 2002: Anaerobic/aerobic composting of soil contaminated with 2,4,6-trinitrotoulene *Bioremediation J.* 6, 177-190.



- Tan, K.H., (2000): Environmental Soil Science. Second edition. Marcel Dekker, New York.
- Tan, K.H., 2003: Humic Substances in Soil and the Environment, Marcel Dekker, New York, 386 p.
- Thiele, S.,Ferdinandes,E.,Bollag, J.M., 2002: Enzymatic transformation and binding of labeled 2,4,6-trinitrotoulene to humic substances during an anaerobic/aerobic incubation. J. Enviro. Quality, 31, 437-444.
- Thomson, M.L., Zhang, H.,Kazemi, M., Sandor, J.A. 1989: Contribution of organic matter to cation exchange capacity and specific surface area of fractionated soil materials.In: Soil Sci., 148, pp. 250-256.
- Veselá, I., Kubal, M., Kozler, J., 2005: Structura a vlastnosti prírodných humínových látok typu oxihumolitu. Chem., Listy, 99, 711-717.
- Yong R.N., Mohamed A.M.O., Warkentin B., 1992: Principles Contaminant Transport in soils, Elsevier
- Weber, J.B., 1995: Physicochemical and mobility studies with pesticides. In: Leng, M.L., Leovey,E.M.K. a Zubkoff, P.L.: Agrochemical environmental fate, Lewis Publishers, Boca raton, str. 99-115.
- Zhang, M., Alva, A.K., Li, C., Calvert, D.V.1997: Chemical association of Cu, Zn, Mn and Pb in selected sandy citrus soils. Soil Sci., 162,:181-187.

## **Rok 2009**

### **Charakteristika organických foriem biogénnych prvkov (C, P) na základe výsledkov <sup>13</sup>C, <sup>31</sup>P, NMR HK hlavných pôdných typov Slovenska**

Práca zhrňuje výsledky 15 ročného využívania spektrálnej metódy nukleárnej magnetickej rezonancie predovšetkým izotopu uhlíka <sup>13</sup>C pri detailnej charakteristike jednej z najdôležitejších zložiek pôdnej organickej hmoty – humínových kyselín v rámci podrobného hodnotenia kvality POH v procese jej monitoringu. V práci sú analyzované všetky základné štruktúrne formy uhlíka, ktoré sa v chemickej štruktúre HK nachádzajú, a z ktorých sa vypočítavajú komplexné charakteristiky (% alifatického a aromatického uhlíka, stupeň aromaticity) využívané pri hodnotení zmien v kvalite POH. V práci uvádzame aj využitie nuklidu <sup>31</sup>P na detailnú charakteristiku jednotlivých foriem fosforu v pôdnej organickej hmote.

Nakoľko práca má charakter review našich 15 ročných výsledkov jednotlivé čiastkové poznatky boli publikované v mnohých našich prácach (viď publikácie).

### **Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení**

V práci bolo potvrdené, že oblasť Žiarskej kotliny patrí medzi najviac zaťažené územia SR. V pôdach sa nepriaznivý stav prejavuje aj v súčasnosti. Najviac zaťažené pôdy sa nachádzajú v blízkosti hlinikárne na rovinatých prvkoch reliéfu pozdĺž rieky Hron, čiastočne i na nižších terasách. Bolo zistené, že celkovo 624 ha poľnohospodárskej pôdy je aktuálne nadlimitne kotaminovaných vodorozpustnou formou fluóru. Na základe dosiahnutých výsledkov bolo zistené, že i napriek zlepšovaniu emisnej situácie na danom území, dekontaminácia pôdy a jej celkové ozdravenie s obnovením jej produkčných i mimoprodukčných funkcií je proces oveľa dlhodobější a vyžaduje systémový prístup (nie jednorázové opatrenie).

Práca bola publikovaná:

Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2009. Komplexné zhodnotenie

aktuálneho stavu senzitivneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 86 s., ISBN 978-80-89128-53-2.

### **Monitoring pôd SR**

V publikácii je zahrnutý stav a vývoj vlastností pôd od začiatku realizácie monitoringu pôd na Slovensku, t.j. od roku 1993. Najvýraznejšie zmeny boli zistené pri obsahu prístupných živín (v smere ich úbytku), ale aj pri kompakcii a erózii pôd. Mierny úbytok pôdnej organickej hmoty bol zistený na orných pôdach. Menej výrazné zmeny boli zistené pri kontaminácii pôd, čo znamená, že pôdy, ktoré boli v minulosti kontaminované, sú kontaminované aj v súčasnosti. Súčasťou publikácie je aj návrh regulačných pôdoochranných opatrení.

Práca bola publikovaná:

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., Tóthová, G. 2009. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. VÚPOP Bratislava, 200 s. ISBN 978-80-89128-54-9.

### **13. ZOZNAM VYPRACOVANÝCH SPRÁV RIEŠITEĽSKÉHO KOLEKTÍVU K ÚLOHE ZA DOBU JEJ RIEŠENIA**

- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M., Vojtáš, J. 2006. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2006, VÚPOP Bratislava, 163 s.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková, Z., Styk, J., Širáň, M. 2007. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2007, VÚPOP Bratislava, 157 s.
- Kobza, J., Barančíková, G., Bezáková, Z., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M. 2008. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Priebežná správa za rok 2008. VÚPOP Bratislava, 111 s.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Mališ, J., Styk, J., Širáň, M. 2009. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Záverečná správa za rok 2009. VÚPOP Bratislava.

#### 14. ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA SPRÁVY A RIEŠITEĽSKÉHO KOLEKTÍVU K PREDMETNEJ PROBLEMATIKE ZA DOBU RIEŠENIA ÚLOHY (2006 – 2009)

Zodpovedný riešiteľ doc. Ing. Jozef Kobza, CSc.

##### *Publikácie za r. 2006:*

- Kobza, J.,** Major, I.: Comparison of podzolic soils in different geographical and climatic conditions and problem of their classification. In: Ved. práce VÚPOP č. 27, pp. 51-58, 2005 (vyšlo v r. 2006).
- Kobza, J.:** Soil pollution and risk management in relation to soil protection strategy in Slovakia. In: Inter. Conf. on: Soil Protection Strategy – needs and approaches for policy support. Book of Abstracts 9. – 11.3.2006, s. 8, Pulawy (Poľsko).
- Kobza, J.:** Postavenie a význam monitoringu pôd pri ich ochrane a využívaní v európskom kontexte. In: Zborník prednášok VII. zjazdu Slov. spoločnosť pre poľnohosp., les, potravinárske vedy pri SAV, Bratislava 8.9.2005, D. Pedolog. sekcia, 2005 (vyšlo v r. 2006), s. 29-31.
- Kobza, J.:** Nestaviame len na histórii. Roľ. noviny č. 35, str. 11 zo dňa 25.8.2006.
- Kobza, J.:** Monitoring pôd ako základný zdroj aktuálnych informácií pre ochranu a využívanie pôd SR. In: Pedogeneze a kvalitatívni zmeny pôd v podmienkach prírodných a antropicky ovplyvnených území. Zborník abstraktov z 11. pedolog. dní, Kouty nad Děsnou, ČR, 20. – 21.9.2006, s. 13.
- Kobza, J.:** Monitoring pôd ako základný zdroj aktuálnych informácií pre ochranu a využívanie pôd SR. Zborník príspevkov (CD-rom). 11. pedolog. dny, Kouty nad Děsnou, ČR, 20. – 21.9.2006.
- Kobza, J.,** Barančíková, G., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M., Vojtáš, J.: Návrh regulačných pôdoochranných opatrení z výsledkov monitoringu pôd SR. VÚPOP Bratislava, 2005 (vyšlo v r. 2006), 24 s. ISBN 80-89128-21-1.
- Kobza, J.:** 40 rokov organizovaného pedologického výskumu na strednom Slovensku. Enviromagazín č. 5, roč. 11/2006, s. 23-24.
- Kobza, J.:** Iniciatíva EU v oblasti monitoringu pôd a jej význam pri stratégii ochrany a využívania pôd SR. In: Zborník ref. „Monitorovanie a hodnotenie stavu ŽP VI“. TU Zvolen, s. 219-223.
- Kobza, J.:** EU Initiative on Soil Pollution Monitoring and its Present State in Conditions of Slovakia. In: Zborník ref. medzinárod. konf. „Zem v pasci“. Krpáčovo 26. – 28.4.2006 s. 57-58.
- Kobza, J.:** ČMS-Pôda ako zdroj aktuálnych informácií pre environmentálne hodnotenie pôdy a krajiny v SR a EU. TU Zvolen 18. – 20.10.2006 Zborník prednášok (CD rom). Enviro-i-forum.
- Kobza, J.:** Creation of some phenomenas of soil degradation under influence of anthropization in the Aluminium Plant Surroundings near Žiar nas Hronom. Phytopedon 2006 (t.č. v tlači).
- Kobza, J.:** Some features of soils forming under (semi) hydromorphic conditions. Ved. práce VÚPOP Bratislava č. 28 (t.č. v tlači).
- Kobza, J.:** Pôdne pomery poľnohospodárskej krajiny Pienin. Medzinárod. monografia s Poľskom (t.č. v tlači).
- Kobza, J.:** Basic properties of some dark-coloured soils in non-chernozem conditions of the Slovak Republic. Poľnohospodárstvo.

**Publikácie r. 2007:**

- Kobza, J.** (2006) – vyšlo v r. 2007: Creation of some phenomenas of soil degradation under influence of anthropization in the Aluminium plant surroudings near Žiar nad Hronom. *Phytopedon (Bratislava)*, Vol. 5, 2006/1, pp. 17-23
- Kobza, J.** (2007): Comparison of podzolic soils in different geographical and climatic conditions. In: Zborník abstraktov „Soil processes under extreme meteorological conditions“ 25. – 28.2.2007, Bayreuth, Nemecko, pp. 80
- Kobza, J.** (2007): Pôdne procesy a globálna klimatická zmena. *Roľ. noviny* 12/2007, 23. marca 2007, s. 11
- Kobza, J.** (2007): Different properties of some dark-coloured soils in non-chernozem conditions of Slovakia. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 53, 2007 (2): 97 – 101
- Kobza, J.** (2006) – vyšlo v r. 2007: Some features of soils forming in (semi) hydromorphic conditions. *Ved. práce VÚPOP Bratislava*, č. 28, s. 49-53
- Morvan, X., Arrouays, D., **Kobza, J.** et al. (2007): ENVASSO project (6. FP) – WP 2 Inventory and Monitoring Report. Orléans, France, march 2007, 124 pp.
- Kobza, J.** (2007): Monitoring pôd SR a tvorba nových informácií pre stratégiu ochrany a využívania pôd v SR a EU. In: Zborník abstraktov 1. konf. Českej a slov. pedolog spoločnosti, Rožnov pod Radhoštěm (20. – 23.8.2007), s. 93
- Kobza, J.**, Bezák, P., Hrivňáková, K., Medveď, M., Načiniaková, Z. (2007): Kritériá pre identifikáciu rizikových oblastí kontaminácie poľnohospodárskych pôd a metodické postupy ich hodnotenia. *VÚPOP Bratislava*, sept. 2007, 40 s. ISBN 978-80\_89128-35-8
- Kobza, J.** (2007): Monitorovanie vývoja kvality pôd v podmienkach SR. In: „Pôda pre všetkých“ *VÚPOP Bratislava*, s. 5-8
- Kobza, J.** (2007): Monitoring pôd a ich kvalita na Slovensku. *Enviromagazín* č. 4, roč. 12, 2007. s. 26-27
- Kobza, J.** (2007): Význam a hodnotenie pôd trávnych ekosystémov Slovenska. In: *Ekológia trávneho porastu VII. Zborník abstraktov*. 28. – 30.11.2007. SCPV-VUTPHP Ban. Bystrica, s. 19
- Kobza, J.** (2007): Position and evaluation of soils under grassland ecosystems in Slovakia. In: *Grassland Ecology VII. Book of proceedings (full papers)*. Zborník príspevkov. SCPV-VUTPHP Ban. Bystrica, 28. – 30.11.2007, s. 63-71. ISBN 978-80-88872-69-6
- Morvan, X., Richer de Forges, Arrouays, D., Kibblewhite, M., Stephens, M., Arnoldussen, A.H., **Kobza, J.** et al. (2007): *Étude et Gestion des Sols*, 14, 4, 2007, 12 pp., Ardon, Olivet France
- Morvan, X., Saby, N.P.A., Arrouays, D., Le Bas, C., Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Bellamy, P.H., Stephens, M., Kibblewhite, M.G., **Kobza, J.** et al. (2007): Soil monitoring in Europe: A review of existing systems and requirements for harmonisation. *Science Direct, Sci. Total Environ.* (2007), 12 pp. Published by Elsevier
- Kibblewhite, M.G., Rubio, J.L., Kosmas, C., Jones, R., Arrouays, D., Huber, S., Verheijen, F., **Kobza, J.** et al. (2007): Environmental assessment of soil for monitoring desertification in Europe. Madrid, Spain, sept. 2007, 64 pp. Printed in Cranfield University, UK, ISBN 1-871315-97-2
- Lilja, H., Boixadera, J., Dobos, E., **Kobza, J.** et al. (2007): Decline in Soil Organic Matter. ENVASSO, Deliverable 6, Draft Procedures and Protocols Report. Cranfield University, UK, 172 pp

- Meridium, Kft. (MR), **Kobza, J.** (2007): A Bodrogeköz talajviszonyai és talajtani a datbázisa, Miskolc, Hungary, 39 pp.
- Kobza, J.**, Dobos, E. (MR) (2007): Medzibodrožie – pôdne pomery a databáza. Prešov – Miskolc, 31s.
- Kobza, J.** (2007): Aktuálny stav fluóru v pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom. In: Ved. práce VÚPOP Bratislava, č. 29, s. 67-72.

**Publikácie r. 2008:**

- Kobza, J.** 2007. (Vyšlo v roku 2008). Aktuálny obsah fluóru v pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom. In.: Ved. Práce č. 29, VÚPOP Bratislava, s. 67-72.
- Dobos, E., Terek, J., **Kobza, J.** et al. 2008. Élet a folyók között. A Bodrogeköz tájhasználati monográfiája. Miskolci Egyetem, Kft. Miskolc, 198 pp. ISBN: 978 963 064 2644.
- Terek, J., **Kobza, J.**, Dobos, E. et al 2008. Život medzi riekami. Monografia krajinného manažmentu Medzibodrožia. Univerzita Miskolc, 2008, 206 s. ISBN: 978 963 064 2651
- Kobza, J.** 2008. Criteria for identification of contaminated sites and actual state of soil contamination in Žiarska kotlina (depression). Inter. Conf. „Contaminated sites“ Bratislava 2008. Conference Proceedings, Vol. 2: Scientific Articles, pp. 54-58.
- Kobza, J.** 2008. Criteria for Identification of Contaminated Sites and Actual State of Soil Contamination in Žiarska kotlina (depression). Inter. Conf. „Contaminated sites“, Bratislava, 2008, Conf. Proceedings, Vol. 1, Selected Lectures, pp. 78-88.
- Kobza, J.** 2008. Aktuálny obsah a vývoj fluóru v poľnohosp. pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom: „Monitorovanie a hodnotenie stavu ŽP VII“ TU Zvolen 2008, s. 39-44.
- Garcia-Gil, J.C., **Kobza, J.**, Polo, A. 2008. Long-term effects of soil pollution near an Aluminium smelter on microbial biomass, soil respiration and enzyme activities. The Journal of Solid Waste Technology and Management, Chester, PA 19013-5792 U.S.A.
- Kobza, J.** a kol. 2008. Čiastkový monitorovací systém- Pôda. Výsledky za 3. monitorovací cyklus. VÚPOP Bratislava, t.č. v tlači
- Kobza, J.** Gáborík, Š. 2008. Súčasný stav a vývoj obsahu makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPOP Bratislava, 2008, 58 s. ISBN 978-80-89128-47-1
- Kobza, J.** a kol. 2008. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitívneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdochranných opatrení. VÚPOP Bratislava
- Kobza, J.** 2008. Vplyv antropizácie na súčasný stav a vývoj pôd Slovenska. Zborník ref. CD-rom z odbor. konf. Antropizácia pôd. Bratislava 27-28.5. 2008
- Kobza, J.** 2008 Súčasný stav a vývoj pôd pod vplyvom antropizácie. In: Phytopedon č. 9, 2008 (t.č. v tlači)
- Kobza, J.** 2008. Soil monitoring – a basic tool for protection of soils and sustainable land use. EUROSIL 2008, (Vienna 25.-29.8.08), Proceedings, pp. 10.
- Kobza, J.** 2008. Dopad antropizácie na vývoj degradácie pôdy podľa jej ohrozenia. České pedolog. dny. Kostelec nad Černými lesy, 16.-17.9.2008. Zborník abstraktov, Antropogénní zatížení půd, s. 13.
- Kobza, J.** 2008. Vývoj a degradácia poľnohospodárskych pôd vo vzťahu ku kvalite. 5. pôdoznalecké dni, Sielnica 15.-16.10.2008, Zborník ref., s. 75-80.

- Kobza, J.** 2008. Pôda-naše národné bohatstvo. In: Sme č. 43, 24.10.2008, príl. RNO. č. 43, s.9
- Kobza, J.** 2008. Vedci o ochrane pôdy. Zvolenské noviny, 20.10.2008, roč. XVII., č. 43, s.8.
- Kobza, J.** 2008. Exkurzný sprievodca. Piate pôdoznalecké dni Sielnica, 15.-16.10.2008, VÚPOP Bratislava, 12 s.
- Kobza, J.** 2008. Andosols and problem of their classification. The International Conference and Field Workshops on Soil Classification. Soil: A work of art of the nature. Abstracts (Oral presentations), p.p. 45, 9.-18. November, 2008, Santiago de Chile, Chile
- Kobza, J.** 2008. Some Statistical Aspects of National Scale Soil Monitoring in Slovakia. Book of Abstracts, Rothamsted Research Institute, Harpenden, UK, 11 – 12. 12. 2008, pp. 10-11.

**Publikácie r. 2009:**

- Kobza, J.,** Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2009. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivného územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 2009, 86 s. ISBN 978-80-89128-53-2.
- 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., Tóthová, G. 2009. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky ČMS-Pôda za obdobie 2002-2006 (3. cyklus). VÚPOP Bratislava, 200 s., ISBN 978-80-89128-54-9.
- Kobza, J.,** Gáborík, Š. 2009. Súčasný obsah a vývoj makroelementov (P, K, Mg) v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In: Agrochémia, roč. XIII. (49), 2009, č. 3, s. 3-8. ISSN 1335-2415.
- Kobza, J.** 2009. Horčík ako kontaminujúci prvok pôd v okolí priemyselných zón magnezitových závodov Jelšava-Lubeník a Hačava. 13. České pedolog. dny, 2.-3.9.2009, Ostrava, Zborník príspevkov, s. 28-31.
- Kobza, J.** 2008 (vyšlo v r. 2009). Tvorba niektorých degradačných fenoménov kontaminácie pôd v oblasti Žiarskej kotliny. Ved. práce č. 30/2008, VÚPOP Bratislava, s. 45-54.
- Kobza, J.** 2008 (vyšlo v r. 2009). Poznámky ku genéze andozemných pôd a problém ich klasifikácie. Ved. práce č. 30/2008, VÚPOP Bratislava, s. 55-61.
- Kobza, J.,** Dobos, E. 2009. Pôdne pomery Medzibodrožia. Soil conditions of the Medzibodrožie Region. In: Terek, J. a kol. 2009. Čiastkové analýzy a vybrané propozície slovenskej časti krajiny Medzibodrožia. Zborník príspevkov. ACTA UNIVERSITATIS PREŠOVIENSIS, Prírodné vedy, FOLIA OECOLOGICA 2, Ročník L. Prešov 2009, s. 44-83. ISSN 1338-080x
- Kobza, J.,** Gáborík, Š. 2009. Aktuálny obsah a vývoj prístupného fosforu a draslíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Vedecké práce VUPOP Bratislava, č. 31 /2009, t.č. v tlači
- Kobza, J.,** 2009. Vývoj novodobo spustnutých pôvodne poľnohospodársky využívaných pôd. Zborník príspevkov z konf. pri príležitosti život. jubilea prof. Midriaka, 9.9.2009 (t.č. v tlači)

- Kobza, J.** 2009. Actual soil pollution with magnesium in Hačava and Jelšava-Lubeník regions. Inter. Conf. "Contaminated sites" 15.-17.6.2009, Conference Proceedings. Scientific Articles, GÚDŠ Bratislava, 2009, pp. 55-59, ISBN 978-80-969958-4-4.
- Kobza, J.** 2009. Actual soil pollution with magnesium in Hačava and Jelšava-Lubeník regions. Inter. Conf. „Contaminated sites 15.-17.6.2009, selected lectures, Book of presentations, GÚDŠ Bratislava, pp. 64-73, ISBN 978-80-969958-3-7.
- Kobza, J.,** Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Mališ, J., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M. 2009. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Záv. správa za obdobie rokov 2006-2009, VÚPOP Bratislava.
- Kobza, J.** 2009. Poľnohospodárske pôdy Slovenska na začiatku 21. storočia. Enviromagazín 1/2009, s. 18-19.
- Kobza, J.** 2009. Stav pôdy sa stále monitoruje. (Poľnohospodárske pôdy v okolí Chemka Strážske). In: SME, č. 170, 24.7.2009, príloha Roľníckej noviny č.30, s. 9.
- Kobza, J.** 2009. Poľnohospodárske pôdy Banskobystrického kraja. In: "Prírodné hodnoty a zaujímavosti Banskobystrického kraja". Vydal: Banskobystrický samosprávny kraj, KBpress, s.r.o. Banská Bystrica, 2009, s. 46-48.
- Kobza, J.,** Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2009. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivného územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 2009, 86 s. ISBN 978-80-89128-53-2.
- 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., Tóthová, G. 2009. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky ČMS-Pôda za obdobie 2002-2006 (3. cyklus). VÚPOP Bratislava, 200 s., ISBN 978-80-89128-54-9.
- Kobza, J.,** Gáborík, Š. 2009. Súčasný obsah a vývoj makroelementov (P, K, Mg) v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In: Agrochémia, roč. XIII. (49), 2009, č. 3, s. 3-8. ISSN 1335-2415.
- Kobza, J.** 2009. Horčík ako kontaminujúci prvok pôd v okolí priemyselných zón magnezitových závodov Jelšava-Lubeník a Hačava. 13. České pedolog. dny, 2.-3.9.2009, Ostrava, Zborník príspevkov, s. 28-31.
- Kobza, J.** 2008 (vyšlo v r. 2009). Tvorba niektorých degradačných fenoménov kontaminácie pôd v oblasti Žiarskej kotliny. Ved. práce č. 30/2008, VÚPOP Bratislava, s. 45-54.
- Kobza, J.** 2008 (vyšlo v r. 2009). Poznámky ku genéze andozemných pôd a problém ich klasifikácie. Ved. práce č. 30/2008, VÚPOP Bratislava, s. 55-61.
- Kobza, J.,** Dobos, E. 2009. Pôdne pomery Medzibodrožia. Soil conditions of the Medzibodrožie Region. In: Terek, J. a kol. 2009. Čiastkové analýzy a vybrané propozície slovenskej časti krajiny Medzibodrožia. Zborník príspevkov. ACTA UNIVERSITATIS PREŠOVIENSIS, Prírodné vedy, FOLIA OECOLOGICA 2, Ročník L. Prešov 2009, s. 44-83. ISSN 1338-080x
- Kobza, J.,** Gáborík, Š. 2009. Aktuálny obsah a vývoj prístupného fosforu a draslíka v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Vedecké práce VUPOP Bratislava, č. 31 /2009, t.č. v tlači
- Kobza, J.,** 2009. Vývoj novodobo spustnutých pôvodne poľnohospodársky využívaných pôd. Zborník príspevkov z konf. pri príležitosti život. jubilea prof. Midriaka, 9.9.2009 (t.č. v tlači)



- Kobza, J.** 2009. Actual soil pollution with magnesium in Hačava and Jelšava-Lubeník regions. Inter. Conf. "Contaminated sites" 15.-17.6.2009, Conference Proceedings. Scientific Articles, GÚDŠ Bratislava, 2009, pp. 55-59, ISBN 978-80-969958-4-4.
- Kobza, J.** 2009. Actual soil pollution with magnesium in Hačava and Jelšava-Lubeník regions. Inter. Conf. „Contaminated sites 15.-17.6.2009, selected lectures, Book of presentations, GÚDŠ Bratislava, pp. 64-73, ISBN 978-80-969958-3-7.
- Kobza, J.,** Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Mališ, J., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M. 2009. Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine. Záv. správa za obdobie rokov 2006-2009, VÚPOP Bratislava.
- Kobza, J.** 2009. Poľnohospodárske pôdy Slovenska na začiatku 21. storočia. Enviromagazín 1/2009, s. 18-19.
- Kobza, J.** 2009. Stav pôdy sa stále monitoruje. (Poľnohospodárske pôdy v okolí Chemka Strážske). In: SME, č. 170, 24.7.2009, príloha Roľníckej noviny č.30, s. 9.
- Kobza, J.** 2009. Poľnohospodárske pôdy Banskobystrického kraja. In: "Prírodné hodnoty a zaujímavosti Banskobystrického kraja". Vydal: Banskobystrický samosprávny kraj, KBpress, s.r.o. Banská Bystrica, 2009, s. 46-48.

#### **Publikácie: Spoluriešitelia (2006-2009)**

- Barančíková, G.:** Soil organic matter monitoring: Comparison of Cambisols and Mollic Fluvisols results. . In: F.H. Frimmel, G. Abbt-Braun (eds.) Humic substances-Linking structure to functions, Proceedings of the 13th meeting of the IHSS, Karlsruhe, 2006, str.489-492, ISSN 1612-118x
- Barančíková, G.:** Validácia modelu RothC na vybraných monitorovacích lokalitách. Vedecké práce VÚPOP, vol. 29, str: 9-22, 2007, ISBN 978-80-89128-40-2
- Barančíková, G.,** Liptaj, T., Prónayová, N.: Phosphorus Fractions in Arable and Mountain Soils and their Humic Acids. Soil & Water Research, vol. 2, č.4, str. 141-148, 2007
- Barančíková, G.:** Súčasný stav pôdnej organickej hmoty a kategorizácia poľnohospodárskych pôd z hľadiska jej kvality. In: Sobocká, J. (ed.). Funkcia uhlíka v pôde pri ochrane pôdy a produkcii biomasy. Zborník č. 57, Slovenská akadémia pôdohospodárskych vied, Nitra, 2007, str. 24-34.
- Barančíková, G.** Makovníková, J., Skalský, R.: Organic carbon content of agriculture soils of Slovakia: recent situation and future scenario. In: Jandl, R., Olsson, M. (eds.) Greenhouse-gas budget of soils under changing climate and land use (BurnOut). COST Action 639. Vienna, 2007, str. 71-74. ISBN 978-3-901347-70-2
- Barančíková, G.:** Attempt to categorization of Slovak agricultural soils from viewpoint of content and quality of soil organic matter. Humic Substances in Ecosystems 7. Abstracts. An International Scientific Conference, Bachotek, 17-21.6.2007, str. 7.
- Barančíková, G.,** Makovníková, J. Pálka, B.: Prístup k tvorbe mapového výstupu obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Zborník abstraktov (eds. J. Sobocká, B. Šarapatka). 1. Konferencia Českej pedologickej spoločnosti a Societas pedagogica slovacae. Rožnov pod Radhoštem, 20.8-23.8.2007, str. 49
- Barančíková, G.:** Kategoryzacja gleb uzytkowanych rolniczo na podstawie zawartosci i jakosci materii organiczej. In: Rola materii organiczej w srodowisku. Gonet, S.S., Markiewicz, M. (eds.). Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2007, Torun, str. 47-60, ISBN 83-919331-6-4

- Barančíková, G.**, Makovníková, J., Skalský, R., Nováková, M., Tarasovičová, Z.: Monitoring of soil organic matter in Slovakia. Modeling of estimation of SOM stock. Second plenary meeting COST 639, Barcelona, 29.10-30.10.2007, <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=5887>
- Barančíková, G.**: Aplikácia nukleárnej magnetickej rezonancie pri štúdiu pôdnej organickej hmoty. Chem. Listy, vol. 102, str. 1100-1106, 2008
- Barančíková, G.**, Makovníková, J.: Prístup k tvorbe mapy obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. In: Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov, Sobocká, J, Kulhavý, J. (eds.). Bratislava, 2008, str. 345-351, ISBN: 978-80-89128-44-0
- Barančíková, G.**, Makovníková, J., Širáň, M.: Zmeny v hodnotách indikátorov pôdnej kvality východného Slovenska. In: Identifikácia zmien zložiek životného prostredia problémových oblastí východného Slovenska. Zborník z medzinárodnej konferencie, Košice, 2008, str. 28-34, ISBN: 978-80-552-0087-3, Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.
- Barančíková, G.**, Makovníková, J., Širáň, M.: Identifikácia senzitivných oblastí na základe monitorovania zmien pôdnej reakcie, obsahu organickej hmoty a kompaktie. In: Pôda-národné bohatstvo. Piate pôdoznalecké dni. Kobza, J. (ed.). Zborník príspevkov, Sielnica, 2008, str. 113-120, ISBN: 978-80-89128-49-5
- Makovníková, **Barančíková, G.**, Kobza, Pálka: Approach to assessment of evaluation of contaminants mobility on Ziar, Contaminants and nutrients: Availability, accumulation/exclusion and plant –microbia-soil-interactions. May 22-24. 2008 Smolenice, Proceedings (ed. Lišková, D.– Lux, A.–Martinka, M.) , COST 859, ISBN 978-969950-0-4 , Vydavateľ: Mgr. Pavol Cibulka, Copycentrum PACI, Bratislava 2008, str. 36
- Barančíková, G.**, Makovníková, J., Skalský, R.: History and present state of organic carbon monitoring on agricultural land of Slovakia. Workshop of COST Action 639 WG IV, Kodaň, 2008, <http://www.erti.hu/cost639iv/cost639iv.php>
- Barančíková, G.**, Halas, J., Pustá, M.: Zmeny v obsahu pôdneho organického uhlíka na vybranom území flyšového pásma. Vedecké práce VUPOP, vol. 31, str. , 2009, ISBN
- Barančíková, G.**, 2009: Proposal of evaluation of soil organic matter sorption capacity. In: Humic substances in ecosystems 8, editors: Zaujec, A., Bielek, P., Gonet, S.S., Debska, B., Heczko, J., Bratislava, 2009, str. 11-16, ISBN: 978-80-89128-60-0 Nerecenzovaný zborník
- Barančíková, G.**, Halás, J., Pustá, M.: Vývoj obsahu pôdneho organického uhlíka vo flyšovom pásme východného Slovenska. In: Fazekašová, D., Manko, P. (eds.): Zborník abstraktov z medzinárodnej vedeckej konferencie, Stará Lesná, 20.-22. September, 2009. str. 32, ISBN 978-80-555-0010-2
- Barančíková, G.**, Liptaj, T., Prónayová, N.: Phosphorus Fractions in Arable and Mountain Soils and their Humic Acids. Soil & Water Research, vol. 2, č.4, str. 141-148, 2007
- Pospíšilová, L., Fasurová, N., **Barančíková, G.**, Liptaj, T.: Spectral characteristics of humic acids isolated from South Moravian lignite and soils. Petroleum & Coal, vol. 50, č. 2, str. 30-36, 2008
- 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.: Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj

monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Bratislava, 2009, 55 – 79 str., ISBN 978-80-89128-54-9

- Makovníková, J., Širáň, M., Pálka, B.:** Statický model objemovej hmotnosti pôdy a jeho aplikácia v záujmovom území Banská Bystrica, AGROCHEMIA č.2/2007, str. 18 - 21
- Makovníková, J.** 2007: Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy. Bratislava : VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.
- Makovníková, J.:** Variabilita základných kationov v kambizemiach, VP VUPOP, Proceedings SSCRI, n.29, 2007, 73 – 79, ISBN 978-80-89128-40-2
- Barančíková, G., **Makovníková, J.** 2008: Prístup k tvorbe mapového výstupu obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. 1. konferencie České a Slovenské pedologické spoločnosti, proceedings, 2008, str.345-351
- Širáň, M., **Makovníková, J., Pálka, B.**2008: Monitoring pôd Slovenska – kompakcia pôdy. 1. konferencie České a Slovenské pedologické spoločnosti, proceedings, 2008, str.713-716
- Makovníková, J.** 2008: Vplyv vybraných pôdných parametrov na distribúciu hliníka v kambizemiach. In: Kobza, J. (ed.) Pôda - národné bohatstvo. Piate pôdoznalecké dni. Zborník z konferencie. SPS – VÚPOP, Bratislava, 2008, 207-213, ISBN 978-80-89128-49-5
- Barančíková, G., **Makovníková, J., Širáň, M.** 2008: Identifikácia senzitívnych oblastí na základe monitorovania zmien pôdnej reakcie, obsahu organickej hmoty a kompakcie. In: Kobza, J. (ed.) Pôda - národné bohatstvo. Piate pôdoznalecké dni. Zborník z konferencie. SPS – VÚPOP, Bratislava, 2008, 113-120, ISBN 978-80-89128-49-5
- Barančíková, G., **Makovníková, J., Širáň, M.** 2008. Zmeny v hodnotách indikátorov pôdnej kvality východného Slovenska. In: Proceedings. Identifikácia zmien zložiek životného prostredia problémových oblastí východného Slovenska (ed. Daňová, M., Škultéty, P.), 23-27, ISBN 978-80-552-0087-3
- Makovníková, J., Barančíková, G., Kobza, J., Pálka, B.** 2008. Approach to assessment of evaluation of contaminants mobility on Ziar, Contaminants and nutrients: Availability, accumulation/exclusion and plant microbia – soil – interactions. May 22-24. 2008, Smolenice, Proceedings (ed.Lišková – Lux – martinka), Cost 859, ISBN 978-969950-0-4
- Makovníková, J.** 2009.: Acidifikačné trendy poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska v kontexte s filtračnou funkciou pôdy Vedecké práce VUPOP, vol. 31, str. , 2009, ISBN
- Styk, J.** 2005. Recent soil erosion estimation using of <sup>137</sup>Cs technique. (Odhad recentnej erózie pôdy využitím techniky <sup>137</sup>Cs). In: Proceedings. Vedecké práce VÚPOP Bratislava 2005, č. 27, p. 119-125. ISBN 80-89128-17-3 (vydané v roku 2006)
- Styk, J.** 2005. Erózia poľnohospodárskej pôdy. In: Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Styk, J., Širáň, M., Vojtáš, J.: Návrh regulačných pôdoochranných opatrení z výsledkov Monitoringu pôd SR. VÚPOP Bratislava 2005, s. 8-11. ISBN 80-89128-21-1 (vydané v roku 2006)

- Styk, J.** 2007. Indication of erosive-accumulative processes intensity at using  $^{137}\text{Cs}$  profile distribution on selected soil transect. In: Agriculture (Poľnohospodárstvo), Journal for agriculture sciences, 53, 2007 (1), Istia Nitra, p. 23-30
- 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). In: Proceedings. Vedecké práce VÚPOP Bratislava 2007, č. 29. s. 152-159. ISBN 978-80-89128-40-2
- Styk, J., Pálka, B.** 2008. Zhodnotenie erózie pôdy v konkrétnom povodí využitím GIS technológie. In.: Sobocká, J., Kulhavý, J.: Zborník príspevkov. Pôda v modernej informačnej spoločnosti. 1. Konferencia Českej pedologickej spoločnosti a Societas pedologica slovacae. Rožňov pod Radhoštem, VÚPOP Bratislava, 2008, s. 132-140. ISBN 978-80-89128-44-0
- Styk, J.** 2009. Erózia poľnohospodárskej pôdy. In: Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2009. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 2009, s. 67-71. ISBN 978-80-89128-53-2.
- Styk, J.** 2009. Monitoring vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach. In: 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., Tóthová, G. 2009. Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky ČMS-Pôda za obdobie 2002-2006 (3. cyklus). VÚPOP Bratislava, s. 154-170. ISBN 978-80-89128-54-9.
- Makovníková, J., **Širáň, M.**, Pálka, B.: Statický model objemovej hmotnosti pôdy a jeho aplikácia v záujmovom území Banská Bystrica, AGROCHEMIA č.2/2007, str. 18 - 21
- Širáň M.**, Makovníková J., Pálka B., 2008: Prístup k tvorbe mapy objemovej hmotnosti na orných pôdach Slovenska. In Zborník príspevkov "Pôda v modernej informačnej spoločnosti". 1. Konferencia ČPS a SPS v Rožnove pod Radhoštem, Bratislava, 2008, s. 713-716
- Širáň, M.**, Makovníková, J., Pálka, B.2008: Monitoring pôd Slovenska – kompakcia pôdy. 1. konferencie České a Slovenské pedologické spoločnosti, proceedings, 2008, str.713-716
- Širáň, M.**, 2008: Zmeny objemovej hmotnosti pôdy na základe údajov monitoringu pôd SR. Vedecké práce VÚPOP Bratislava 2008, č. 30
- Barančíková, G., Makovníková, J., **Širáň, M.** 2008. Zmeny v hodnotách indikátorov pôdnej kvality východného Slovenska. In: Proceedings. Identifikácia zmien zložiek životného prostredia problémových oblastí východného Slovenska (ed. Daňová, M., Škultéty, P.), 23-27, ISBN 978-80-552-0087-3
- Barančíková B., Makovníková J., **Širáň M.**, 2008: Identifikácia senzitivnych 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
- 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., ISBN 978-80-89128-54-9

Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková - Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., **Širáň, M.**, 2009: Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivného územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. Realizačný výstup výskumnej úlohy „Tvorba a hodnotenie poznatkov o vývoji vlastností pôdneho krytu SR pre efektívnu ochranu pôdy v poľnohospodárskej krajine“, VUPOP, Bratislava, 2009, 84 s., ISBN 978-80-89128-53-2