

Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava

MONITORING A HODNOTENIE VLASTNOSTÍ PŮD SR A POTENCIÁLOV ICH VÝVOJA



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

Bratislava, december 2011

Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava

**MONITORING A HODNOTENIE VLASTNOSTÍ PÔD
SR A POTENCIÁLOV ICH VÝVOJA**

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

Bratislava, december 2011

Titulný list

Riešiteľské pracovisko:	Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava
Štatutárny zástupca:	JUDr. Zuzana Rekenová
Názov kontraktu:	
Názov výskumnej úlohy:	Monitoring a hodnotenie vlastností pôd S R a potenciálov ich vývoja
Typ výskumnej úlohy:	priebežná za rok 2011
Zodpovedný riešiteľ:	prof. Ing. Jozef Kobza, CSc.
Riešiteľský kolektív:	RNDr. Gabriela Barančíková, CSc. Mgr. Rastislav Dodok, PhD. Ing. Katarína Hrivňáková RNDr. Jarmila Makovníková, CSc. Ing. Ján Styk, PhD. Ing. Miloš Širáň, PhD.
Začiatok riešenia:	I/2011
Ukončenie riešenia:	XII/2011

Úloha: Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja

Zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Jozef Kobza, CSc., VÚPOP Bratislava

Anotačný záznam

Riešenie úlohy v roku 2011 vychádzalo zo schváleného projektu „Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja“ na roky 2010 – 2012. Úloha bola zameraná na riešenie teoretických a odborných problémov súvisiacich s tvorbou nových poznatkov o vývoji pôdneho pokryvu SR a jeho udržateľnom využití, ktoré sú podmienkou efektívneho využívania prírodných zdrojov. V zmysle európskej Tematickej stratégie pre ochranu pôdy išlo o sledovanie a hodnotenie degradačných procesov pôdy podľa navrhnutých ohrození (kontaminácia pôdy, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia pôdy, úbytok pôdnej organickej hmoty a prístupných živín, kompakcia a erózia pôdy). Analytické práce prebiehali v nadväznosti na záväzné metódy rozborov pôd (Fiala a kol., 1999) s postupnou implementáciou doporučených metód podľa EK pre výkon monitoringu pôd, čo sme premietli do tvorby samostatného výstupu-publikácie. V roku 2011 boli hodnotené vybrané pôdne predstavitel: čiernice na karbonátových fluviálnych sedimentoch, čiernice na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch, zasolené pôdy a pôdy antropicky znečistené. Pri vyhodnocovaní dosiahnutých údajov bol tiež zohľadnený aj druh pozemkov (orná pôda, trvalé trávne porasty).

V hodnotenom roku 2011 bol zistený najväčší pokles priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie pri zasolených pôdach. Priemerný obsah výmenného sodíka je v týchto pôdach 17% zo sumy výmenných kationov. Výrazné zastúpenie v zasolených pôdach má aj výmenný horčík, priemerne je to 10% zo sumy výmenných bázických kationov. Výrazný rozdiel medzi skupinou čiernic na karbonátových a nekarbonátových fluviálnych sedimentoch je v zastúpení výmenného draslíka a horčíka, ktoré je vyššie v prípade pôd na nekarbonátových sedimentoch, a to pre výmenný draslík 2,25% v skupine čiernic na karbonátových fluviálnych sedimentoch a 5,11% v skupine čiernic na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch a pre výmenný horčík 10,6% v skupine čiernic na karbonátových fluviálnych sedimentoch a 14,5% v skupine čiernic na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch. Pri kontaminácii sa uskutočňuje hodnotenie hygienického stavu pôd (rizikových prvkov) vo výluhu lúčavky kráľovskej (podľa návrhu EK), takže v súčasnosti hodnotíme len aktuálny stav, a to v ornici a podornici. Na základe doteraz získaných výsledkov na príklade kľúčových monitorovacích lokalít možno konštatovať, že zatiaľ nedošlo k štatisticky významnému posunu hygienického stavu hodnotených pôd. Pri sledovaní a hodnotení procesov zasolovania v niektorých našich pôdach, bolo zistené, že v našich podmienkach súčasne prebieha proces salinizácie aj proces sodifikácie, pričom sodifikácia je výraznejšia a dominantná. Z pohľadu hodnotenia pôdnej organickej hmoty bol zistený jej postupný nárast priemerných hodnôt v orniciach čiernic, ako aj na zasolených pôdach, ktoré sa v súčasnosti nachádzajú prakticky pod trvalým trávny porastom. Zmeny v kvalitatívnych parametroch (C/N) sú minimálne. V súlade s hodnotami pôdnej organickej hmoty sú aj hodnoty celkového dusíka, kde bol zaznamenaný postupný nárast priemerných hodnôt tohto parametra. Obsah makroelementov (najmä fosforu a draslíka) je pomerne variabilný, ich vývoj prebieha skôr v smere znižovania ich pôvodného obsahu (nedostatok P a K hnojenia). Obsah horčíka v hodnotených pôdach je prevažne vyhovujúci až vysoký. Obsah mikroelementov (Cu, Zn a Mn) je v hodnotených pôdach prevažne stredný, čo potvrdzuje dobrú zásobenosť týchto pôd mikroelementami i napriek tomu, že tieto sa do pôdy bežne neaplikujú. V porovnaní s inými pôdami, fyzikálny stav čiernic je priaznivejší, čo je podmienené aj vyšším obsahom a kvalitou pôdnej organickej

hmoty vplývajúcej na štruktúru pôdy. Čo sa týka erózie pôdy, bolo zistené, že intenzívne eróznno-akumulačné procesy prebiehajú na všetkých hodnotených lokalitách v roku 2011, a preto tento nepriaznivý vývoj je potrebné neustále monitorovať. Naďalej sa nám potvrdilo, že fyzikálna degradácia pôd (kompakcia a erózia) je stále významným fenoménom najmä na intenzívne obhospodarovaných pôdach – predovšetkým orných a bude ju potrebné aj v budúcnosti pravidelne monitorovať a vyhodnocovať. Súčasťou riešenia výskumnej úlohy bolo aj hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja pôd využívaných na energetické účely, ako aj spustnutých pôd, čo sú novšie prístupy pri monitorovaní a hodnotení našich pôd, ktoré doteraz u nás nikto detailnejšie nesledoval.

Súčasťou riešenia úlohy v roku 2011 bolo aj dopracovanie, finalizácia a prípravenie do tlače v Edičnom stredisku pri VÚPOP v Bratislave nasledovné pomerne obsiahle výstupy, vychádzajúce z výsledkov monitoringu pôd Slovenska:

Kobza, J. a kol. 2011. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitívneho územia Horná Nitra s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 98 s.
Hrivňáková, K., Makovníková, J. a kol. 2011. Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. VÚPOP Bratislava, 113 s.

Ako každoročne, aj v roku 2011 boli spracované aktuálne výstupy z monitoringu pôd podľa požiadaviek MPRV SR a MŽP SR do Správy o stave životného prostredia.

Pravidelné finančné prostriedky boli vyčerpané v súlade s plánom. I napriek postupnej redukcii finančných prostriedkov v poslednom období, snažili sme sa udržať rozsah realizovaných prác v súlade s pôvodným plánom.

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

OBSAH

1. Úvod (J. Kobza)	11
2. Ciele riešenia úlohy výskumu (J. Kobza)	11
3. Vecná štruktúra úlohy výskumu a vývoja (J. Kobza)	11
4. Základné metodické postupy riešenia úlohy (J. Kobza)	12
5. Zmeny v riešení úlohy v porovnaní s metodikami a ich zdôvodnenie (J. Kobza).....	13
6. Výsledky (Kolektív).....	15
6.1 Acidifikácia a zasoľovanie pôd (J. Makovníková, R. Dodok)	15
6.2 Kontaminácia pôd (K. Hrivňáková)	43
6.3 Obsah a vývoj makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach (J. Kobza)	55
6.4 Hodnotenie vývoja kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdnej organickej hmoty (G. Barančíková)	63
6.5 Hodnotenie vývoja kompaktie pôd (M. Širáň)	79
6.6 Hodnotenie vývoja erózie pôd na erózných transektoch (J. Styk)	87
6.7 Hodnotenie zmien a trendov vlastností pôd využívaných na energetické účely (J. Makovníková)	107
6.8 Hodnotenie aktuálneho stavu poľnohospodársky spustnutých pôd (J. Kobza)	117
7. Realizácia výsledkov riešenia a tvorba výstupov (J.Kobza).....	121
8. Predpoklady vyriešenia úlohy v zostávajúcom čase riešenia (J. Kobza)	121
9. Čerpanie finančných zdrojov a porovnanie s plánom (J. Kobza)	121
10. Záver a prínos výsledkov pre vedu a prax (J.Kobza)	123

1. ÚVOD

Riešenie úlohy vyplýva zo schválenej výskumnej úlohy na obdobie rokov 2010 – 2012 pod názvom „Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja“. Úloha je zameraná na riešenie teoretických a odborných problémov súvisiacich s tvorbou nových poznatkov o vývoji pôdneho pokryvu SR a jeho udržateľnom využití, ktoré sú podmienkou efektívneho využívania prírodných zdrojov pri eko-sociálnom rozvoji regiónov SR. Kľúčovou oblasťou riešenia je hodnotenie degradačných procesov pôdy s postupnou identifikáciou rizikových oblastí Slovenska z hľadiska stability a produktivity tohto prírodného zdroja.

Zameranie úlohy je v súlade s Národnou stratégiou trvalo udržateľného rozvoja SR, uznesením vlády SR č. 664/2000, Štátnou pôdnou politikou, Stratégiou EU na ochranu pôdy, pripravovanou Rámcovou smernicou EU na ochranu pôdy, ako aj Poľnohospodárskou a potravinovou politikou SR na roky 2005 – 2014 kladúcu dôraz na efektívnejšie využívanie, ochranu, regeneráciu a trvalú reprodukciu prírodných zdrojov SR.

2. CIELE RIEŠENIA ÚLOHY VÝSKUMU

Konkrétne ciele riešenia úlohy možno zhrnúť do nasledovných bodov:

- hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja vlastností pôdy v poľnohospodárskej krajine vo väzbe na spôsob jej využívania a spôsob degradácie pôdy
- strategické opatrenia pre zvýšenie efektívnosti ochrany pôdy v poľnohospodárskej krajine
- hodnotenie zmien a trendov pri novom spôsobe využívania poľnohospodárskych pôd pre energetické účely
- hodnotenie zmien a trendov vlastností poľnohospodársky spustnutých pôd

3. VECNÁ ŠTRUKTÚRA ÚLOHY VÝSKUMU A VÝVOJA

Riešenie úlohy vychádzalo zo schváleného návrhu riešenia úlohy na roky 2010 – 2012. Riešenie úlohy bolo v roku 2011 realizované podľa nasledovných okruhov:

Acidifikácia a zasoľovanie pôd

Cieľom riešenia je sledovanie stavu a vývoja indikátorov acidifikačných zmien, modelovanie potenciálnej zraniteľnosti pôd vzhľadom k acidifikácii. Na druhej strane v odlišných pôdno- klimatických podmienkach s dominanciou výparného režimu a často s vysokou hladinou silne mineralizovanou podzemnou vodou pôjde o zachytenie procesov zasoľovania v súvislosti s degradáciou pôd.

Kontaminácia pôd

Hlavným cieľom je posúdenie aktuálneho hygienického stavu poľnohospodárskych pôd Slovenska a hodnotenie jeho doterajšieho vývoja.

Obsah a vývoj makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach

Jedným z dôležitých faktorov úrodnosti pôd je aj obsah a vývoj makro- (P, K, Mg) a mikroelementov (Cu, Zn, Mn), ktoré sú hodnotené v tejto správe.

Hodnotenie vývoja kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdnej organickej hmoty

Kľúčovými parametrami sledovania hodnotenia sú organický uhlík (Cox), frakčné zloženie humusu (HK/FK) a farebný kvocient (Q^4_6). Pri hodnotení pôdnej organickej hmoty sme zohľadnili aj druh pozemku (orná pôda, resp. pôda pod trvalými trávnyimi porastami).

Hodnotenie vývoja kompaktie pôd

Náplňou riešenia je sledovanie a hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja zhutnenia orných pôd (so zohľadnením pôdnych typov a druhov) tradičnými, aj inovačnými fyzikálnymi metódami, ktoré doteraz na poľnohospodárskych pôdach neboli použité.

Hodnotenie vývoja erózie pôd

Intenzita erózie pôd je sledovaná a hodnotená na základe merateľných indikátorov (hrúbka diagnostických horizontov, obsah humusu, obsah prístupných živín fosforu a draslíka, pôdna reakcia) s využitím rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs , čo je medzinárodne uznávaná metóda pri sledovaní a hodnotení erózných procesov pôdy.

Hodnotenie zmien a trendov vlastností pôd využívaných na energetické účely

K primárnej funkcii poľnohospodárstva, ktorou je zabezpečenie výživy ľudí pribúda nová, ktorou je využívanie poľnohospodárskych pôd pre energetické účely. Cieľom riešenia tejto novej časti riešenej úlohy je sledovanie stavu a vývoja indikátorov kvality pôdy využívanej na energetické účely, t.j. na pestovanie energetických plodín a na využívanie biomasy pôd na energetické účely.

Hodnotenie aktuálneho stavu poľnohospodársky spustnutých pôd

Problematika spustnutých, pôvodne poľnohospodársky využívaných pôd sa čoraz viac stáva stredobodom záujmu štátu aj EÚ, pretože tieto zaberajú u nás v súčasnosti už značnú výmeru (takmer 500 tis. ha). Cieľom riešenia je preto permanentné sledovanie kvality takýchto pôd a ich ďalšieho vývoja.

4. ZÁKLADNÉ METODICKÉ POSTUPY RIEŠENIA ÚLOHY

Metodické postupy boli riešené špecificky vo vzťahu k jednotlivým odborným okruhom, ktoré sú zahrnuté a popísané v predchádzajúcej štruktúre úlohy. V roku 2011 zahrňovali nasledovné práce:

4.1 Terénne práce

- bol uskutočnený odber pôdnych a rastlinných vzoriek z 18 kľúčových monitorovacích lokalít
- bol uskutočnený odber pôdnych vzoriek zo špeciálnej siete lokalít (8) pre sledovanie a hodnotenie salinizácie a sodifikácie pôd
- bol uskutočnený odber pôdnych vzoriek zo 4 transektov pre sledovanie vodnej erózie pôd
- bol uskutočnený výber a odber pôdnych vzoriek z pôd využívaných na energetické účely

- bol uskutočnený výber a odber pôdných vzoriek zo spustnutých pôd
- súčasne boli pripravované a homogenizované pôdne vzorky z kľúčových monitorovacích lokalít, ako aj zo základnej monitorovacej siete pre ich analýzy

4.2 Analytické práce

- boli urobené analýzy z nasledovných skupín pôd základnej monitorovacej siete (z odberov v roku 2007):
 - čiernice na karbonátových fluviálnych sedimentoch (OP)
 - čiernice na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch (OP)
 - zasolené pôdy (TTP a OP)
 - pôdy antropicky znečistené (TTP)
- boli urobené analýzy pôdných a rastlinných vzoriek z kľúčových monitorovacích lokalít
- boli urobené analýzy pôdných vzoriek zo špeciálnej siete lokalít pre hodnotenie salinizácie a sodifikácie pôd
- boli urobené analýzy z pôdných transektov pre sledovanie a hodnotenie erózie pôd
- boli urobené analýzy pôdných vzoriek zo špeciálnej siete lokalít poľnohospodárskych pôd využívaných na energetické účely
- boli urobené analýzy spustnutých pôd využívaných pôvodne ako poľnohospodárske pôdy

Základné analytické postupy prebiehali v nadväznosti na už vypracovanú publikáciu (Fiala a kol., 1999) s tým, že postupne boli testované a zaraďované do sledovania aj doporučené postupy EK. V súčasnosti je v tlači aktualizovaná verzia záväzných analytických metód, ktorá bola spracovaná a skompletizovaná v roku 2011.

4.3 Vyhodnocovacie práce a aktualizácia databázy monitorovania pôd

Získané výsledky boli vyhodnocované podľa už uvedených odborných okruhov na báze celoslovenskej siete monitorovania pôd. Priebežne bola aktualizovaná databáza monitorovania pôd (štruktúrna a údajová časť). Bola tiež aktualizovaná terminológia klasifikácie pôd podľa doteraz platného Morfogenetického klasifikačného systému pôd, ako aj podľa medzinárodného v EÚ zaužívaného klasifikačného systému pôd podľa WRB 2006 (World Reference Base).

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

Riešenie úlohy v roku 2011 prebiehalo podľa schváleného východzieho projektu na roky 2010 – 2012. Sú v ňom zahrnuté všetky ťažiskové problémy, ktoré sa dotýkajú konkrétnych ohrození pôdy v zmysle návrhu EK pre európsky monitoring pôd. Počas riešenia sme implementovali nové metódy v zmysle návrhu EK pre permanentné monitorovanie pôd (novátorský prístup). Novátorskou problematikou v riešení, ktorá bola zahrnutá aj vo východzom projekte je sledovanie a hodnotenie vývoja vlastností poľnohospodárskych pôd, ktoré sa využívajú na pestovanie energetických plodín, ako aj sledovanie a hodnotenie spustnutých pôd, ktoré sa v minulosti poľnohospodársky využívali.

Záverom tejto časti možno konštatovať, že práce na úlohe prebiehali bez zmien v zmysle schváleného projektu dokonca k rozšíreniu prác i napriek tomu, že v priebehu roka 2011 došlo v porovnaní s predchádzajúcim rokom 2010 k zníženiu finančných prostriedkov.

6. VÝSLEDKY

6.1 Acidifikácia a zasolovanie pôd

Acidifikácia pôd

Pôdna reakcia indikuje acido-bázické reakcie v pôde a je výsledkom celkovej bilancie iónov v pôdnom roztoku. Má výrazný vplyv na rast rastlín, rozpustnosť zlučenín a mikrobiálnu aktivitu. Optimálna hodnota pôdnej reakcie patrí ku kľúčovým aspektom pri hodnotení kvality pôdy (Johnston, 2004) ako aj pri hodnotení produkčných a environmentálnych funkcií pôdy (Makovníková, 2007, Makovníková, Barančíková, Pálka, 2007). Acidifikácia (proces okyslenia pôdy) je odrazom pôsobenia vnútorných (pôdnych) a vonkajších faktorov (faktorov stanovišťa) a zároveň je nepriamym indikátorom tých procesov v agroekosystéme, ktoré sú determinované hodnotou pH. Sledovanie acidifikačných tendencií vyplývajúcich zo zmien hodnôt pôdnej reakcie (aktívnej a výmennej) je jednou z úloh monitoringu pôd.

Acidifikácia pôd patrí podľa zákona č. 220/2004 Z.z. k degradačným procesom. Každý vlastník poľnohospodárskej pôdy je preto povinný vykonávať vhodné agrotechnické opatrenia zamerané na zachovanie kvality pôdy a ochranu pred jej poškodením a degradáciou. Aj keď je acidifikácia vratným procesom, dôsledky acidifikácie v agroekosystéme sú nevratné, pretože pôda je schopná vyrovnáť sa so zaťažením, ale len do určitej miery jej zaťaženia. Táto schopnosť pôdy (natural attenuation) je výsledkom fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy. Miera zaťaženia pôdy spolu s prirodzenou vnútornou schopnosťou pôdy predstavuje komplexnú informáciu v preventívnom systéme starostlivosti o zdravie pôdy. Degradačný proces acidifikácie pôd je determinovaný priamymi a nepriamymi indikátormi (Makovníková, 2007). Priamym indikátorom stavu acidifikácie pôdy je hodnota pôdnej reakcie a pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov Al^{3+}/Ca^{2+} .

Systém monitorovania pôd je založený na sieti monitorovacích lokalít (základnej sieti a sieti kľúčových lokalít) a zaznamenáva časové zmeny vybraných vlastností pôd. V monitoringu pôd sa sleduje aktuálny stav ako aj tendencie zmien vybraných parametrov pôdy. 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 pôdnej reakcie (Makovníková, Kanianska, 1996, Kanianska, 2000, Makovníková, 2007).

Materiál a metóda

V pôdnych vzorkách základnej siete ČMS-P odobraných v 4. (rok 2007) odberovom cykle z monitorovacích lokalít vybraných skupín pôd (1 – čiernice na karbonátových fluviaálnych sedimentoch - využívané ako orné pôdy (n = 15), 2 - čiernice na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch - využívané ako orné pôdy (n = 14), 3 – zasolené pôdy na rôznych substrátoch – využívané ako trávne porasty (n = 7), 4 – antropogénne znečistené pôdy na rôznych substrátoch - využívané ako trávne porasty (n = 2)), z hĺbok 0 - 10 cm a 35 - 45 cm bola stanovená aktívna pôdna reakcia, výmenná pôdna reakcia (roztokom neutrálnej soli $CaCl_2$) potenciometricky a obsah výmenných bázických katiónov (Fiala a i., 1999). Vo vzorkách s hodnotou pH v $CaCl_2$ nižšou ako 6,2 bol stanovený aktívny Al podľa Sokolova (Fiala a i., 1999). V súvislosti s prechodom z doteraz používaných interných metodík pre stanovenie pôdnej reakcie ČMS-P (Fiala a i., 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, 2008). Výsledky dosiahnuté pôvodnou i nternou 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 - 2011 z kľúčových lokalít reprezentujúcich hodnotené skupiny pôd bola stanovená aktívna a výmenná pôdna reakcia (Fiala a i., 1999), aktívny hliník podľa Sokolova a obsah výmenných bázičských katiónov. Štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v programe STATGRAPHIC 5.0.

Výsledky a diskusia

Hodnotenie pôdnych parametrov vo vybraných skupinách pôd z hľadiska zachovania predpokladov štatistického hodnotenia vyhovovalo podmienkam normality rozdelenia v skupinách 1, 2 a 3, kde sme sledované parametre charakterizovali popisnou štatistikou normálneho rozdelenia (aritmetický priemer, minimálna a maximálna hodnota) (tab. 1).

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

Pôdny predstaviteľ ¹	Hĺbka odberu vzorky ² / cm/	pH/H ₂ O			pH/CaCl ₂		
		Min	Max	x ³	Min	Max	x ³
čiernice na karbonátových fluviálnych sedimentoch	0-10	7,21	7,99	7,78	7,09	7,81	7,60
	35-45	7,72	8,57	8,11	7,56	8,37	7,89
čiernice na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch	0-10	5,69	7,02	6,30	5,24	6,80	5,99
	35-45	5,25	7,10	6,42	4,72	6,86	6,08
zasolené pôdy	0-10	7,70	9,85	8,34	7,54	9,48	8,14
	35-45	7,90	10,29	8,72	7,81	9,84	8,47
antropogénne znečistené pôdy	0-10	7,40	8,18	-	7,21	7,90	-
	35-45	6,52	8,15	-	7,86	8,02	-

¹Soil representative ²Depth of sample uptake ³arithmetic mean

V skupinách hodnotených pôdnych predstaviteľov sa vyskytujú pôdy od rezistentných až po málo odolné, čo sa odráža i v hodnotách pôdnej reakcie a ich schopnosti tlmiť vstup protónov do agroekosystému. Čiernice predstavujú 8,4 % z celkovej výmery našich poľnohospodárskych pôd a sú medzi nimi najproduktívnejšie orné pôdy ale aj menej produktívne trávne porasty. Čiernice na karbonátových fluviálnych sedimentoch patria k pôdam s dobrou pufračnou schopnosťou ovplyvnenou predovšetkým kvalitným a hlbokým molickým horizontom. Pozitívne pôsobí aj vysoký obsah uhličitanov. Výnimku tvoria čiernice glejové, pri ktorých vysoká hladina podzemnej vody ako aj výskyt glejového redukčného horizontu vysoko v pôdnom profile znižuje hrúbku humusového horizontu (Demo a i., 1998).

Nižší obsah karbonátov v skupine čiernic na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch znižuje pufračnú schopnosť týchto pôd a zaraďuje tieto pôdy k pôdam s výrazne nižšou odolnosťou voči acidifikácii.

Zasolené pôdy predstavujú len necelé 0,2 % z celkovej výmery poľnohospodárskych pôd a väčšinou ide o pôdy s nízkou produkčnou schopnosťou využívané ako trvalé trávne porasty. Fyzikálne vlastnosti pôd ako aj hospodárenie vodou v týchto pôdach je pre rastliny veľmi nepriaznivé (Čurlík a i., 2003). Je to ale jediná skupina pôd, kde acidifikácia je vnímaná

ako pozitívny proces, ktorý môže pôsobiť desalinizačne a upraviť hodnotu pôdnej reakcie smerom k slabo alkalickému až neutrálnej oblasti.

Antropogénne znečistené pôdy sú vzhľadom k acidifikácii veľmi heterogénnou skupinou pôd. Pufračná schopnosť týchto pôd závisí od miery znečistenia, typu znečistenia, od prieniku znečistenia a ovplyvnenia pôdnych horizontov (Demo a i., 1998). V tejto skupine pôd hodnotíme dve lokality, a to lokalitu Hačava, antropogénne znečistenú magnezitovými imisiami a lokalitu Zemianske Kostoľany, antropogénne ovplyvnenú pri porušení hrádze odkaliska v roku 1965. Úlety horčička s významným podielom reaktívneho kaustického MgO v styku s pôdou pri vlhkých podmienkach tvoria agresívne pôsobiaci nasýtené alkalické roztoky, ktoré negatívne ovplyvňujú hodnotu pôdnej reakcie. Výsledkom je sekundárne horečnaté zasolenie, chemická intoxikácia a devastácia pôd. Nadbytok Mg pôsobí rušivo aj na sorpčný komplex, vysoká hodnota pH je limitujúcim faktorom pre pestovanie plodín, pre mikrobiálny život v pôdach, pôdy je nevyhnutné rekultivovať, okysľovať. Nadbytok horčička má toxický vplyv na rastliny, vedie k ich postupnému odumieraniu, čím sa pôda zbavuje vegetačnej pokrývky.

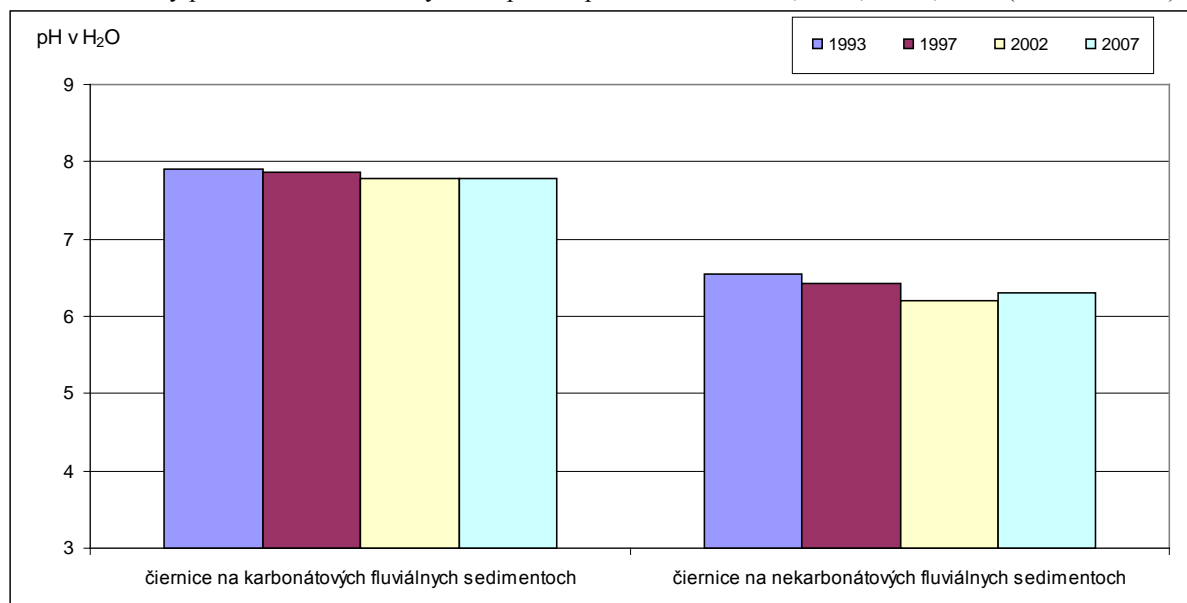
V celom sledovanom súbore pôd s a hodnoty aktívnej pôdnej reakcie pohybujú od slabo kyslej (5,69 v hĺbke 0-10 cm) až po silne alkalickú, (9,85 v hĺbke 0-10 cm), čo sa odráža aj v typologicko-produkčných kategóriách sledovaných pôd, ktoré sa pohybujú v rozmedzí od produkčných orných pôd (v skupine čiernic na karbonátových fluviaľných sedimentoch) až po málo produkčné trvalé trávne porasty (skupina zasolených pôd). Najvyššie priemerné hodnoty aktívnej aj výmennej pôdnej reakcie vo všetkých hĺbkach sme stanovili v skupine zasolených pôd na rôznych substrátoch. Priemerné hodnoty pôdnej reakcie v alkalickú oblasti a silne alkalickú výrazne znižujú kvalitu pôd.

Variačné rozpätie hodnôt pôdnej reakcie sa v jednotlivých skupinách pôd výrazne líši. Z pohľadu hodnôt pôdnej reakcie najhomogénnejšiu skupinu pôd predstavujú čiernice na karbonátových fluviaľných sedimentoch využívané ako orné pôdy (variačné rozpätie v hĺbke 0 – 10 cm je 0,78, v hĺbke 35 – 45 cm 0,75). V skupine pôd čiernice na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch využívané ako orné pôdy je variačné rozpätie výrazne vyššie (variačné rozpätie v hĺbke 0 – 10 cm je 1,38, v hĺbke 35 – 45 cm 1,85). V špecifickej skupine zasolených pôd je variačné rozpätie najvyššie a to 3,95 v hĺbke 0 – 10 cm a 2,41 v hĺbke 35 – 45 cm.

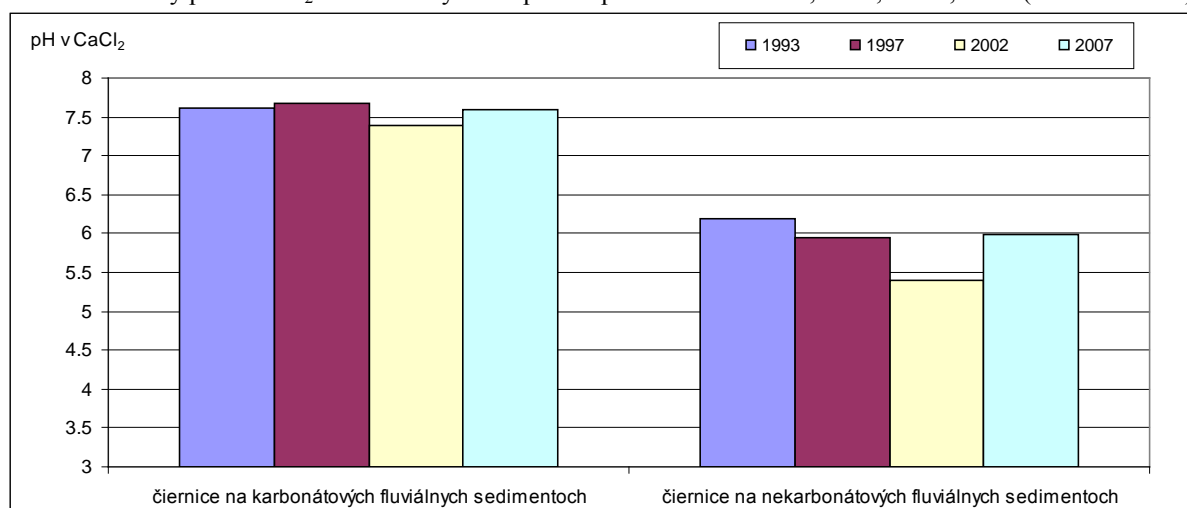
Rozdiely v hodnotách pôdnej reakcie v profile, medzi hĺbkou 0 – 10 cm a 35 – 45 cm, sú ovplyvnené na jednej strane materským substrátom, jeho minerálna bohatosť, kyslosť či zásaditosť sa najviac odráža v hodnotách pôdnej reakcie hlbších horizontov, na druhej strane, hlavne v hĺbke 0 – 10cm sa zintenzívňuje aj vplyv antropogénnych činiteľov - obrábanie pôdy, aplikácia ochranných opatrení, vplyv emisných zložiek atmosféry či spôsob využívania. Prítomnosť karbonátov v materskom substráte sa odrazila vo výrazných rozdieloch v hodnotách pôdnej reakcie v skupine čiernic, priemerná hodnota pH v H₂O v skupine čiernic na karbonátových fluviaľných sedimentoch je o 1,48 jednotiek vyššia ako v prípade čiernic na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch, rozdiel sa zvyšuje v profile s hĺbkou, v hĺbke 35 – 45 cm je to 1,69 jednotiek.

Okrem priestorových zmien v profile sme sledovali aj časové zmeny pôdnej reakcie a to na lokalitách v jednotlivých skupinách pôd, kde sa uskutočnil odber vo všetkých štyroch odberových rokoch. Priemerné hodnoty aktívnej a výmennej pôdnej reakcie v sledovaných skupinách pôd s vyššou početnosťou (n > 2) v jednotlivých cykloch monitoringu pôd sú uvedené na obr.1 a 2. Hodnotíme predovšetkým zmeny v hĺbke 0 – 10 cm, ktoré sú vplyvom obhospodarovania ako aj potenciálnych depozitov najintenzívnejšie.

Obr. 1 Hodnoty pH v H₂O v hodnotených skupinách pôd v rokoch 1993, 1997, 2002, 2007 (hĺbka 0-10 cm)



Obr. 2 Hodnoty pH v CaCl₂ v hodnotených skupinách pôd v rokoch 1993, 1997, 2002, 2007 (hĺbka 0-10 cm)



Celkovo došlo k zníženiu priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní s rokom 1993) vo všetkých sledovaných skupinách pôd, v výraznejší v skupine čiernic na nekarbonátových fluvialných sedimentoch (pokles o 0,24 jednotiek). Aj v nízkopočetných skupinách sme zaznamenali pokles hodnôt pôdnej reakcie, v skupine antropogénne znečistených pôd (pokles o 0,28 jednotiek) a v skupine zasolených pôd o 0,61 jednotiek. V tejto skupine ide o pozitívny trend, ktorý môže pôsobiť desalinizačne a upraviť hodnotu pôdnej reakcie smerom k slabó alkalickéj až neutrálnej oblasti.

Tieto výsledky upozorňujú na znepokojivý trend v skupine čiernic na nekarbonátových fluvialných sedimentoch využívaných ako orné pôdy, v ktorej sa hodnoty aktívnej pôdnej reakcie dostávajú do slabó kyslej až kyslej oblasti. Je to predovšetkým dôsledok zníženia aplikácie agrotechnických opatrení zameraných na úpravu pôdnej reakcie kyslých a slabó kyslých pôd, ktoré sú využívané ako orné pôdy. Optimálna hodnota pôdnej reakcie patrí ku kľúčovým aspektom pri hodnotení kvality pôdy (Johnston, 2004) ako aj pri hodnotení produkčných a environmentálnych funkcií pôdy ((Makovníková, 2007, Makovníková, Barančíková, Pálka, 2007, Makovníková, Barančíková, 2004).

Preukaznosť zmien medzi prvým a štvrtým cyklom v početnejších skupinách čiernic štatisticky hodnotí Studentov t-test pre párované hodnoty (tab.2). Pri poklese kritéria "t" pod kritickú hodnotu, špecifickú pre každú skupinu podľa počtu hodnotených lokalít na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, by boli zmeny pôdnej reakcie v roku 1993 a 2007 štatisticky preukazné. K štatisticky preukazným zmenám priameho indikátora acidifikácie však v hodnotených skupinách pôd nedošlo.

Tab. 2 t-test pre pH v H₂O v hĺbke 0-10 cm (porovnanie r. 1993 a 2007)

Pôdny predstaviteľ	čiernice na karbonátových fluviaálnych sedimentoch	čiernice na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch
t kritérium	0,020	0,009

Sorpčná schopnosť pôdy ako aj zloženie výmenných kationov v pôde sú výsledkom priebehu pôdotvorného procesu v kontexte s klimatickými podmienkami, sú ovplyvňované využívaním pôdy a agrotechnickými vstupmi do pôdy. Zloženie a kvalita sorpčného komplexu spolu s obsahom a kvalitou organickej hmoty v pôde patria k priamym indikátorom kvality pôdy (Hanes, Poláček, 2002, Makovníková, Barančíková, 2004). Zastúpenie výmenných bázičných kationov v sorpčnom komplexe pôdy v jednotlivých skupinách pôd je uvedené v tabuľke 3a, 3b.

Tab.3a Popisná štatistika výmenných bázičných kationov v hĺbke 0 – 10 cm v roku 2007

Pôdny predstaviteľ ¹	Na v cmol(p ⁺).kg ⁻¹			K v cmol(p ⁺).kg ⁻¹			Ca v cmol(p ⁺).kg ⁻¹		
	Min	Max	X ²	Min	Max	X ²	Min	Max	X ²
čiernice na karbonátových fluviaálnych sedimentoch	0,023	0,504	0,101	0,300	1,450	0,674	17,900	35,400	25,240
čiernice na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch	0,003	0,062	0,038	0,400	2,730	1,043	9,590	27,900	16,974
zasolené pôdy	0,064	24,400	4,483	0,340	1,520	0,656	4,980	53,000	28,660
antropogénne znečistené pôdy	0,096	0,134	-	0,210	0,830	-	13,100	22,200	-

Tab. 3b Popisná štatistika výmenných kationov v hĺbke 0 - 10 cm v roku 2007

Pôdny predstaviteľ ¹	Mg v cmol(p ⁺).kg ⁻¹			Ca ²⁺ /Mg ²⁺		
	Min	Max	X ²	Min	Max	X ²
čiernice na karbonátových fluviaálnych sedimentoch	0,800	6,240	3,209	4,520	20,396	9,764
čiernice na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch	1,090	5,220	3,093	3,980	9,820	5,847
zasolené pôdy	1,120	8,980	4,140	4,010	12,010	6,780
antropogénne znečistené pôdy	5,610	16,400	-	0,799	3,957	-

¹Soil representative ²arithmetic mean-

OP - orná pôda - arable land, TTP - trvalý trávny porast - permanent grassland

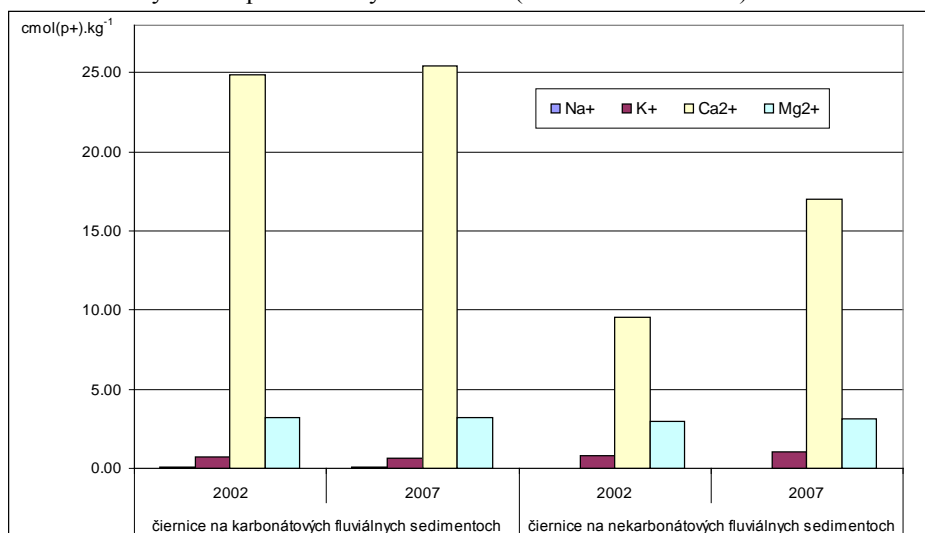
Najvyššie priemerné zastúpenie výmenného vápnika je v skupine pôd na karbonátových substrátoch, a to v skupine čiernic na karbonátových fluviaálnych sedimentoch, 86 %, nižšie zastúpenie je v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch 80 % ako aj v skupine antropogénne znečistených pôd od 43 % do 77 % zo sumy bázičných kationov. Výrazný rozdiel medzi skupinou čiernic na karbonátových a nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch je v zastúpení výmenného draslíka a horčíka, ktoré je vyššie v prípade pôd na nekarbonátových sedimentoch, a to pre výmenný draslík 2,25 % v skupine čiernic na karbonátových fluviaálnych sedimentoch a 5,11 % v skupine čiernic na

nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch a pre výmenný horčík 10,6 % v skupine čiernic na karbonátových fluviaálnych sedimentoch a 14,5 % v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch. V skupine zasolených pôd s ú pomery v zastúpení bázičických katiónov odlišné. Priemerný obsah výmenného vápnika je 70 %, pričom minimálny obsah v tejto skupine je 16 % a maximálny 91 % zo sumy bázičických katiónov. Priemerný obsah výmenného sodíka je 17 % zo sumy výmenných katiónov, maximálna hodnota predstavuje až 79,06 % z tejto sumy. Extrémne zastúpenie v tejto skupine v prípade niektorých lokalít má aj výmenný horčík, priemerne je to 10 %, minimálne zastúpenie je 3,60 % a maximálne 15,77 % zo sumy bázičických katiónov.

Priemerné hodnoty pomeru $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ sa pohybujú od 5,84 : 1 v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch, využívaných ako orné pôdy, po 9,76 : 1 v skupine čiernic na karbonátových fluviaálnych sedimentoch, využívaných 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 optimálny rast poľnohospodárskych plodín. Pri hodnotení orných pôd (obidve skupiny čiernic) na 48 % lokalít sme stanovili pomer katiónov $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ v uvedenom rozmedzí, na 4 % lokalít je pomer týchto katiónov nižší ako 4 : 1 a na 48 % lokalít je pomer $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ vyšší ako 6 : 1.

Zmeny v zastúpení bázičických katiónov na orných pôdach medzi tretím a štvrtým odberovým cyklom sú na obr. 3.

Obr. 3 Zmeny v zastúpení bázičických katiónov (rok 2002 a rok 2007)



Positívny trend sme zaznamenali v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch, využívaných ako orné pôdy, kde došlo k zvýšeniu obsahu výmenného vápnika v porovnaní s tretím odberovým cyklom.

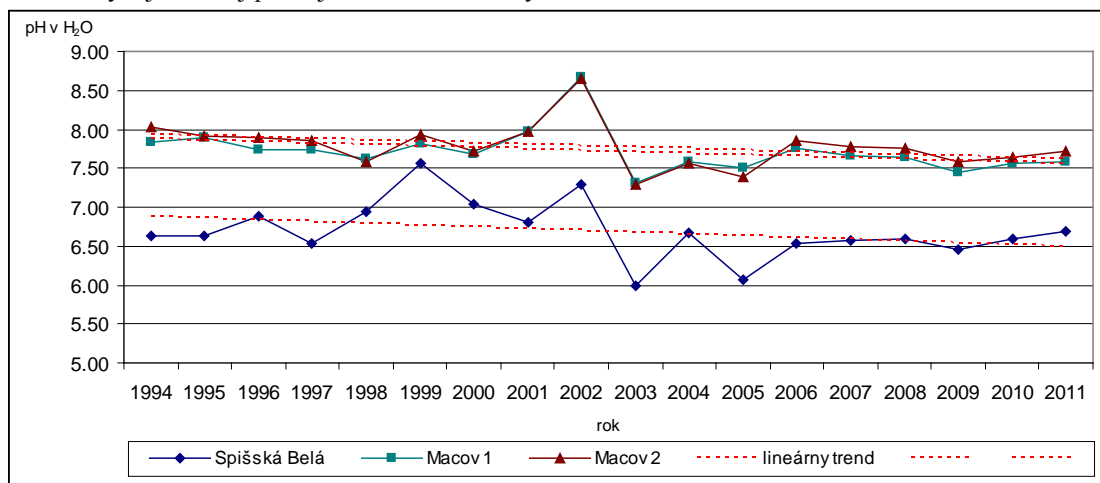
K pozitívnym zmenám v zastúpení bázičických katiónov v roku 2007 v porovnaní s rokom 2002 došlo aj na lokalite Hačava zo skupiny antropogénne znečistených pôd, obsah výmenného horčíka klesol z 22,39 na 16,40 $\text{cmol(p}^+ \text{).kg}^{-1}$ a obsah výmenného vápnika sa zvýšil z 6,18 na 13,10 $\text{cmol(p}^+ \text{).kg}^{-1}$.

Vyhodnotenie pôdnej reakcie a bázičických katiónov na kľúčových lokalitách

Na kľúčových lokalitách s periodickým, každoročným monitorovaním pôdnej reakcie v rokoch 1994 až 2011 môžeme zaznamenať vývojové trendy podmienené kapacitou a potenciálom pufrujúceho systému sledovaných pôd.

Hodnotené skupiny pôd reprezentujú tri kľúčové lokality (obr. 4) Spišská Belá – ČAa, Mollic Fluvisol (Anthric, Eutric, Siltic), Macov 1 – ČAa, Endofluvic Chernozem (Anthric, Siltic), a Macov 2 – ČAa, Endofluvic Chernozem (Anthric, Siltic).

Obr. 4 Vývoj aktívnej pôdnej reakcie na kľúčových lokalitách



Vývoj hodnoty pH pôd v skupine čiernic - kľúčové lokality využívaných ako orné pôdy osciluje s výchytkami okolo pôvodnej hodnoty na lokalite Spišská Belá, potenciálne vyrovnanejší priebeh môžeme sledovať na lokalitách Macov 1 a Macov 2 s výnimkou roku 2002.

Na kľúčových lokalitách sledujeme aj priestorovú variabilitu parametrov z piatich separátnych vzoriek odobraných z piatich odberových miest na danej lokalite (tab. 4).

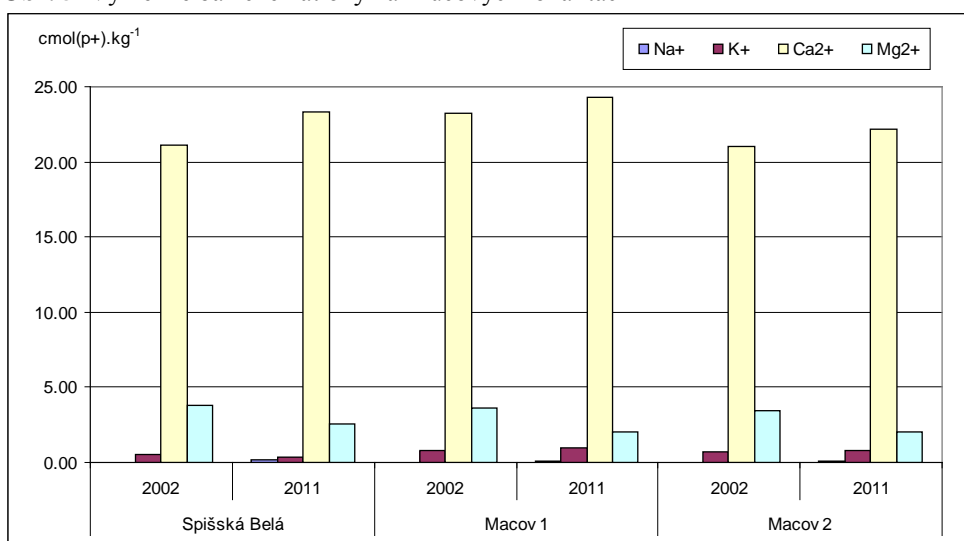
Tab. 4 Priestorová variabilita výmennej pôdnej reakcie pH v H₂O na kľúčových lokalitách v roku 2011

Lokalita	štatistické charakteristiky				
	minimum	maximum	priemer	smerodajná odchýlka	varičné rozpätie
Spišská Belá	6,47	6,80	6,69	0,170	0,33
Macov 1	7,46	7,77	7,58	0,110	0,31
Macov 2	7,59	7,85	7,72	0,090	0,26

Varičné rozpätie na kľúčových lokalitách reprezentujúcich skupinu čiernic sa pohybuje od 0,26 do 0,33 a je relatívne vysoké, prekračuje mieru neurčitosti pre stanovenie hodnoty pH, ktorá je 0,2 jednotky.

Prevládajúcim katiónom na sledovaných kľúčových lokalitách je vápnik (obr.5).

Obr. 5 Výmenné bázičné katióny na kľúčových lokalitách



Pomer $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ sa na kľúčových lokalitách reprezentujúcich čiernice v roku 2002 pohyboval od 5,51 (lokalita Spišská Belá) do 6,32 (lokalita Macov 1) takmer v optimálnom rozmedzí pre pestovanie plodín. V priebehu rokov 2002 a ž 2011 došlo k nárastu obsahu výmenného vápnika na všetkých troch lokalitách a k poklesu obsahu výmenného horčíka na všetkých sledovaných lokalitách, čo spôsobilo negatívnu zmenu pomeru $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$, od 8,99 (lokalita Spišská Belá) do 11,91 (lokalita Macov 1) a ani na jednej lokalite už nie je v optimálnom rozmedzí 4:1 až 6:1.

Vyhodnotenie stavu aktívneho hliníka vo vybratých skupinách pôd

Rozpustnosť rôznych foriem hliníka je primárne podmienená hodnotami pôdnej reakcie, pričom dominantnou toxickou formou hliníka je mobilný hliník, voľné katióny Al^{3+} a hydrolytické ióny hliníka $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. S rastúcou hodnotou pH sa strácajú H_2O skupiny a vzniká hydroxid hlinitý, ktorý je potenciálne nerozpustný. Rozpustnosť a tým aj prístupnosť hliníka exponenciálne narastá s klesajúcou hodnotou pôdnej reakcie (Mládková a i., 2004).

Vychádzajúc z parametrov rozpustnosti hliníka, aktívny Al bol nameraný len v pôdach s hodnotami $\text{pH}/\text{KCl} < 6,00$ v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch (tab. 5).

Tab. 5 Distribúcia aktívneho hliníka v hĺbke 0– 10 cm, 35 – 45 cm v odberovom roku 2007 (4. cyklus)

Pôdny predstaviteľ	Hĺbka odberu vzorky / cm/	Al v mg.kg^{-1}			$\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$		
		Min	Max	\bar{X}^3	Min	Max	\bar{X}^3
čiernice na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch	0 – 10	0,100	11,700	2,821	0,007	1,220	0,256
	35 – 45	0,100	66,600	22,383	-	-	-

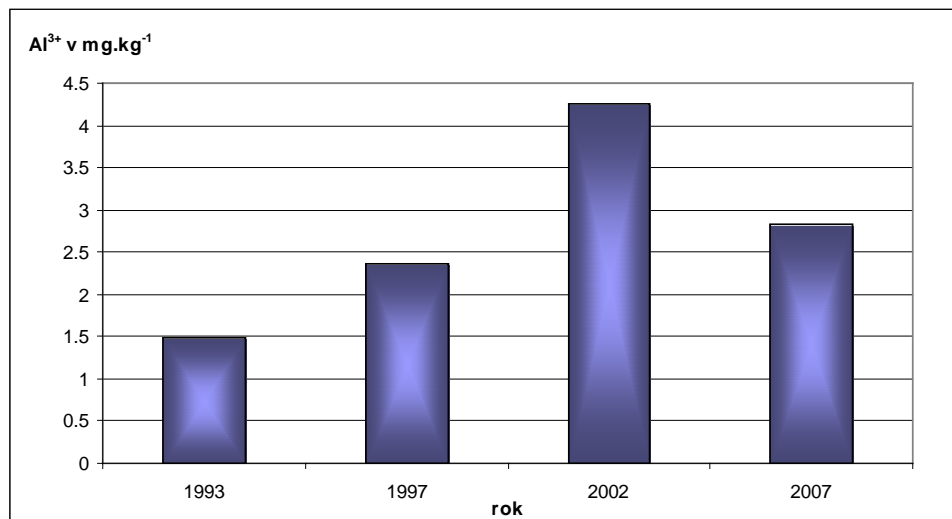
Obsah aktívneho hliníka v hĺbke 0 - 10 cm sa v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch (tab. 5) v roku 2007 pohyboval od $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ do $11,70 \text{ mg.kg}^{-1}$.

V tejto skupine je aj výrazný vertikálny nárast obsahu aktívneho hliníka s najvyššou hodnotu v hĺbke 35 – 45 cm, čo je v súlade s vertikálnym priebehom hodnôt pôdnej reakcie na niektorých lokalitách v rámci tejto skupiny, ktorá je najnižšia práve v hĺbke 35 – 45 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 hodnotenej skupine pôd, ktoré sa využívajú ako orné pôdy, došlo k prekročeniu tejto hodnoty len na jednej lokalite. V tejto skupine je aktívny hliníkový stres pre pestované plodiny len na jednej lokalite.

Zmeny v obsahu aktívneho hliníka v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch sú na obr. 6.

Obr. 6 Hodnoty aktívneho hliníka v hĺbke 0 – 10 cm v rokoch 1993, 1997, 2002 a 2007



V skupine čiernic na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch sme zaznamenali v priebehu monitoringu pozitívny trend vo vývoji obsahu aktívneho hliníka v odb erovom roku 2007 v porovnaní s rokom 2002. Obsah aktívneho hliníka má však v porovnaní s rokom 1993 stúpajúcu tendenciu. V tejto skupine je reálny hliníkový stres pre citlivé plodiny aj pre menej citlivé plodiny indikovaný len na jednej lokalite, na ktorej je pomer Al^{3+}/Ca^{2+} vyšší ako 1,0.

Záver

- Najväčší pokles priemernej hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (v porovnaní rok 2007 s rokom 1993) v celom sledovanom období v hĺbke 0 – 10 cm sme zaznamenali v skupine zasolených pôd a o to o 0,61 jednotiek. V tejto skupine ide o pozitívny trend
- Prítomnosť karbonátov v materskom substráte sa odrazila vo výrazných rozdieloch v hodnotách pôdnej reakcie v skupine čiernic, priemerná hodnota pH/H₂O v skupine čiernic na karbonátových fluviaľných sedimentoch je o 1,48 jednotiek vyššia ako v prípade čiernic na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch, rozdiel sa zvyšuje v profile s hĺbkou, v hĺbke 35 – 45 cm je to 1,69 jednotiek
- Výrazný rozdiel medzi skupinou čiernic na karbonátových a nekarbonátových fluviaľných sedimentoch je v zastúpení výmenného draslíka a horčíka, ktoré je vyššie v prípade pôd na nekarbonátových sedimentoch, a to pre výmenný draslík 2,25 % v skupine čiernic na karbonátových fluviaľných sedimentoch a 5,11 % v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch a pre výmenný horčík 10,6% v skupine čiernic na karbonátových fluviaľných sedimentoch a 14,5 % v skupine čiernic na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch.
- V skupine zasolených pôd sú pomery v zastúpení bázičných katiónov odlišné. Priemerný obsah výmenného vápnika je 70 %, pričom minimálny obsah v tejto skupine je 16 % a maximálny 91 % zo sumy bázičných katiónov. Priemerný obsah výmenného sodíka je 17 % zo sumy výmenných katiónov, maximálna hodnota predstavuje až 79,06 % z tejto sumy. Extrémne zastúpenie v tejto skupine v prípade niektorých lokalít má aj výmenný horčík, priemerne je to 10 %, minimálne zastúpenie je 3,60 % a maximálne 15,77 % zo sumy bázičných katiónov.
- Pri hodnotení orných pôd (obidve skupiny čiernic) na 48 % lokalít sme stanovili pomer $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ v optimálnom rozsahu pre rast poľnohospodárskych plodín.

- Kritická hladina pomeru Al^{3+}/Ca^{2+} je pre citlivé plodiny je 0,50, pre menej citlivé plodiny 1,00. V skupine čiernic na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch, ktoré sa využívajú ako orné pôdy, došlo k prekročeniu hodnoty 1,0 na jednej lokalite, čo predstavuje aktívny hliníkový stres pre pestované plodiny.

Zoznam použitej literatúry

- 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 I esného ekosystému južnej tajgy. Lesné pôdoznanectvo, 10, 1990, 121-136
- Hanes, J., Poláček, Š.2002: Koloidná chémia pôdy, VUPOP 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 soil quality. CABI Publishing, 2004, 344 p., I SBN 85-1996-71-X
- Kanianska, R. 2000: Acidifikácia pôd vpl yvom kyslých atmosférických polutantov, Bratislava, 2000, 96s.
- 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 : VUPOP, 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., 2009: 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

Salinizácia a sodifikácia

Monitoring procesov salinizácie a sodifikácie v roku 2011 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, v úparný 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 katastroch 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	IŽA okres Komárno	Čiernica kultizemná karbonátová v počiatočnom štádiu sodifikácie
400 176	GABČIKOVO okres Dunajská Streda	Čiernica kultizemná slabo slancová
400 177	ZLATNÁ NA OSTROVE okres Komárno	Čiernica kultizemná černozemná hlboko slancová
400 178	KOMÁRNO-HADOVCE	Čiernica kultizemná černozemná slabo slancová
400 179	ZEMNÉ okres Nové Zámky	Čiernica kultizemná glejová slabo slancová
400 138	KAMENÍN okres Nové Zámky	Slanec čiernicový
400 229	MALÉ RAŠKOVCE okres Trebišov	Slanec kultizemný
400 063	ŽIAR NAD HRONOM	Fluvizem glejová sekundárne zasolená

Odber pôdnych vzoriek sa uskutočňuje v ročných intervaloch v jarých mesiacoch marec – máj. To umožňuje stanoviť ten obsah solí, ktorý zostal v pôde po jesenných, zimných a skorých jarých 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⁺, K⁺, Ca²⁺ - plameňová fotometria

Mg²⁺ - atómová absorpčná spektrofotometria (AAS)

HCO₃⁻, CO₃²⁻ - titračne (0,05 M H₂SO₄)

Elektrická vodivosť (EC) – konduktometricky

pH – potenciometricky

odparok – gravimetricky

SO₄²⁻ - gravimetricky

Cl⁻ - 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

Podľa elektrickej vodivosti (ECe) a celkového obsahu solí.

ECe (mS.m ⁻¹)	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

Zastúpenie výmenného sodíka (ESP) v sorpčnom komplexe.

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

Výsledky a ich hodnotenie

V roku 2011 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 2010 zaznamenali na všetkých monitorovaných pôdach (Tab. 2).

Tab. 2 Rozbor vodného výluhu pôd v roku 2011

Lokalita	Horizont	Hĺbka cm	pH	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Celkový obsah solí (%)
				mmol/kg								
Iža 400180	Akpc	0-10	7,56	<0,5	5,80	<0,40	<0,15	3,34	1,20	0,46	0,17	0,10
	Akpc	15-25	7,52	<0,5	5,80	<0,40	<0,15	2,79	1,09	0,42	0,11	0,07
	Amčc	30-40	7,54	<0,5	5,90	<0,40	<0,15	2,87	1,26	0,38	0,04	0,07
	CGo	75-85	7,73	<0,5	4,20	<0,40	<0,15	0,97	1,54	0,32	0,03	0,03
	CGo(Bn)	90-100	7,75	<0,5	4,40	<0,40	<0,15	0,92	1,87	0,41	0,03	0,02
Zemné 400179	Akpc	0-10	7,50	<0,5	4,00	<0,40	0,37	3,74	0,650	1,71	0,29	0,11
	Akpc	10-20	7,63	<0,5	5,00	0,43	0,57	3,69	0,720	0,85	0,21	0,11
	A/CGo(Bn)	45-55	7,72	<0,5	5,05	<0,40	0,38	3,02	0,560	1,51	0,04	0,06
	CGro(Bn)	65-75	7,47	<0,5	4,30	<0,40	0,69	3,42	0,490	3,01	0,03	0,07
	CGr(Bn)	100-110	7,30	<0,5	4,10	<0,40	0,38	1,34	0,320	1,47	0,07	0,04
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	8,1	<0,5	5,803	<0,40	0,45	1,39	0,97	0,87	0,64	0,14
	Akpc	10-20	8,12	<0,5	6,00	0,42	0,21	4,44	0,90	0,54	0,35	0,12
	Amčc	40-50	8,18	<0,5	5,90	<0,40	0,15	3,62	0,84	0,51	0,11	0,10
	A/CGo	65-75	8,08	<0,5	4,90	0,66	1,17	2,69	1,14	0,53	0,09	0,04
	CGroc(Bn)	90-100	8,10	<0,5	4,00	0,55	2,05	2,35	1,50	0,87	0,07	0,06
	CGroc(Bn)	100-110	8,16	<0,5	3,75	0,5	2,73	2,50	1,53	1,03	0,04	0,06
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	8,04	<0,5	6,15	<0,40	<0,15	2,48	0,95	0,48	0,39	0,10
	Akpc	10-20	8,02	<0,5	7,65	<0,40	<0,15	2,29	0,95	0,80	0,34	0,10
	A/CGoc(Bn)	40-45	7,95	<0,5	6,20	0,55	0,59	1,78	1,14	1,86	0,11	0,08
	CGoc(Bn)	50-65	8,15	<0,5	4,70	0,41	1,57	1,23	1,37	3,03	0,06	0,09
	CGoc(Bn)	100-110	8,06	<0,5	4,05	1,15	3,72	0,99	1,67	8,44	0,06	0,10
Komárno Hadovce 400178	Akpc	0-10	7,88	<0,5	5,90	0,77	0,27	2,84	0,94	0,78	0,85	0,10
	Akpc	10-20	8,09	<0,5	5,90	0,56	<0,15	3,19	0,93	0,90	0,63	0,09
	A/CGoc(Bn)	40-50	7,48	<0,5	3,90	<0,40	4,47	5,61	3,07	1,35	0,18	0,16
	CGroc(Bn)	55-60	8,21	<0,5	3,65	<0,40	4,88	7,19	4,94	2,32	0,11	0,22
	CGroc(Bn)	70-80	7,96	<0,5	3,50	1,01	4,77	3,74	4,32	4,57	0,05	0,15
	CGroc(Bn)	100-110	8,09	<0,5	3,00	0,97	4,42	2,77	3,06	4,08	0,07	0,11
Kamenín 400138	Ame	0-10	9,34	3,402	19,5	4,18	4,81	2,72	0,090	39,40	1,13	0,35
	Ame	10-20	9,23	2,801	20,4	4,02	4,12	0,64	0,070	46,5	1,39	0,33
	Ame	20-30	9,96	6,803	28,0	2,52	4,60	0,83	0,100	56,5	1,04	0,60
	Ame	40-50	9,92	7,004	34,2	1,79	13,7	1,65	0,270	53,7	2,44	0,83
	Bn	60-70	9,64	4,002	26,9	1,13	3,8	0,49	0,080	41,9	0,75	0,37
	Bn	80-90	9,38	3,202	16,9	1,54	1,62	0,58	0,100	29,6	0,70	0,20
	Bn	100-110	9,01	0,9	9,2	1,67	0,74	0,46	0,330	15,1	0,10	0,09
Malé Raškovce 400229	Akp	0-10	7,10	<0,5	2,60	<0,40	0,29	0,48	0,35	2,7	0,16	0,14
	Akp	20-30	7,63	<0,5	4,30	<0,40	0,19	0,68	0,070	5,61	0,16	0,15
	Aoe	35-45	8,35	<0,5	8,00	<0,40	0,70	0,33	0,070	12,20	0,57	0,34
	Bn	50-60	9,11	<0,5	16,9	0,75	2,96	0,20	0,240	28,20	0,19	0,27
	Bn	70-80	9,04	<0,5	13,4	0,56	4,0	0,32	0,210	33,4	0,13	0,27
	Bn	120-130	7,93	<0,5	4,90	<0,40	4,1	0,24	0,170	20,3	0,08	0,17
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	8,95	1,001	25,4	0,76	4,99	2,14	0,33	41,6	0,20	0,74
	AoGo	10-20	9,44	2,801	31,1	0,81	5,97	1,84	0,24	58,5	0,29	0,90
	AoGo	20-30	9,58	2,551	26,4	0,68	5,90	0,81	0,15	63,2	0,24	0,97
	Gro	35-45	9,61	2,351	28,9	0,59	5,82	0,43	0,10	66,0	0,29	0,91
	Gro	55-65	9,22	2,251	23,1	0,48	5,05	0,60	0,08	56,6	0,40	0,69
	Gro	75-85	8,45	<0,5	14,3	0,52	4,21	0,39	0,04	33,4	0,19	0,41

Poznámka: údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť solných 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, Zlatná na Ostrove a Malé Raškovce.

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. 3 Rozbor nasýteného extraktu pôd v roku 2011

Lokalita	Horizont	Hĺbka cm	ECe mS.m ⁻¹	Na	Mg mmol.l ⁻¹	Ca	SAR	ESP %
Iža 400180	Akpc	0-10	70	0,25	1,15	5,22	0,14	0,9
	Akpc	15-25	57	0,27	0,94	4,24	0,17	1,2
	Amčc	30-40	54	0,25	1,00	3,51	0,17	1,2
	CGo	75-85	38	0,30	1,10	1,38	0,27	2,2
	CGo(Bn)	90-100	36	0,38	1,02	1,13	0,36	3,0
Zemné 400179	Akpc	0-10	77	0,91	0,57	5,74	0,51	4,1
	Akpc	10-20	78	0,57	0,63	3,45	0,40	3,2
	A/CGo(Bn)	45-55	57	1,14	0,47	3,46	0,81	5,7
	CGro(Bn)	65-75	51	2,37	0,31	1,76	2,33	9,4
	CGr(Bn)	100-110	58	2,37	0,46	2,50	1,95	8,9
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	96	0,89	0,88	6,87	0,45	3,6
	Akpc	10-20	74	0,48	0,74	4,74	0,29	2,4
	Amčc	40-50	60	0,36	0,63	3,93	0,24	1,9
	A/CGo	65-75	58	1,13	0,75	2,52	0,88	6,1
	CGroc(Bn)	90-100	89	1,17	1,66	3,88	0,70	5,2
	CGroc(Bn)	100-110	102	1,32	1,98	4,39	0,74	5,4
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	-	66,90	0,35	1,31	51,90	56,1
	Akpc	10-20	63	0,88	0,91	3,73	0,58	4,5
	A/CGoc(Bn)	40-45	69	2,28	1,02	2,75	1,66	8,4
	CGoc(Bn)	50-65	81	3,83	1,16	2,10	3,00	10,1
	CGoc(Bn)	100-110	0	3,62	3,62	3,53	6,08	13,4
Komárno Hadovce 400178	Akpc	0-10	88	0,87	1,14	5,22	0,49	3,9
	Akpc	10-20	75	0,84	0,99	4,96	0,48	3,9
	A/CGoc(Bn)	40-50	0	1,94	4,40	12,57	0,67	5,0
	CGroc(Bn)	55-60	0	3,92	8,51	21,92	1,00	6,6
	CGroc(Bn)	70-80	0	8,48	8,23	13,53	2,57	9,7
	CGroc(Bn)	100-110	0	9,92	8,06	13,74	3,00	10,1
Kamenín 400138	Ame	0-10	1	80,00	0,69	2,92	42,10	50,1
	Ame	10-20	1	60,90	0,65	1,80	38,90	47,9
	Ame	20-30	-	30,00	0,13	1,79	21,70	33,0
	Ame	40-50	-	18,80	0,22	1,50	14,40	25,0
	Bn	60-70	-	5,87	0,16	1,00	5,47	12,5
	Bn	80-90	-	22,80	0,19	0,82	22,70	34,1
	Bn	100-110	125	17,40	0,39	0,37	20,00	31,2
Malé Raškovce 400229	Akp	0-10	94	3,35	0,45	5,39	1,96	8,91
	Akp	20-30	-	8,53	0,46	0,92	7,27	15
	Aoe	35-45	-	10,90	0,10	0,40	15,50	26,4
	Bn	50-60	-	17,80	0,22	0,19	27,80	38,9
	Bn	70-80	-	29,00	0,81	0,29	27,70	38,8
	Bn	120-130	-	23,30	1,23	0,82	16,30	27,2
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	-	41,80	0,24	4,57	19,10	30,3
	AoGo	10-20	-	-	-	-	-	-
	AoGo	20-30	-	-	-	-	-	-
	Gro	35-45	-	71,50	0,18	1,60	53,50	57
	Gro	55-65	-	54,90	0,10	0,50	70,50	64,8
	Gro	75-85	-	33,80	0,16	0,51	41,30	49,6

SAR – sodíkový adsorpčný pomer

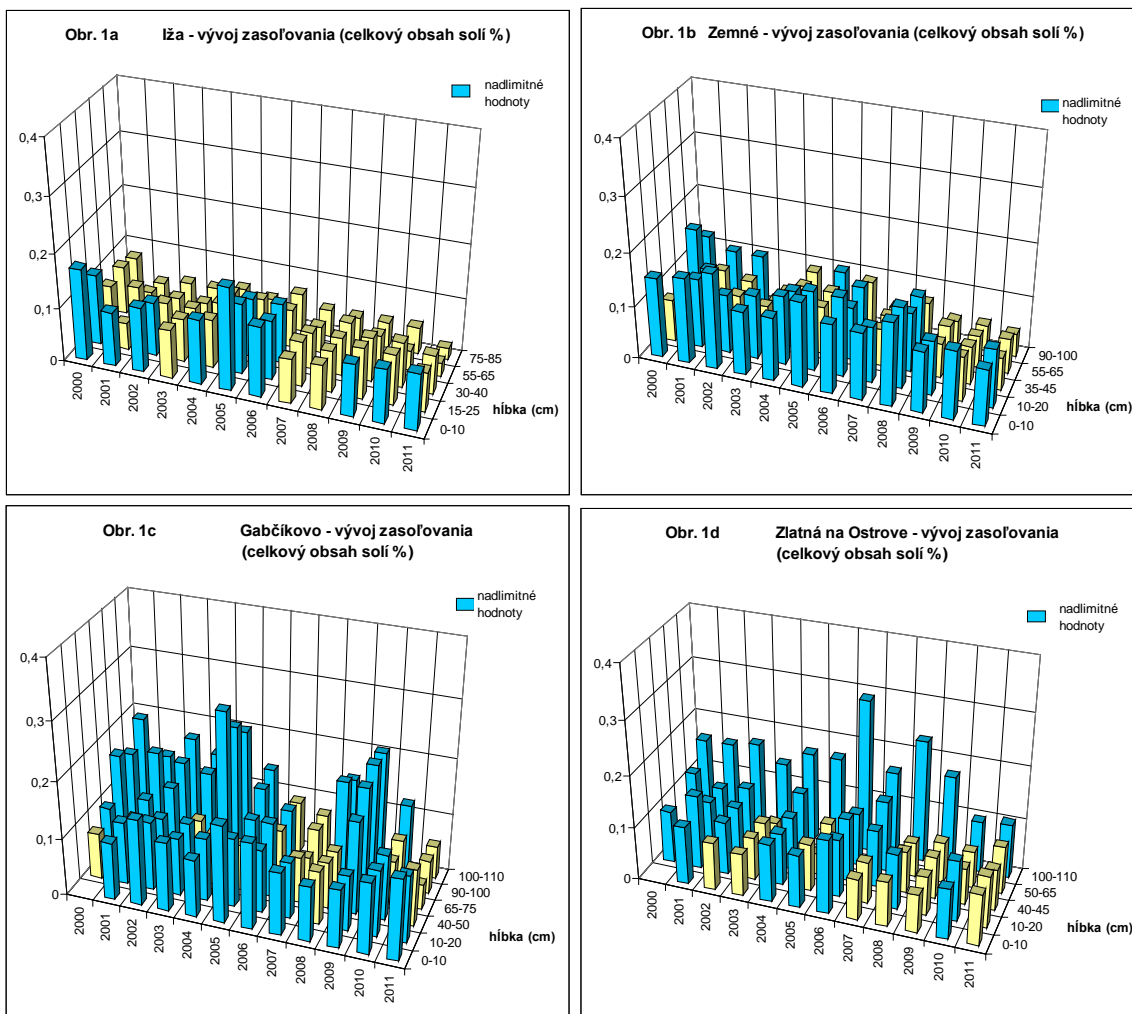
ESP – obsah výmenného sodíka

Elektrická vodivosť pôdneho extraktu (ECe) v monitorovaných pôdach nepotvrdila prítomnosť ani slabšej salinizácie v žiadnej monitorovanej lokalite (Tab.3).

Charakter salinizácie indikovaný obsahom iónov Cl^- , SO_4^{2-} a HCO_3^- (Tab.2) potvrdzuje, že prebiehajúci proces má charakter zmiešanej a sódovej salinizácie.

Vývoj salinizácie

V priebehu posledných dvanástich rokov (2000 – 2011) 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.4, Obr.1a-g) .



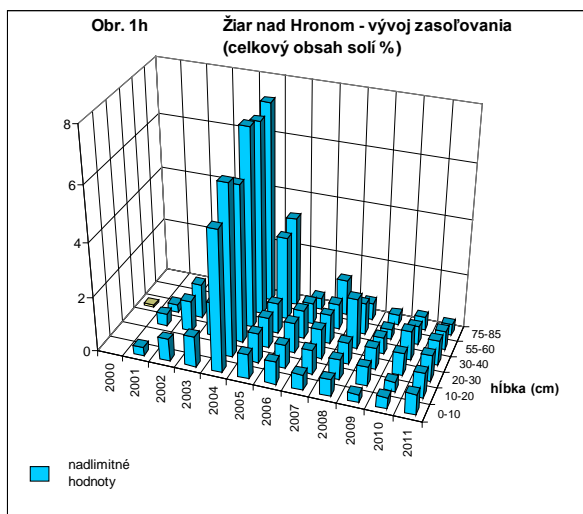
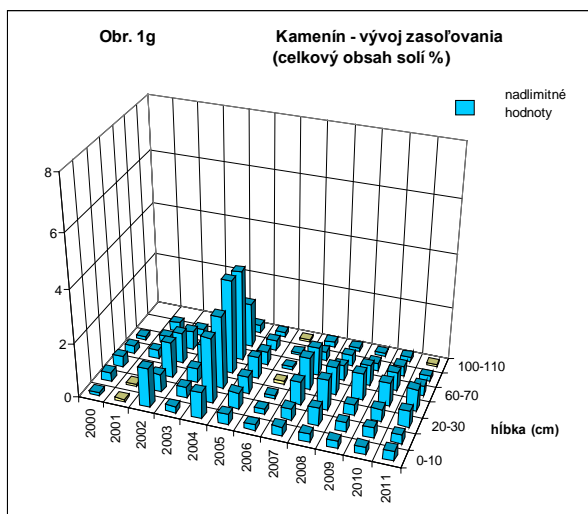
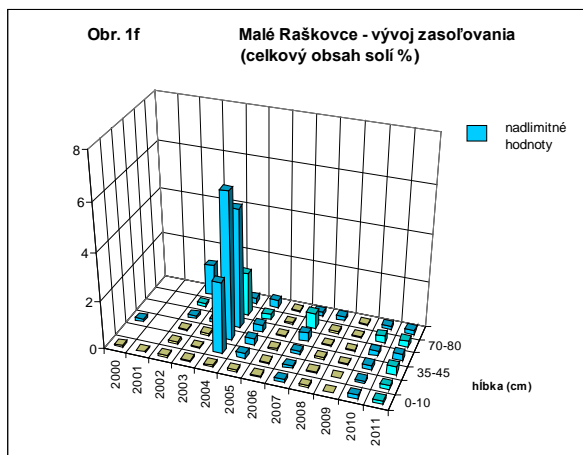
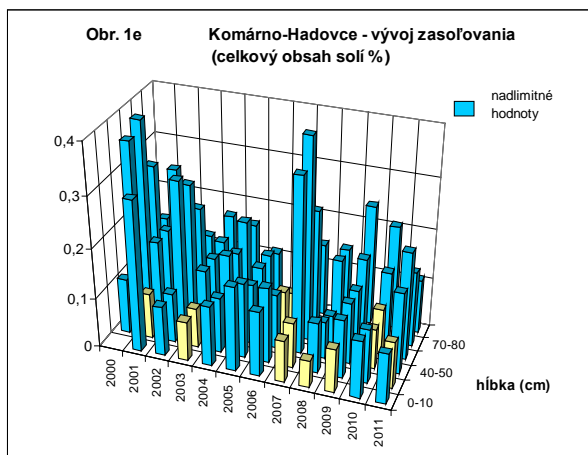
V profiloch lokalít Komárno-Hadovce a Malé Raškovce je tento proces výraznejší a prejavuje sa často vyšším obsahom solí hlavne v podornicových horizontoch a v substráte.

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 %).

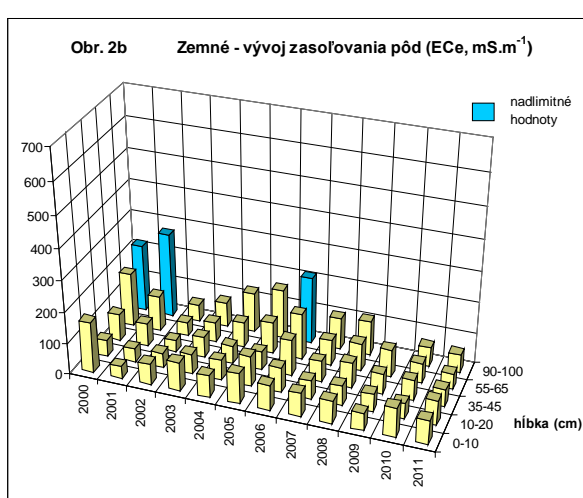
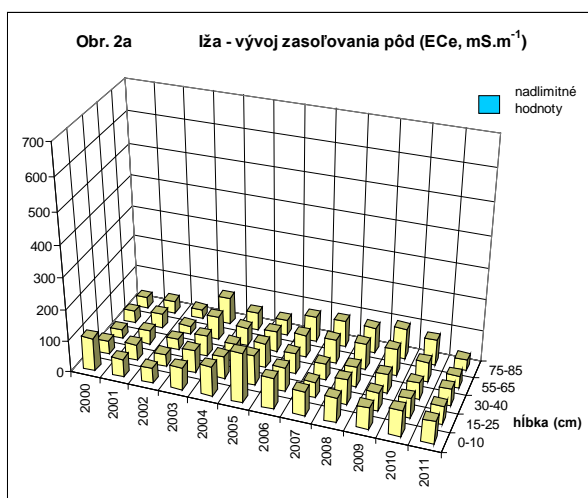
Tab. 4 Vývoj salinizácie – celkový obsah solí

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Celkový obsah solí v % (odparok 105°C)											
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Iža 400180	Akpc	0-10	0,17	0,10	0,12	0,09	0,12	0,19	0,13	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10
	Akpc	15-25	0,13	0,05	0,10	0,08	0,09	0,13	0,11	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07
	Amčc	30-40	0,08	0,09	0,07	0,07	0,09	0,11	0,11	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07
	CGo	55-65	0,09	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,05	0,07	0,05	0,04	0,03
	CGo(Bn)	75-85	0,08	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10	-	0,10	0,15	0,12	0,10	0,17	0,15	0,11	0,10	0,11	0,12	0,14
	Akpc	10-20	0,08	0,11	0,12	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10	0,09	0,10	0,12	0,12
	A/CGo(Bn)	40-50	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08	0,13	0,08	0,08	0,07	0,11	0,10
	CGro(Bn)	65-75	0,17	0,10	0,13	0,08	0,28	0,10	0,09	0,05	0,07	0,07	0,08	0,04
	CGr(Bn)	90-100	0,15	0,16	0,15	0,14	0,23	0,13	0,10	0,08	0,17	0,05	0,09	0,06
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	-	0,11	0,09	0,08	0,11	0,10	0,14	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
	Amčc	10-20	0,10	0,14	0,10	0,08	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,16	0,12	0,10
	A/CGo	40-45	0,03	0,10	0,10	0,08	0,10	0,04	0,12	0,11	0,08	0,19	0,07	0,08
	CGroc(Bn)	50-65	0,12	0,10	0,11	0,05	0,12	0,07	0,10	0,14	0,07	0,21	0,07	0,09
	CGroc(Bn)	100-110	0,16	0,16	0,17	0,14	0,17	0,17	0,29	0,16	0,23	0,20	0,10	0,10
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10	-	0,30	0,10	0,08	0,12	0,17	0,13	0,08	0,05	0,07	0,12	0,10
	Akpc	10-20	0,11	0,09	0,10	0,08	0,11	0,15	0,15	0,09	0,10	0,07	0,11	0,09
	A/CGoc(Bn)	40-50	0,36	0,17	0,30	0,13	0,17	0,12	0,11	0,35	0,07	0,08	0,08	0,16
	CGoc(Bn)	55-60	0,38	0,17	0,27	0,13	0,15	0,13	0,09	0,46	0,06	0,08	0,09	0,22
	CGoc(Bn)	70-80	0,27	0,27	0,20	0,14	0,19	0,13	0,06	0,24	0,15	0,18	0,14	0,15
Zemné 400179	Akpc	0-10	0,15	0,16	0,18	0,12	0,12	0,16	0,13	0,13	0,16	0,12	0,13	0,11
	A/CGoc(Bn)	10-20	0,08	0,13	0,11	0,12	0,13	0,15	0,15	0,11	0,15	0,12	0,08	0,11
	CGroc(Bn)	35-45	0,09	0,12	0,08	0,07	0,11	0,09	0,10	0,07	0,11	0,12	0,07	0,06
	CGroc(Bn)	55-65	0,16	0,09	0,08	0,05	0,09	0,09	0,11	0,06	0,11	0,16	0,06	0,07
	CGroc(Bn)	90-100	0,12	0,10	0,10	0,04	0,09	0,10	0,09	0,05	0,07	0,24	0,05	0,04
Kamenín 400138	Ame	0-10	0,15	0,09	1,46	0,24	0,99	0,38	0,22	0,34	0,32	0,27	0,27	0,35
	Ame	10-20	0,34	0,09	0,68	0,39	2,45	0,6	0,19	0,43	0,68	0,34	0,38	0,33
	Ame	20-30	0,40	0,14	1,34	0,55	2,72	0,65	0,14	0,86	1,14	0,41	0,46	0,60
	Ame	40-50	0,27	0,30	1,16	0,88	3,54	0,83	0,09	1,20	1,04	1,03	0,86	0,83
	Bn	60-70	0,13	0,30	0,69	0,69	3,37	0,5	0,11	1,03	0,54	0,75	0,68	0,37
Malé Raškovce 400229	Bn	80-90	-	0,34	0,26	0,36	1,63	0,38	0,1	0,34	0,39	0,29	0,37	0,20
	Bn	0-10	0,08	0,02	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,13	0,08	0,14	0,14	0,09
	Akp	20-30	-	-	0,07	0,08	3,02	0,22	0,05	0,10	0,07	0,04	0,12	0,74
	Akp	35-45	0,11	-	0,06	0,08	6,18	0,29	0,05	0,13	0,08	0,04	0,18	0,90
	Aoe	50-60	-	-	0,11	0,13	5,04	0,32	0,04	0,37	0,06	0,03	0,21	0,97
Žiar nad Hronom 400063	Bn	70-80	-	-	0,12	0,14	1,83	0,23	0,06	0,67	0,09	0,05	0,28	0,91
	Bn	120-130	-	-	1,32	0,24	0,23	0,31	0,06	0,18	0,18	0,05	0,16	0,69
	Gro	75-85	0,00	0,31	0,82	1,13	5,16	0,9	0,83	0,57	0,61	0,04	0,40	0,41
Hronom 400063	AoGo	10-20	-	-	-	-	6,25	1,1	0,87	0,90	0,76	0,28	0,36	0,14
	AoGo	20-30	-	0,46	1,15	1,26	5,74	1,11	1,12	1,10	0,79	0,69	0,83	0,15
	Gro	30-45	0,07	0,29	1,26	0,85	7,27	1,09	1,04	1,06	1,87	0,81	1,07	0,34
	Gro	55-65	-	-	-	-	7,04	3,04	0,78	0,93	1,15	0,61	0,68	0,27
	Gro	75-85	-	-	-	-	7,29	3,29	0,44	1,31	0,63	0,37	0,48	0,27

Poznámka: údaje vytlačené tučne – nadlimitné hodnoty



Elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdy (ECe) celkom nekoreluje s obsahom solí (Tab.5, Obr. 2a-g.). V pôdach lokalít z nízkym obsahom solí (Iža, Zemné, Gabčíkovo a Zlatná na Ostrove) len ojedinele prekračuje hodnotu 200 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.

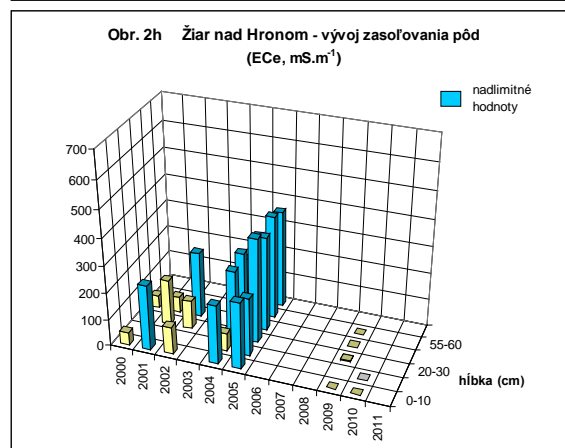
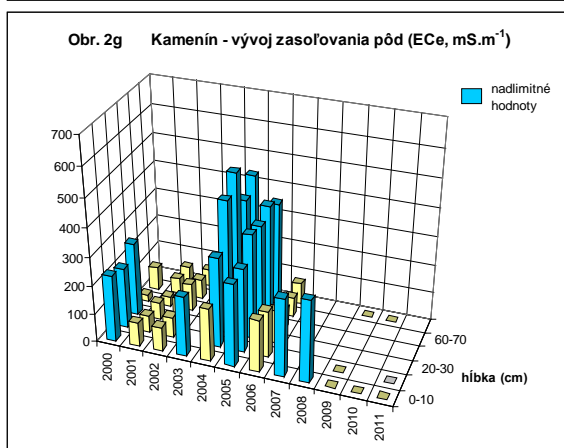
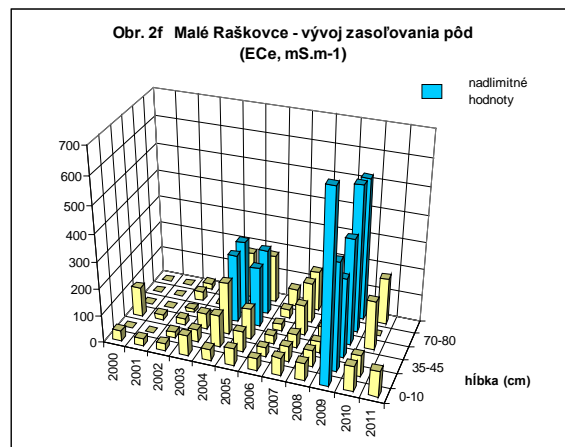
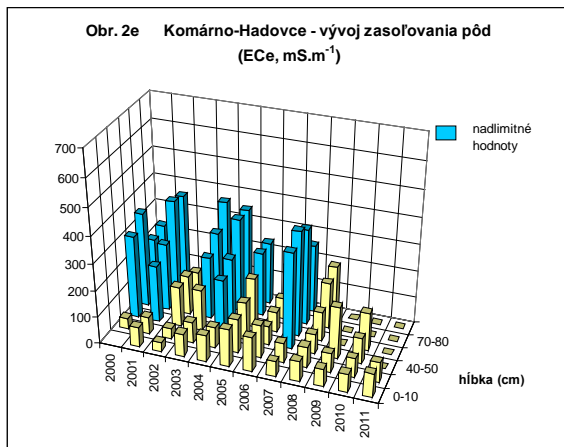
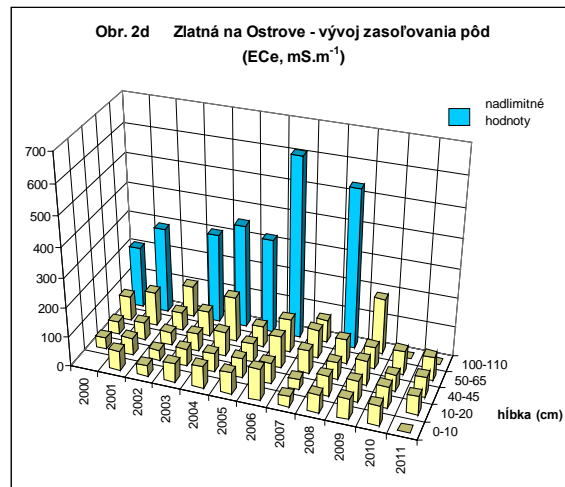
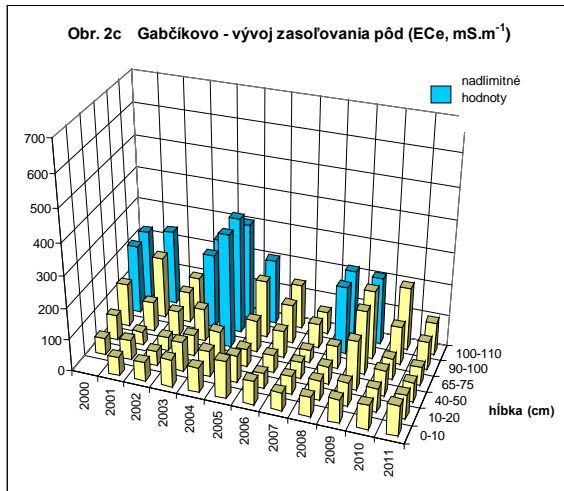


Tab. 5 Vývoj salinizácie – elektrická vodivosť (ECe)

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Elektrická vodivosť (mS.m ⁻¹)											
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Iža 400180	Akpc	0-10	106	57	49	71	95	158	99	77	79	70	84	70
	Akpc	15-25	43	51	38	72	71	95	76	50	79	59	61	57
	Amčc	30-40	29	45	36	65	58	79	66	52	63	60	53	54
	CGo	55-65	38	47	26	74	57	64	72	77	83	85	63	38
	CGo(Bn)	75-85	34	39	28	87	55	51	81	84	81	97	80	36
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10		57	60	87	80	119	75	57	62	75	77	96
	Akpc	10-20	53	63	46	92	83	86	48	57	62	75	75	74
	A/CGo(Bn)	40-50	79	43	43	66	96	58	55	51	55	155	80	60
	CGro(Bn)	65-75	136	92	80	105	357	101	85	41	71	200	67	58
	CGr(Bn)	90-100	218	195	97	233	365	182	121	76	212	216	118	89
	Akpc	100-110	223	238	99	241	305	205	141	68	218	212	198	102
Zlatná na Ostrove 400172	Akpc	0-10	-	67	38	65	75	75	107	35	63	71	69	-
	Amčc	10-20	40	58	36	59	64	67	72	36	68	72	73	63
	A/CGo	40-45	43	60	45	60	84	64	108	80	58	83	56	69
	CGroc(Bn)	50-65	83	115	62	84	152	69	113	96	82	76	81	81
	CGroc(Bn)	100-110	207	291	105	304	352	320	611	78	536	189	0	0
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10	-	73	34	85	97	139	126	55	75	66	67	88
	Akpc	10-20	42	63	37	79	79	128	123	73	77	71	71	75
	A/CGoc(Bn)	40-50	309	212	149	156	208	141	70	360	73	193	94	0
	CGoc(Bn)	55-60	355	252	147	233	244	186	75	394	111	0	141	0
	CGoc(Bn)	70-80	214	375	117	284	351	239	80	358	172	0	0	0
	Akpc	100-110	227	355	68	362	346	234	164	255	192	0	1	0
Zemné 400179	Akpc	0-10	164	39	68	92	71	98	81	77	73	55	94	77
	A/CGoc(Bn)	10-20	52	43	48	65	65	98	81	60	64	58	49	78
	CGroc(Bn)	35-45	85	73	37	66	57	58	116	67	81	66	66	57
	CGroc(Bn)	55-65	171	115	43	62	82	102	147	81	89	88	64	51
	CGroc(Bn)	90-100	218	273	53	80	129	158	215	101	111	-	63	58
Kamenín 400138	Ame	0-10	232	83	84	210	186	288	182	273	286	0	0	1
	Ame	10-20	212	59	71	-	316	293	164	-	-	0	-	1
	Ame	20-30	257	57	92	-	466	367	117	-	-	-	-	-
	Ame	40-50	25	33	97	-	520	354	71	-	-	-	-	-
	Bn	60-70	82	57	69	-	388	382	69	-	-	-	-	-
	Bn	80-90	-	54	60	-	434	349	76	-	-	3	0	-
Malé Raškovce 400229	Bn	0-10	39	26	27	74	42	62	44	66	65	689	94	125
	Akp	20-30	-	-	20	47	121	77	34	57	60	399	80	-
	Akp	35-45	109	22	22	61	194	113	30	53	43	294	-	-
	Aoe	50-60	-	-	13	-	251	221	24	114	47	390	180	-
	Bn	70-80	-	-	34	-	259	242	33	151	51	539	0	-
	Bn	120-130	-	-	21	-	174	178	65	149	59	523	172	-
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	46	241	103	-	219	247	-	-	-	3	0	-
	AoGo	10-20	-	-	-	-	66	215	-	-	-	-	0	94
	AoGo	20-30	-	167	106	-	251	387	-	-	-	3	-	-
	Gro	30-45	46	57	244	-	273	348	-	-	-	3	-	-
	Gro	55-65	-	-	-	-	207	382	-	-	-	3	-	-
	Gro	75-85	-	-	-	-	254	359	-	-	-	-	-	-

Poznámka: údaje vytlačené tučne – nadlimitné hodnoty

Z údajov Tab. 4 a 5 ďalej vyplýva veľká priestorová a horizontálna variabilita nameraných hodnôt obsahu solí a elektrickej vodivosti. Tento jav je u nás pre vývoj a rozšírenie soľných pôd typický.



Sodifikácia pôd

Sodifikácia pôd ako proces viazania výmenného sodíka na sorpčný komplex monitorovaných pôd v r. 2011 je porovnateľný s predchádzajúcimi rokmi.

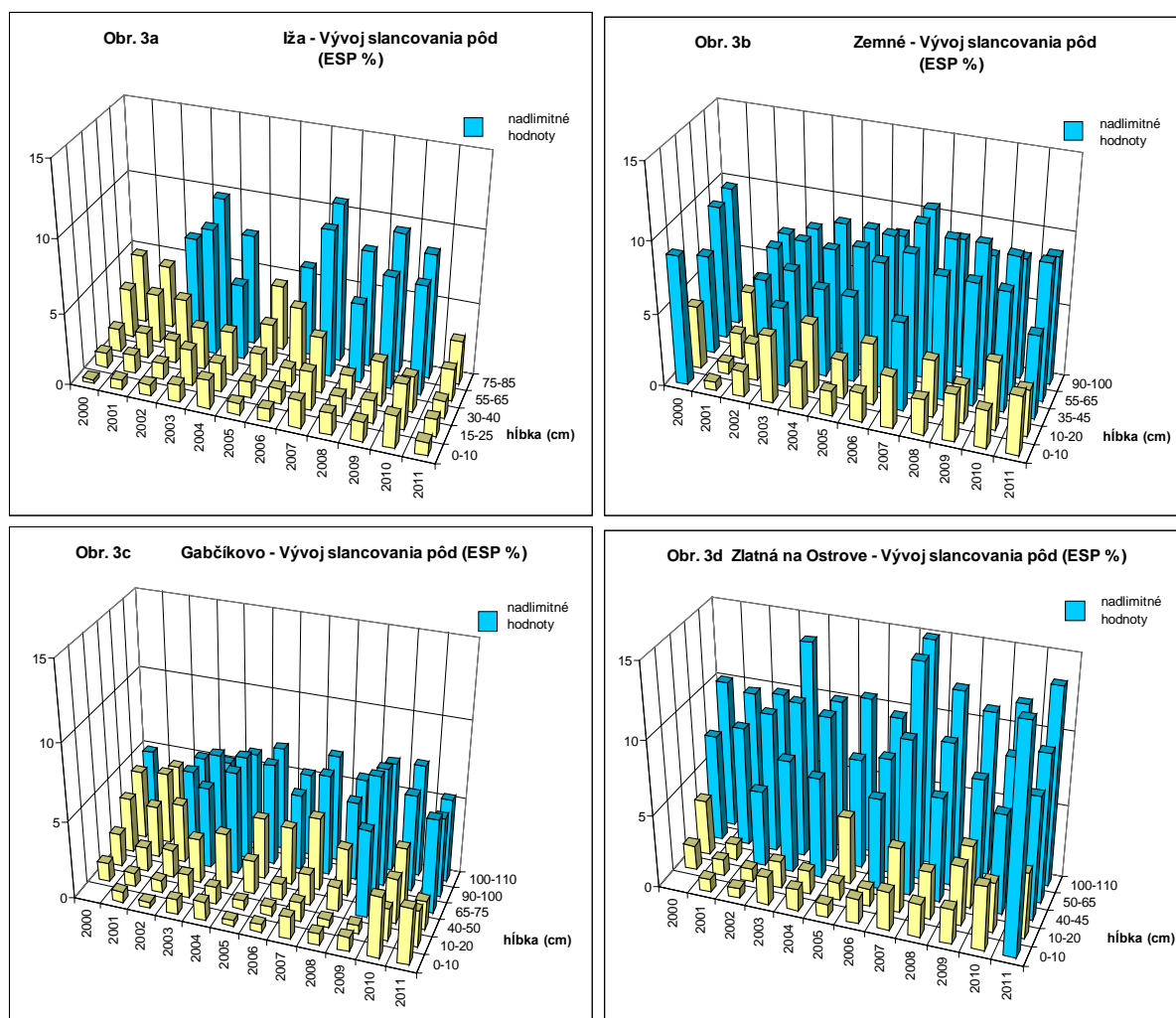
Obsah výmenného sodíka v sorpčnom komplexe v rozmedzí 5-10 % indikujúci slabú sodifikáciu bol zistený v spodných horizontoch lokalít Zemné, Gabčíkovo, Komárno-Hadovce (Tab. 3). Vysoký (10-20 %) až veľmi vysoký (nad 20 %) obsah výmenného sodíka sme zaznamenali v lokalitách Zlatná na Ostrove, Malé Raškovce, Kamenín a Žiar nad Hronom.

Hodnoty pôdnej reakcie (pH) ako indikátora sodifikácie pôdy potvrdzujú silne alkalickú reakciu ($\text{pH} > 7,7$) na všetkých monitorovaných lokalitách, pričom veľmi silná alkalická reakcia ($\text{pH} > 8,5$) bola zaznamenaná na lokalitách Žiar nad Hronom, Malé Raškovce a Kamenín (Tab.2).

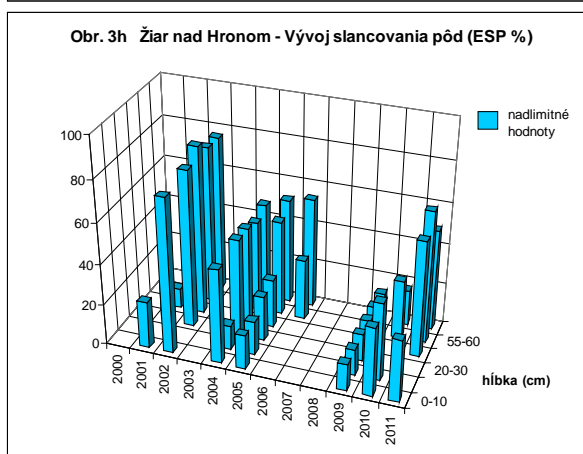
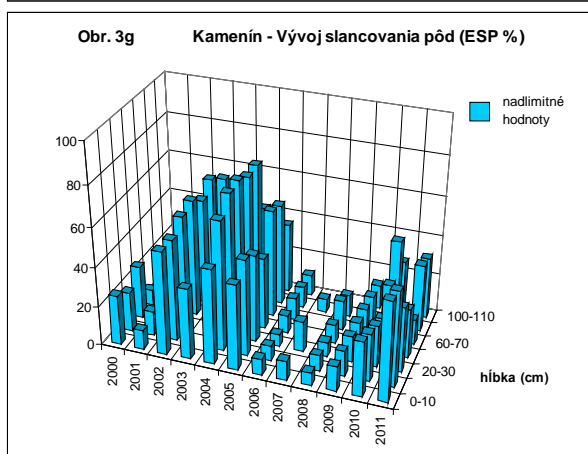
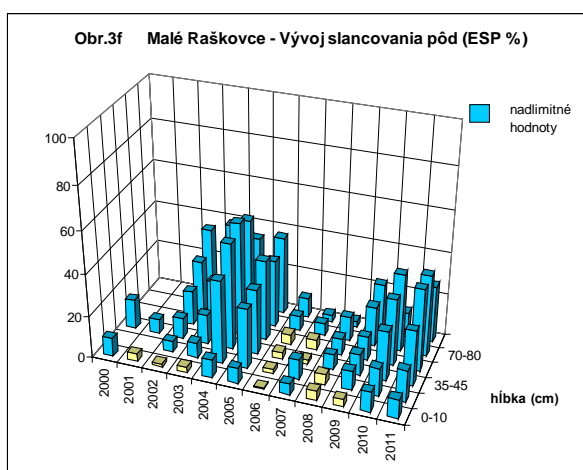
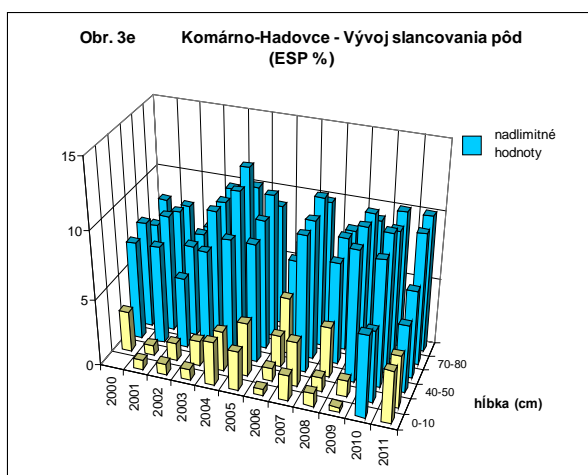
Vývoj sodifikácie pôd

Vývoj sodifikácie pôd za obdobie posledných 12 rokov (2000-2011) hodnotíme podľa obsahu výmenného sodíka (ESP) a pôdnej reakcie (pH).

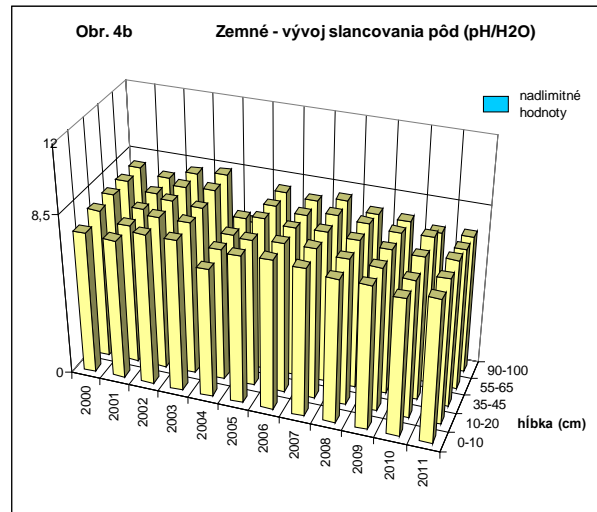
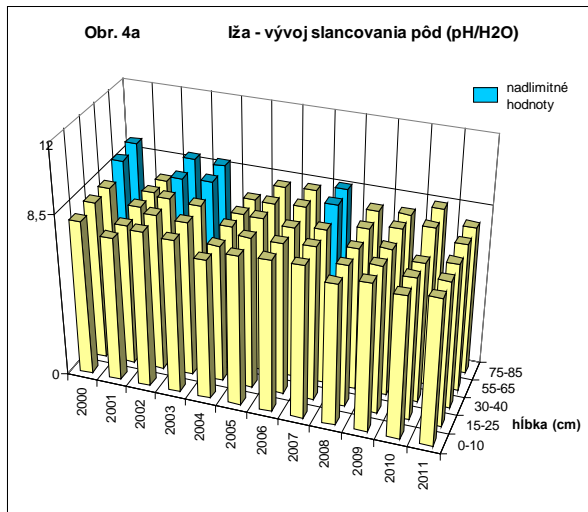
Sodifikáciu pôd de finovanú obsahom výmenného sodíka nad 5 % ($\text{ESP} > 5\%$) udáva Tab.6 a Obr.3a-g. Z nameraných údajov vyplýva, že tento proces je prítomný vo všetkých monitorovaných pôdach a v porovnaní s procesom salinizácie je výraznejší – dominantný. V monitorovaných pôdach je sodifikácia prítomná v troch vývojových štádiách.



Slabá sodifikácia (ESP 5-10 %) prebieha v pôdach lokalít Iža, Gabčíkovo a Zemné, pričom na stanovištiach Iža a Gabčíkovo je prítomná v hĺbkach pôdneho profilu pod 0,6 m - takzvaná hlboká sodifikácia, na stanovišti Zemné je už pod ornicou v hĺbke 0,35 m. Pokročilejší stupeň – sodifikácia sa začína vyvíjať na stanovištiach Zlatná na Ostrove a Komárno-Hadovce, kde posledných 8 – 9 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 deťinovaná pôdnou reakciou $pH > 7,3$ je zhrnutá v Tab.7 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 pôdnú reakciu.



Tab. 6 Vývoj sodifikácie – obsah výmenného sodíka (ESP)

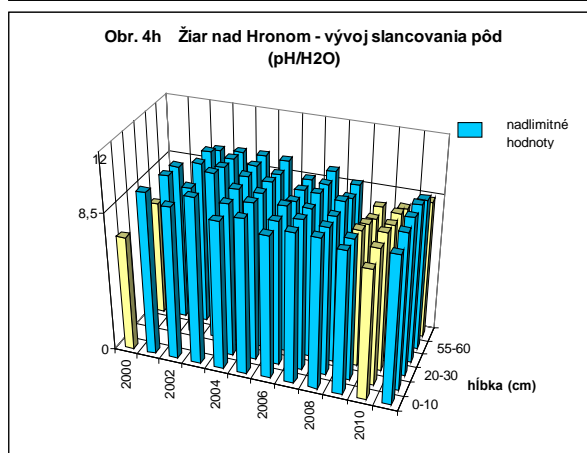
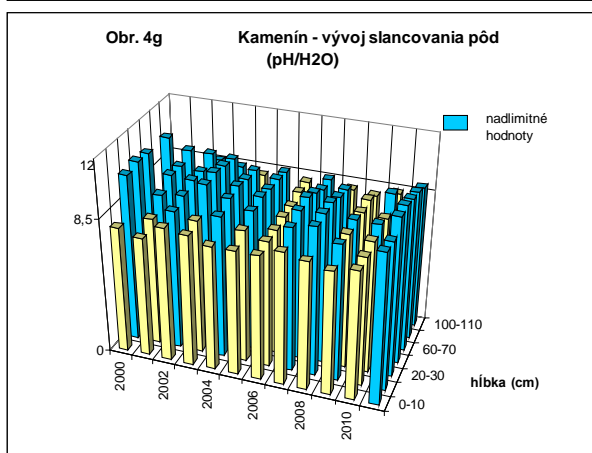
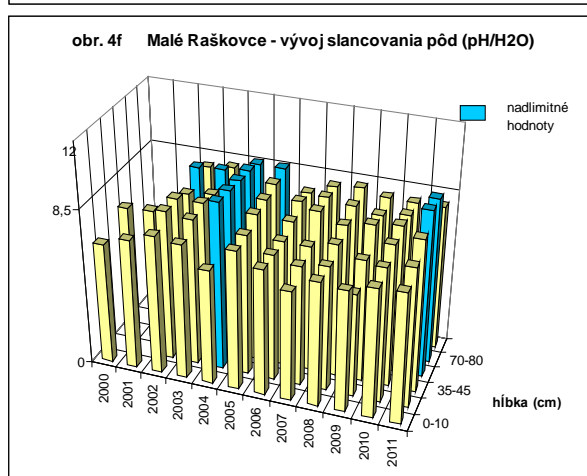
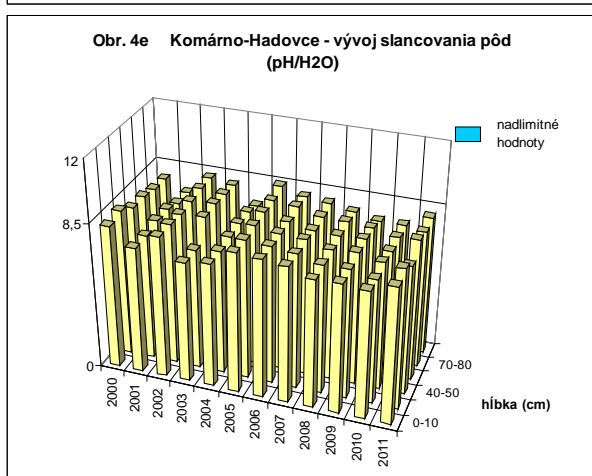
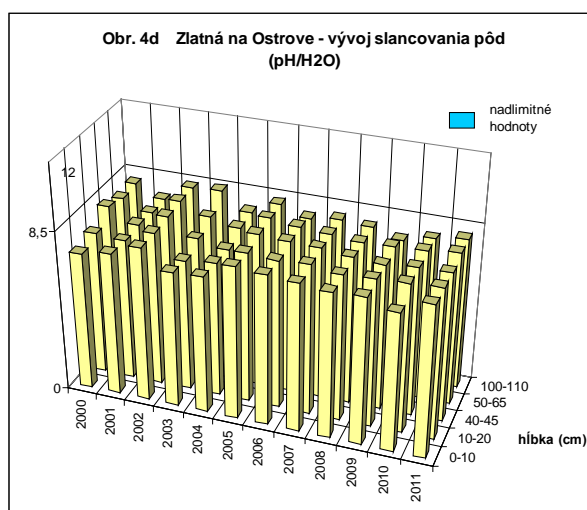
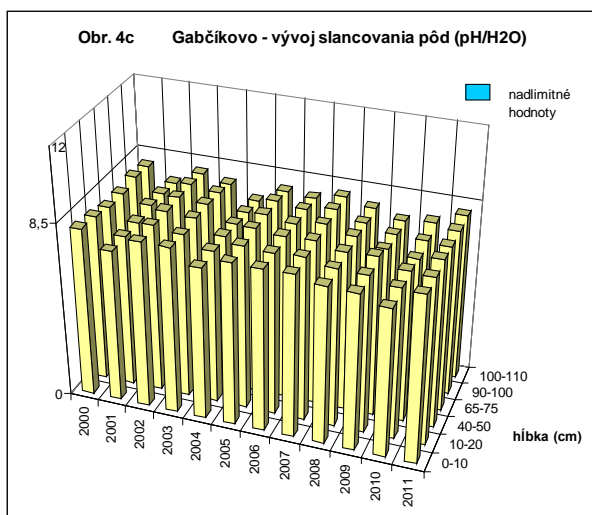
Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	Obsah výmenného sodíka (%)												
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Iža 400180	Akpc	0-10	0,3	0,7	0,8	1,2	2,0	0,8	0,9	1,9	1,5	1,3	2,2	0,9	
	Akpc	15-25	1,0	1,3	1,1	2,5	2,0	1,1	1,1	2,7	1,4	1,6	3,1	1,2	
	Amčc	30-40	1,6	1,7	1,6	2,9	3,0	1,9	1,3	3,9	1,7	3,0	2,4	1,2	
	CGo	55-65	3,4	3,4	3,4	8,7	5,2	2,8	4,4	10,0	5,4	7,7	7,5	2,2	
	CGo(Bn)	75-85	4,8	4,4	6,7	9,8	7,6	4,5	6,1	10,8	8,0	9,5	8,5	3,0	
Gabčíkovo 400176	Akpc	0-10		0,7	0,4	1,0	1,2	0,4	0,5	1,4	0,8	0,9	4,0	3,6	
	Akpc	10-20	1,2	0,9	0,8	1,6	1,1	0,6	0,6	1,3	0,5	0,6	2,1	2,4	
	A/CGo(Bn)	40-50	2,2	1,6	1,8	2,9	3,6	2,2	1,1	2,1	1,6	5,7	2,9	1,9	
	CGro(Bn)	65-75	3,6	3,4	3,9	5,4	6,7	4	3,7	4,7	3,1	8,1	3,9	6,1	
	CGr(Bn)	90-100	4,5	4,7	5,2	6,6	6,8	6,6	5,0	6,6	5,2	7,7	6,3	5,2	
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	4,4	56,1	
	Amčc	10-20	1,7	1,1	0,9	1,8	1,6	1,2	1,2	4,4	3,3	4,1	3,4	4,5	
	A/CGo	40-45	3,8	1,1	5,2	7,7	6,9	4,6	6,2	10,5	7,1	4,3	6,8	8,4	
	CGroc(Bn)	50-65	7,3	8,2	9,5	10,6	10,0	7,5	7,9	14,5	9,7	7,6	9,5	10,1	
	CGroc(Bn)	100-110	10,1	9,7	9,9	13,7	10,1	10,6	9,7	16,1	12,2	11,1	11,9	13,4	
Komárno - Hadovce 400178	Akpc	0-10		0,7	0,8	0,8	3,2	2,9	0,5	2,0	1,0	0,4	6,1	3,9	
	Akpc	10-20	3,0	0,8	1,3	1,9	3,0	4	1,0	3,4	1,1	1,2	5,3	3,9	
	A/CGoc(Bn)	40-50	7,3	7,3	5,3	7,6	8,8	8,8	2,4	10,1	3,8	9,7	9,4	5,0	
	CGoc(Bn)	55-60	7,9	8,7	6,8	9,7	11,4	9,6	4,2	10,2	7,5	10,4	10,3	6,6	
	CGoc(Bn)	70-80	6,9	8,2	6,8	9,5	12,3	10,6	6,1	11,0	8,4	10,5	9,6	9,7	
Zemné 400179	Akpc	0-10	8,9	0,6	1,8	4,7	2,9	1,7	2,0	3,6	2,5	3,3	2,7	4,1	
	A/CGoc(Bn)	10-20	4,4	0,8	2,6	5,5	4,8	2,7	4,3	6,1	3,9	2,7	4,7	3,2	
	CGroc(Bn)	35-45	6,9	1,8	6,0	7,0	6,1	6	8,7	9,6	8,5	8,4	8,3	5,7	
	CGroc(Bn)	55-65	9,3	3,7	7,2	8,0	7,8	8,3	9,5	10,6	9,9	10,0	9,5	9,4	
	CGroc(Bn)	90-100	9,7	3,6	7,2	7,9	8,6	8,6	8,5	10,6	8,9	8,2	8,4	8,9	
Kamenín 400138	Ame	0-10	25,1	9,8	52,0	36,2	48,1	42,9	8,0	9,7	6,6	12,6	27,7	50,1	
	Ame	10-20	20,1	12,4	51,6	-	65,5	48,6	7,5	-	8,0	12,8	24,1	47,9	
	Ame	20-30	26,9	10,1	57,0	-	72,6	44,3	6,2	15,6	7,3	13,0	21,0	33,0	
	Ame	40-50	8,0	12,1	59,1	-	73,2	36,4	8,9	-	9,3	13,1	17,8	25,0	
	Bn	60-70	14,7	9,1	53,5	66,4	69,5	54,4	11,4	-	15,1	13,2	27,9	12,5	
Malé Raškovce 400229	Bn	80-90	-	6,3	58,8	-	69,9	51,4	10,8	6,9	11,1	13,0	44,0	34,1	
	Bn	0-10	8,8	3,7	1,3	2,6	8,8	7,2	0,5	5,3	4,7	3,5	9,79	31,2	
	Akp	20-30	-	-	5,2	7,1	39,5	28,5	2,1	9,6	4,9	9,1	13,3	30,3	
	Akp	35-45	14	6,7	9,7	13,7	50,4	31	3,0	2,3	7,1	10,0	23,7	-	
	Aoe	50-60	-	-	16,4	23,5	53,9	38,2	4,8	4,9	7,9	11,2	31,9	-	
Žiar nad Hronom 400063	Bn	70-80	-	-	24,8	-	49,4	31,9	7,1	6,0	11,5	18,9	36,9	57,0	
	Bn	120-130	-	-	34,7	38,9	34,6	37,1	9,6	3,6	2,8	23,4	12,0	64,8	
	AoGo	0-10	-	22,9	75,6	-	46,3	16,5	-	-	-	13,1	33,6	49,6	
	AoGo	10-20	-	-	-	-	11,8	16,4	-	-	-	12,8	38,2	8,9	
	AoGo	20-30	-	19,3	77,2	-	47,9	22	-	-	-	13,2	-	15,0	
Gro	Gro	30-45	-	10,0	82,9	-	47,4	23,8	-	-	-	13,1	-	26,4	
	Gro	55-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,1	28,8	38,9	
	Gro	70-85	-	-	76,8	-	47,4	51,9	54,2	-	-	13,0	17,2	38,8	

Poznámka: údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť soľných procesov

Tab. 7 Vývoj sodifikácie – pH/H₂O

Lokalita číslo	Horizont (cm)	Hĺbka (cm)	pH/H ₂ O (%)											
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
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	7,4	7,6
	Akpc	15-25	8,3	7,4	8,2	8,1	7,2	7,9	7,9	8,1	7,4	7,7	7,4	7,5
	Amčc	30-40	8,3	7,6	8,3	8,2	7,4	8,1	7,9	8,1	7,4	7,7	7,3	7,5
	CGo	55-65	9,0	7,6	8,6	8,7	7,3	8,1	8,2	8,6	7,7	7,9	8,2	7,7
	CGo(Bn)	75-85	9,2	7,5	8,9	8,8	7,3	8,2	8,3	8,6	7,8	7,9	8,4	7,8
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	7,2	8,1
	Akpc	10-20	8,1	7,4	8,2	8,0	7,5	8,0	7,9	8,0	7,7	7,7	7,4	8,1
	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	7,4	8,2
	CGro(Bn)	65-75	7,9	7,6	8,2	8,1	7,4	8,1	7,9	8,1	7,8	7,4	7,2	8,1
	CGr(Bn)	90-100	8,1	7,5	8,2	8,0	7,3	8,1	7,9	8,1	7,7	7,5	7,4	8,1
	Akpc	100-110	8,0	7,4	8,1	7,8	7,2	7,9	7,8	8,1	7,8	7,4	7,6	8,2
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	7,3	8,0
	Amčc	10-20	7,6	7,5	8,2	7,0	7,2	8,0	7,9	8,0	7,8	7,8	7,9	8,0
	A/CGo	40-45	8,3	7,6	8,3	7,4	7,1	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,9	8,0
	CGroc(Bn)	50-65	8,0	7,5	8,4	7,8	7,5	8,3	8,1	8,0	7,9	7,9	8,0	8,2
	CGroc(Bn)	100-110	8,1	7,5	8,4	8,5	7,6	8,3	7,8	8,0	7,9	7,5	7,8	8,1
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	7,4	7,9
	Akpc	10-20	8,5	7,3	8,2	7,0	7,2	8,1	8,0	7,8	7,5	7,5	7,2	8,1
	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	7,4	7,5
	CGoc(Bn)	55-60	8,0	7,5	8,2	8,3	7,4	8,3	8,0	7,7	7,7	7,8	7,3	8,2
	CGoc(Bn)	70-80	7,8	7,2	8,3	8,2	7,4	8,3	8,2	7,9	7,8	7,7	7,4	8,0
Akpc	100-110	7,8	7,2	8,3	8,1	7,1	8,5	8,1	8,0	7,7	7,4	7,4	8,1	
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	7,2	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	7,3	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	7,6	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	7,8	7,5
	CGroc(Bn)	90-100	8,0	7,7	8,2	8,4	6,1	8,0	7,8	8,1	7,7	7,6	7,2	7,3
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	8,0	9,3
	Ame	10-20	10,4	8,0	8,7	8,4	8,9	8,3	7,9	9,0	9,3	8,5	8,1	9,2
	Ame	20-30	10,6	8,8	9,0	9,9	9,3	8,8	7,9	9,3	9,4	8,4	8,3	10,0
	Ame	40-50	10,5	9,4	9,3	10,0	9,4	9,0	8,0	9,4	9,4	8,6	8,6	9,9
	Bn	60-70		9,3	9,2	9,8	9,2	8,8	8,0	9,1	9,0	8,4	8,2	9,6
	Bn	80-90	10,3	9,7	9,7	9,6	9,1	8,8	8,2	8,6	8,8	8,5	9,1	9,4
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	7,0	9,0
	Akp	20-30	-	-	8,2	8,0	9,2	7,7	6,9	6,6	6,9	5,7	7,3	9,0
	Akp	35-45	7,2	7,3	8,2	8,2	9,1	8,1	6,9	6,9	7,3	6,7	7,8	9,4
	Aoe	50-60	-	-	7,8	8,0	9,0	8,2	7,3	8,1	7,6	7,9	8,1	9,6
	Bn	70-80	-	-	8,6	8,7	8,9	8,4	7,7	8,2	8,0	7,7	7,9	9,6
	Bn	120-130	-	-	8,0	8,2	8,6	8,6	7,5	8,1	8,3	7,9	7,9	9,2
Žiar nad Hronom 400063	AoGo	0-10	7,0	9,9	9,3	10,1	9,0	9,4	8,7	9,1	9,1	8,6	7,8	8,5
	AoGo	10-20	-	-	-	-	9,3	9,6	8,8	9,2	9,0	8,6	8,3	7,1
	AoGo	20-30	-	9,6	9,1	10,2	9,5	9,5	9,0	9,1	8,9	8,3	8,5	7,6
	Gro	30-45	7,0	9,5	9,9	9,9	9,6	9,5	8,6	9,3	9,1	8,0	8,2	8,4
	Gro	55-65	-	-	10,0	9,8	9,6	9,3	8,6	9,2	8,6	7,6	8,2	9,1

Poznámka: údaje vyznačené tučne signalizujú prítomnosť soľných procesov



Pôdna reakcia v intervale pH 7,3 – 8,5 je stredne až silno alkalická a potvrdzuje nadbytok solí vápnika (Ca^{2+}), prípadne prítomnosť nižšieho obsahu sodíka (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 (Na^+) a je charakteristická pre pôdy lokalít Kamenín a Žiar nad Hronom.

Z uvedených údajov vývoja salinizácie a sodifikácie (Tab.4 - 7, Obr. 1 - 4) vidieť, že celkový vývoj solných pôd nie je v priestore a čase lineárny. Namerané hlavné charakteristiky vývoja solných pôd (obsah solí, ECe, 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 soľných pôd sme ako podporné analýzy v roku 2011 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 2011 (tabuľka 8) sú s malými odchýlkami zhodné s výsledkami predchádzajúcich rokov. Hlavnými ukazovateľmi rizikovosti vzniku a rozvoja soľných pôd z hľadiska chemického zloženia podzemnej vody je elektrická vodivosť (EC), celková mineralizácia (mg.l^{-1}) a adsorpčný sodíkový pomer (SAR), ktorý indikuje riziko sódovej salinizácie.

Z hľadiska hodnôt EC je riziko vzniku a rozvoja soľných pôd pomerne nízke a kritická hranica 200 mS.m^{-1} bola prekročená len na lokalite Komárno-Hadovce. Celkový obsah solí (RL_2) presiahol rizikovú hodnotu 1000 mg.l^{-1} na lokalitách Komárno-Hadovce a Zlatná na Ostrove, teda v dolnej časti Žitného ostrova.

Tab. 8 Chemické vlastnosti podzemných vôd významné pre vznik a vývoj soľných pôd v roku 2011

Lokalita	mesiac merania	pH	EC	RL_1	RL_2	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SAR
			mS.m^{-1}											
Iža 400180	V	8,2	101	693	468	<3,0	641	19	100	146	157	505	1,2	6,9
	X	7,7	121	1072	832	<3,0	494	105	494	141	66	123	2,4	2,1
Zemné 400179	V	7,6	65	436	305	<3,0	426	17	49	204	38	24	0,8	0,4
	X	7,5	61	356	239	<3,0	327	15	31	91	17	19	1,3	0,5
Gabčíkovo 400176	V	7,8	117	1250	842	<3,0	289	58	465	425	114	12	2,0	0,1
	X	7,6	91	774	565	<3,0	244	46	423	154	39	9	3,0	0,2
Zlatná na Ostrove 400177	V	7,7	163	1200	1080	<3,0	641	92	363	865	96	261	2,0	2,2
	X	7,9	146	1206	1033	<3,0	631	112	497	111	50	246	2,7	4,9
Komárno-Hadovce 400178	V	7,5	216	1810	1322	<3,0	647	167	783	384	190	217	2,6	2,3
	X	7,4	175	1671	1280	<3,0	667	165	802	151	92	231	3,2	3,7

Zhodnotenie výsledkov

Pre rok 2011 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 soľných pôd, charakterizovaného chemickým zložením podzemných vôd je takéto riziko najreálnejšie na dolnej časti Žitného ostrova v úseku Zlatná na Ostrove – Komárno. Svedčia o tom vyššie hodnoty elektrickej vodivosti a vysoká mineralizácia podzemných vôd.

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: Návodý na cvičenie z pôdoznalectva, Príroda, Bratislava
Valla, M., a kol., 1983: Cvičení z půdoznalství II., SPN, Praha.

6.2 Kontaminácia pôd

6.2.1 Hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja kontaminácie pôd v základnej sieti

V roku 2011 boli spracované a analyzované pôdne vzorky odobraté v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007). V decembri 2011 boli ukončené chemické analýzy monitorovaných pôd pre skupiny (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. Čiernice na karbonátových fluviaľných sedimentoch (prevažne OTP) – **S17**
2. Čiernice na nekarbonátových fluviaľných sedimentoch (prevažne OP) – **S18**
3. Zasolené pôdy na rôznych substrátoch (TTP a OP)–**S23**
4. Antropicky znečistené pôdy (TTP)– **S24**

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 ⁻¹ 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				
	piesočnatá, hlinito-piesočnatá pôda	piesočnato-hlinitá, hlinitá pôda	ílovito-hlinitá, ílovitá pôda, íl	Extrakt 1 mol.dm ⁻³ NH ₄ NO ₃	Extrakt vodou
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		
Chrómov (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 za 4. odberový cyklus (odber v roku 2007) tab.2-4

Tab. 2 Zastúpenie As, Cd, Co (v mg.kg⁻¹ 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
S17	OP	0-10	4,4	12,1	8,5	0,2	1,1	0,36	4,9	13,0	7,6
		35-45	1,4	15,6	8,3	0,06	1,41	0,34	4,9	13,23	7,65
S18	OP	0-10	7,4	26,5	11,7	0,24	0,7	0,43	4,9	13,2	7,97
		35-45	5,7	38,1	11,2	0,06	0,73	0,27	4,9	14,1	8,51
S23	TTP+OP	0-10	1,8	10,6	7,5	0,1	1,5	0,43	5,91	12,7	9,24
		35-45	6,8	64,0	16,2	0,06	0,95	0,26	6,09	14,3	10,77

Tab. 3 Zastúpenie Cr, Cu, Ni (v mg.kg⁻¹ 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
S17	OP	0-10	16,2	81,3	40,2	16,2	81,3	40,2	13,2	54,9	31,3
		35-45	4,9	86,10	40,21	2,9	33,7	19,67	4,9	58,1	30,7
S18	OP	0-10	18,7	69,1	45,7	14,1	38,3	23,71	18,2	47,2	27,8
		35-45	17,3	85,1	50,92	9,07	35,9	20,57	17,6	38,9	30,4
S23	TTP+OP	0-10	30,4	96,2	61,2	14,2	45,5	36,3	15,3	64,0	32,4
		35-45	36,0	78,5	53,35	12,3	140,0	38,63	19,8	55,7	39,4

Tab. 4 Zastúpenie Pb, Zn, Hg (v mg.kg⁻¹ v lúčavke kráľovskej) vo vybraných pôdach v 4. odberovom cykle (rok odberu 2007)

Skupina	Kultúra	Hĺbka odberu	Pb			Zn			Hg		
			Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp	Xmin	Xmax	Xp
S17	OP	0-10	4,9	32,4	17,9	43,8	113	71	0,016	0,063	0,041
		35-45	4,9	147,3	24,2	3,8	102	59,6	0,01	0,05	0,026
S18	OP	0-10	3,5	43,9	24,4	46,4	123,0	80,6	0,0440	0,2190	0,0811
		35-45	4,1	102	17,0	43,9	131,0	73,1	0,023	0,083	0,044
S23	TTP+OP	0-10	5,4	129	32,7	45,4	258	96,7	0,03	0,48	0,10
		35-45	3,2	102	24,2	39,5	157,0	76,9	0,010	0,58	0,1

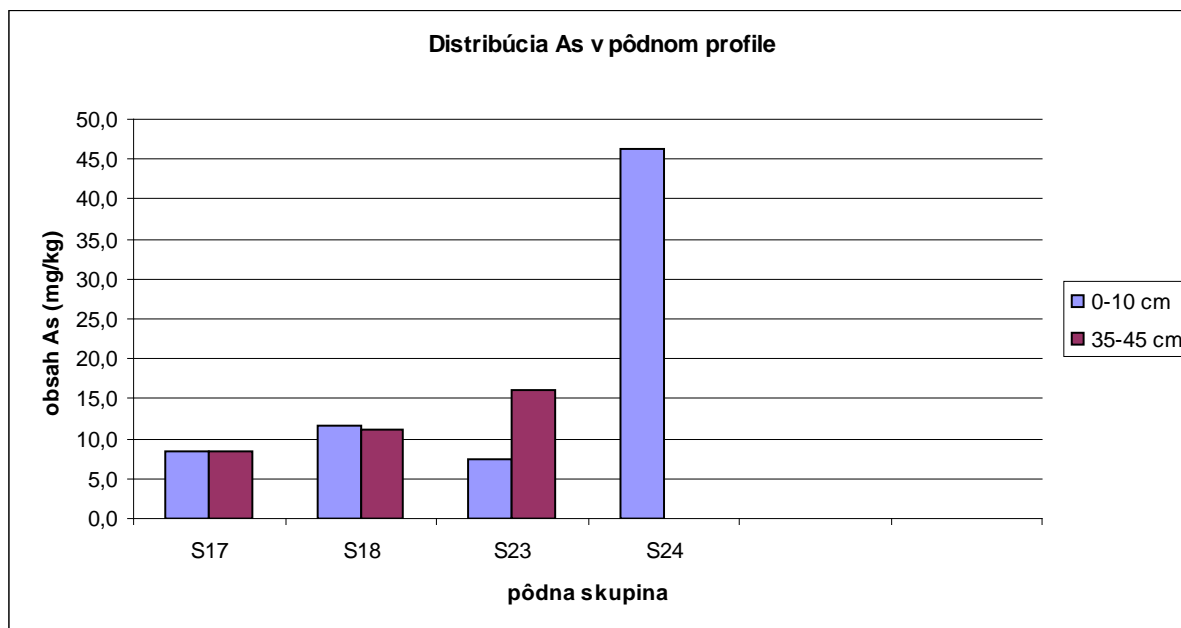
Poznámky: Xmin – minimálna stanovená hodnota vybranej skupiny
 Xmax – maximálna stanovená hodnota vybranej skupiny
 Xp – priemerná hodnota vybranej skupiny
 OP – orné pôdy
 TTP – trvalé trávne porasty

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 vyšší a ko vo vrchnom profile, vysoký obsah arzénu pre skupinu S4 bol zistený na lokalite Zemianske Kostolany, kde je dlhodobo konštatované hygienické poškodenie pôdy.

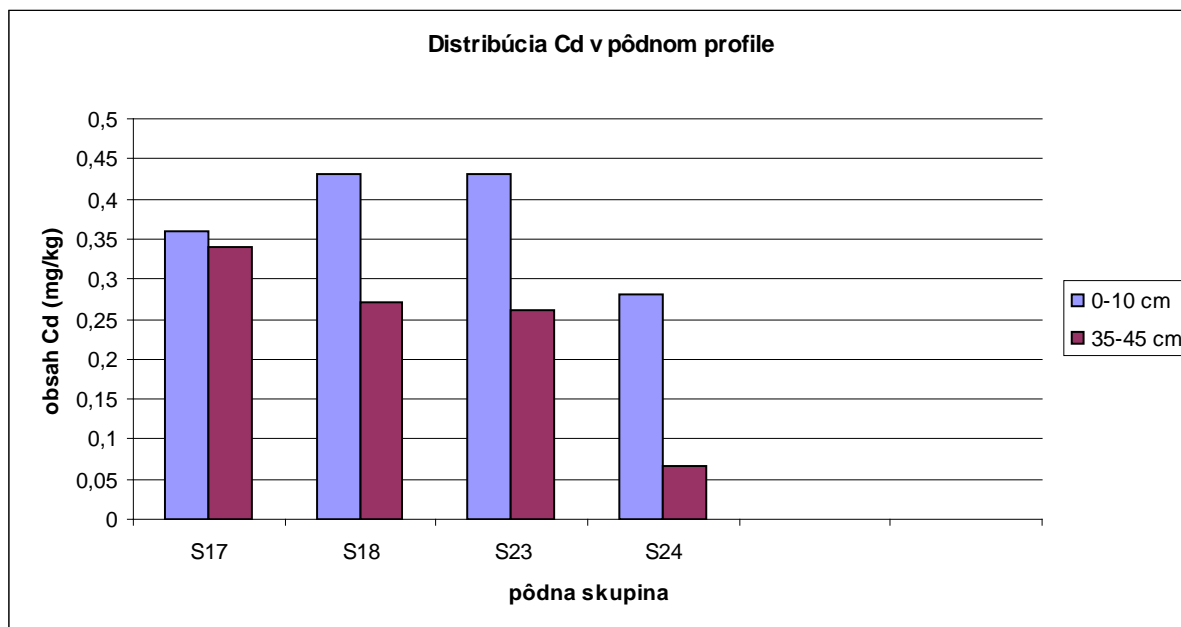
Obr. 1 Porovnanie distribúcie As v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



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.

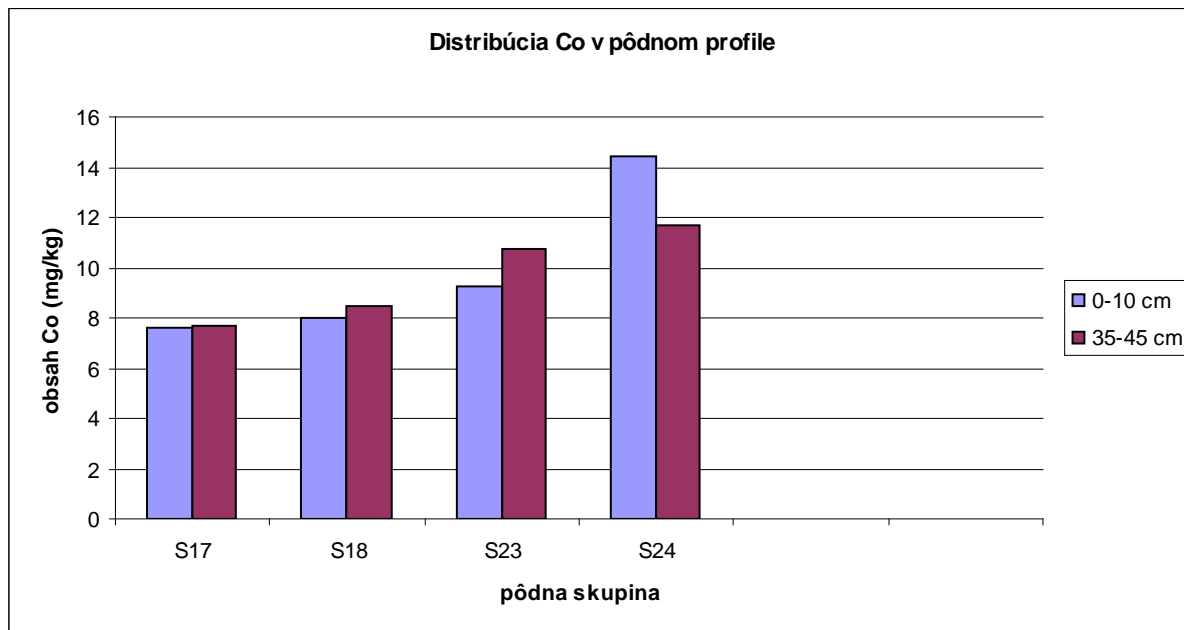
Obr. 2 Porovnanie distribúcie Cd v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



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 23 ,čo poukazuje na vertikálnu migráciu Co smerom do hlbších polôh pôdneho profilu (obr. 3).

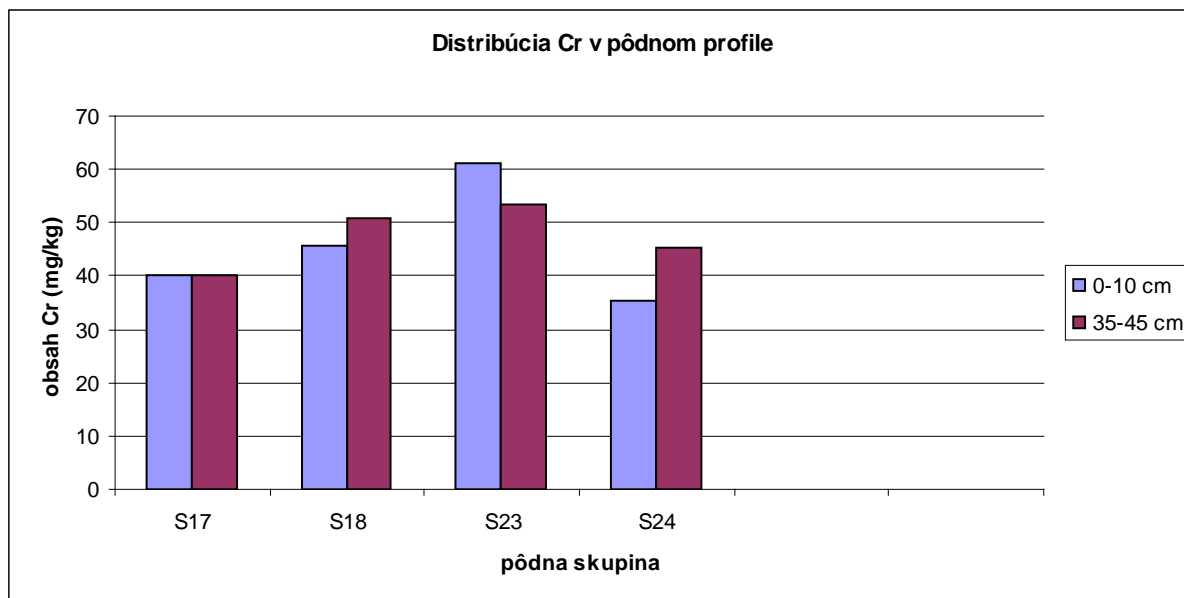
Obr. 3 Porovnanie distribúcie Co v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Chróm

Obsah chrómu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že obidva horizonty majú približne rovnaký obsah chrómu pre skupiny pôdy S17, alebo len mierne zvýšený v hĺbke 35-45 cm pre skupiny pôd S18 a S24 (obr. 4).

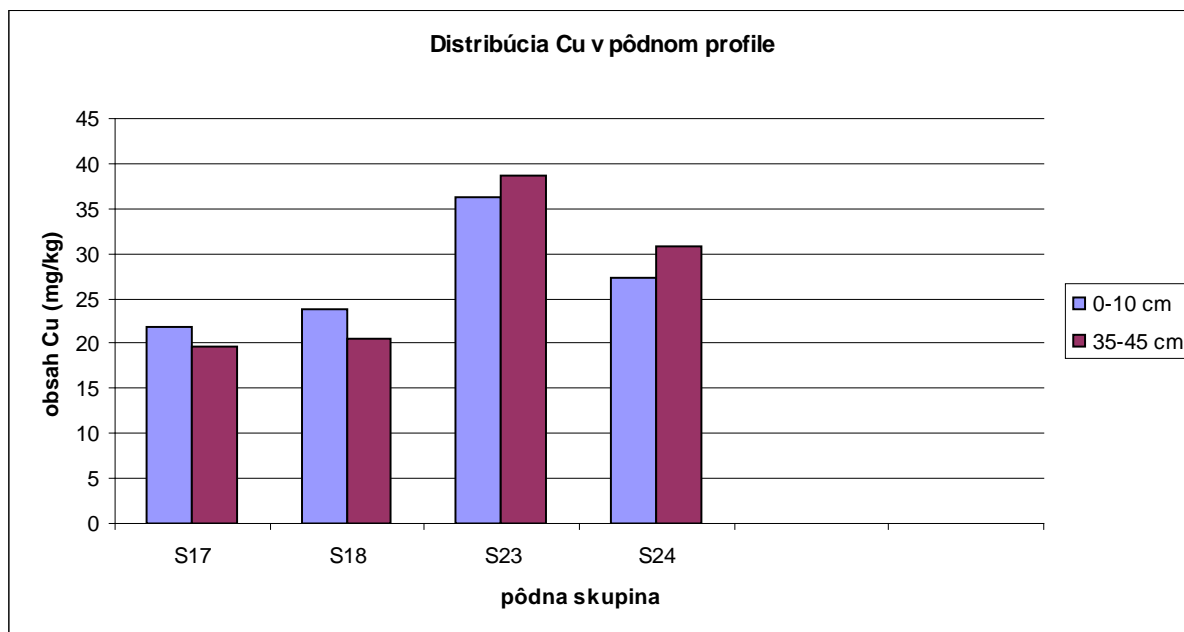
Obr. 4 Porovnanie distribúcie Cr v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Med'

Obsah medi pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že obidva horizonty majú približne rovnaký obsah chrómu, alebo len mierne znížený v hĺbke 35-45 cm (obr. 5) pre skupinu S17, S18 a zvýšený S23 a S24 (obr. 5).

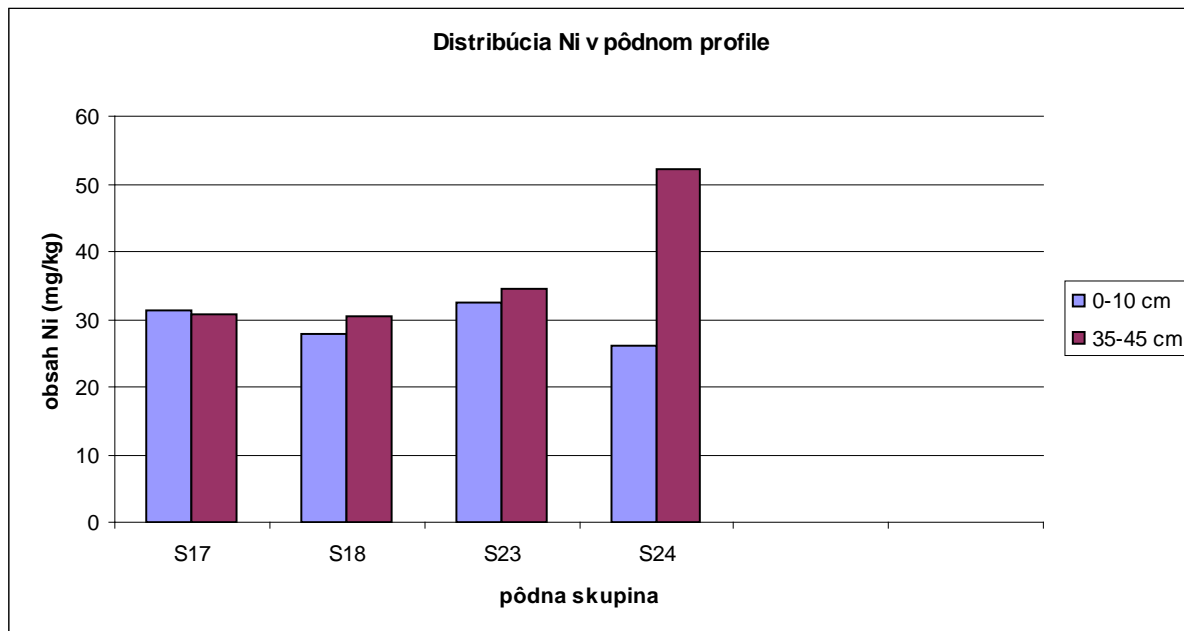
Obr. 5 Porovnanie distribúcie Cu v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Nikel

Obsah niklu pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd v oboch pôdných profiloch je približne rovnaký pre všetky skupiny s výnimkou S 24 lokality Zemianske Kostolany (obr. 6).

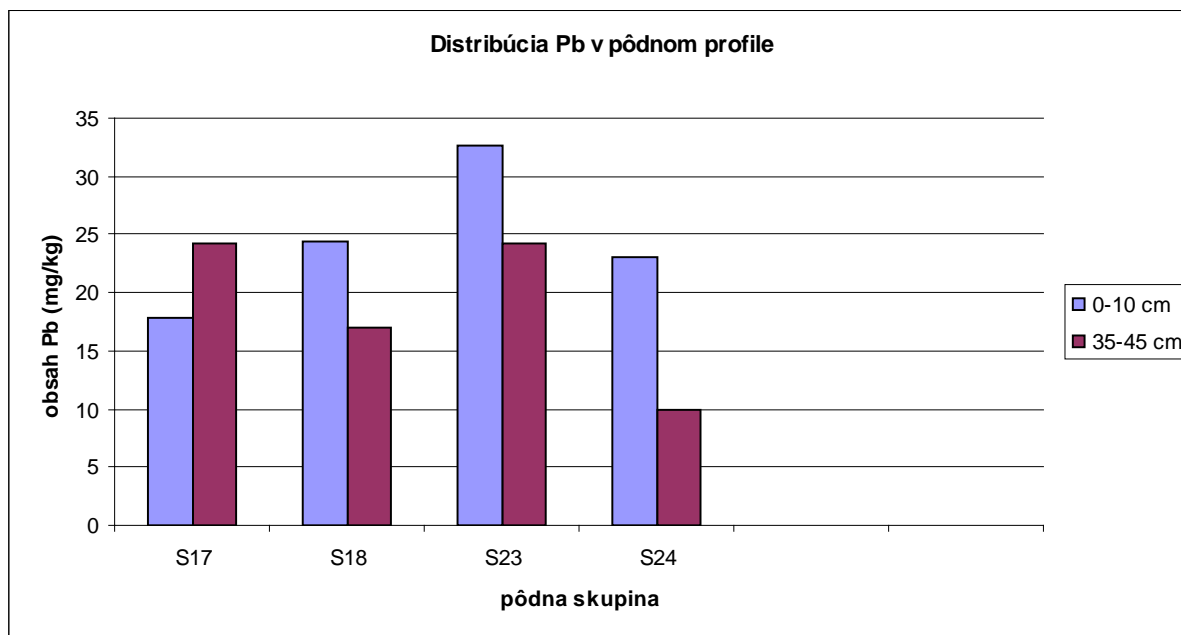
Obr. 6 Porovnanie distribúcie Ni v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



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 s výnimkou S 17(obr. 7).

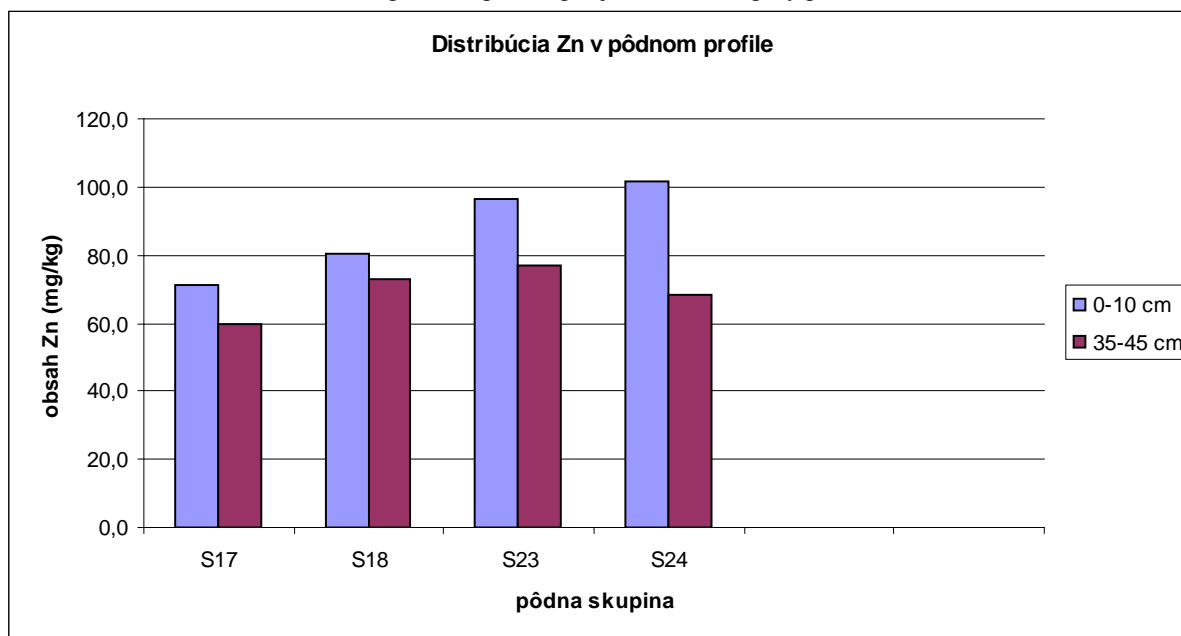
Obr. 7 Porovnanie distribúcie Pb v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Zinok

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

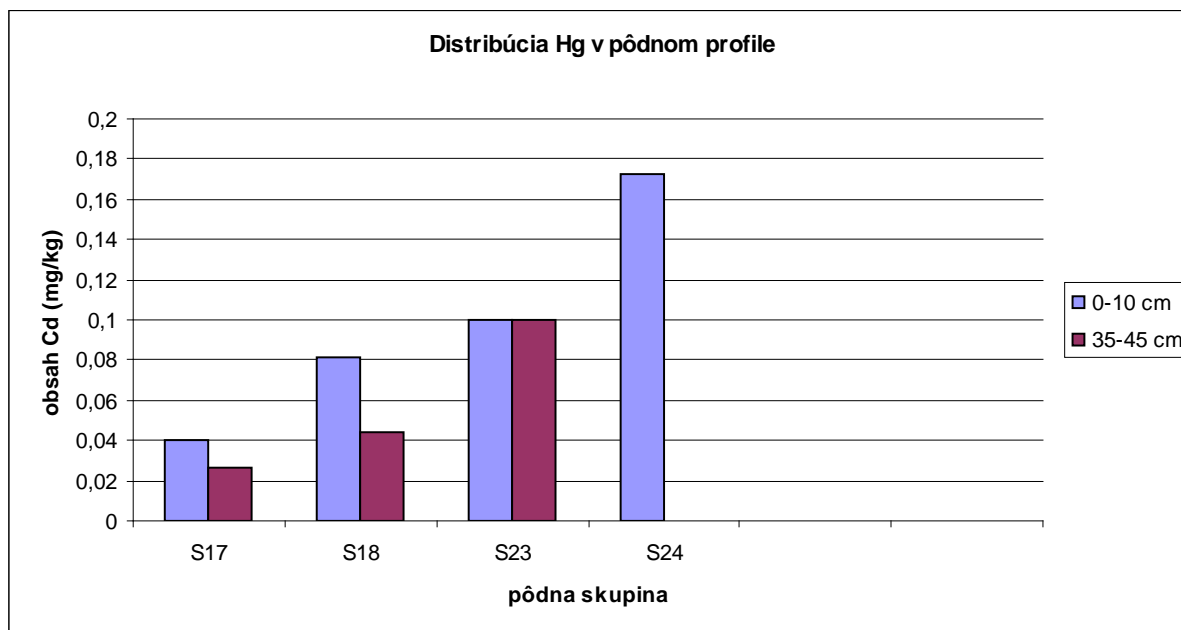
Obr. 8 Porovnanie distribúcie Zn v pôdnom profile pre jednotlivé skupiny pôd



Ortuť

Obsah ortuti pre jednotlivé skupiny analyzovaných pôd nového odberového cyklu (rok odberu 2007) ukazuje, že v hĺbke 0-10cm sa nachádza výrazne vyšší obsah ortuti ako v hĺbke 35-45 cm, s výnimkou skupiny S23 (obr. 9).

Obr. 9 Porovnanie distribúcie Hg 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 2011 boli odobrané, spracované, analyzované a vyhodnotené pôdne vzorky kľúčových lokalít Macov 1(400 336), Macov 2 (400 337) Spišská Belá (400 322), 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

Macov 1(400 336) - na monitorovanom mieste je vyvinutá čiernica na karbonátových fluviaálnych sedimentoch

Macov2 (400 337) - na monitorovanom mieste je vyvinutá čiernica na karbonátových fluviaálnych sedimentoch

Spišská Belá (400 322) - na monitorovanom mieste je vyvinutá čiernica na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch

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 2010.

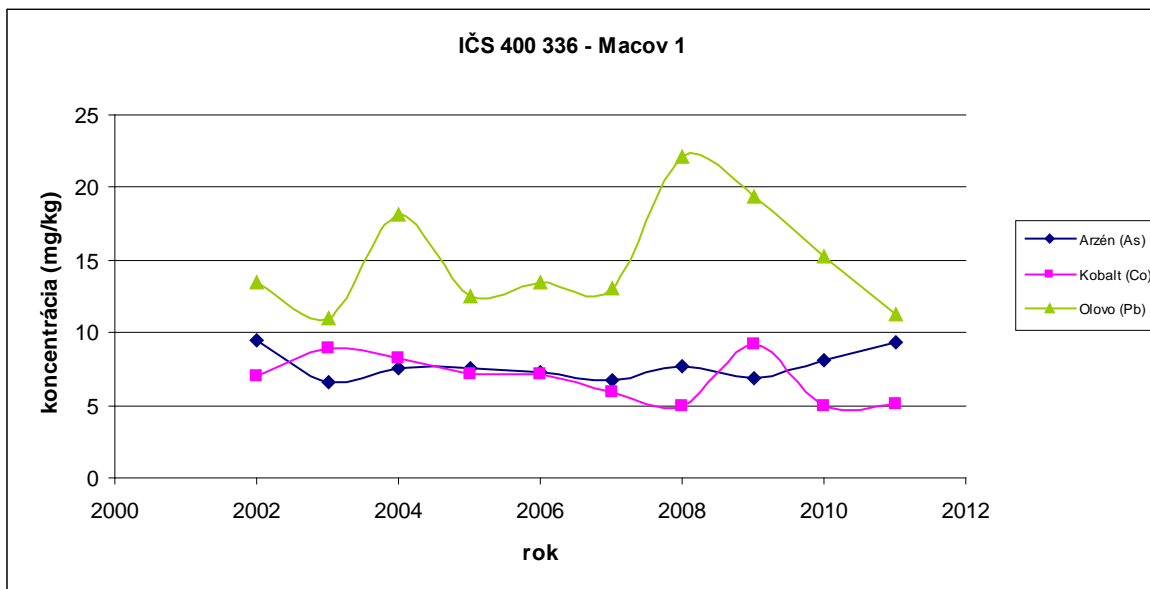
Vyhodnotenie vybraných kľúčových lokalít za rok 2011

Vo vybranej kľúčovej lokalite Macov 1 sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2011 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú (Xp), minimálnu (Xmin) a maximálnu hodnotu (Xmax) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2011

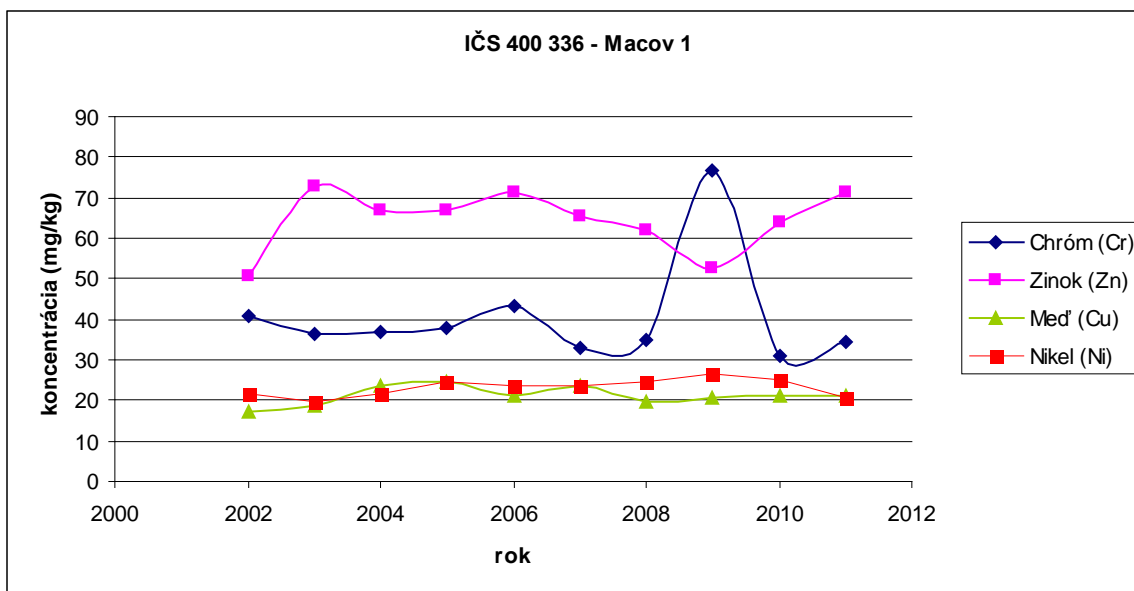
Tab. 5 Základná popisná štatistika na lokalite Macov 1 400 336 za roky 2002 – 2011

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Smerodajná odchýlka	1,01	0,13	1,63	13,21	2,29	2,22	3,74	7,50
Priemerný obsah	7,71	0,45	6,85	40,62	21,08	23,16	14,98	64,46
Koeficient variability %	13,13	29,25	23,86	32,53	10,85	9,57	24,97	11,64
Minimálna hodnota	6,60	0,25	4,90	31,00	17,15	19,55	6,64	50,90
Maximálna hodnota	9,45	0,62	9,24	76,80	24,36	26,60	22,17	72,70

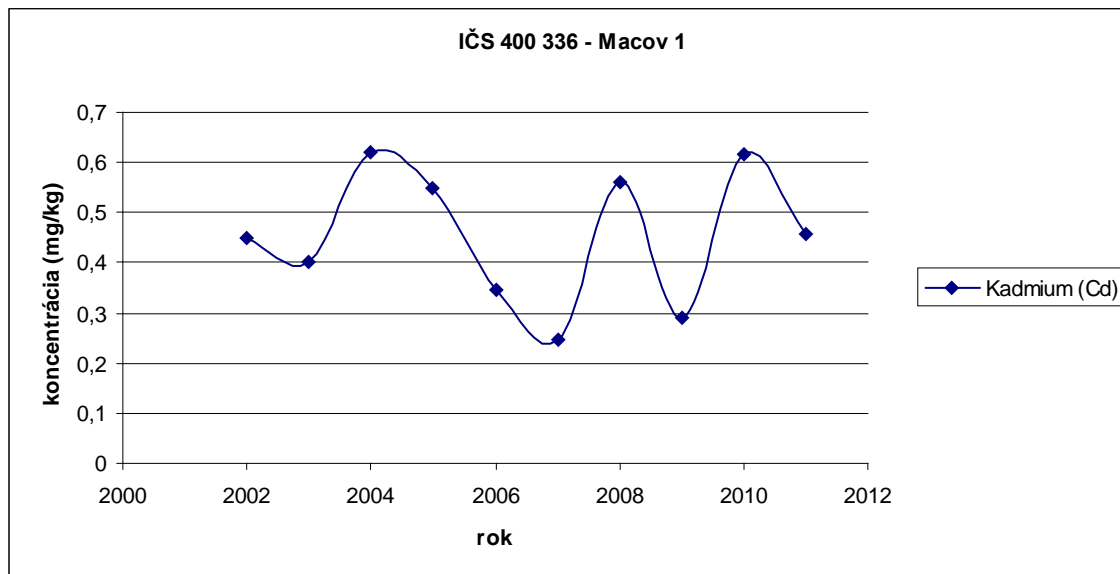
Obr. 9 Vývoj As, Co, Pb na lokalite – Macov 1



Obr. 10 Vývoj Cr, Zn, Cu, Ni na lokalite – Macov 1



Obr. 11 Vývoj Cd na lokalite – Macov 1

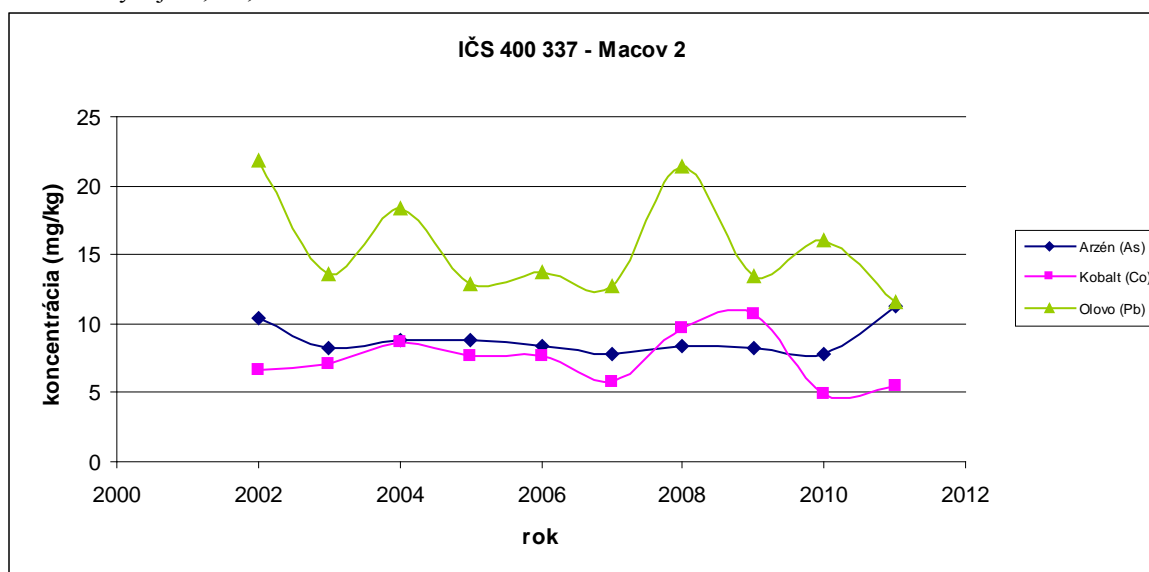


Vo vybranej kľúčovej lokalite Macov 2 sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2011 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú (X_p), minimálnu (X_{min}) a maximálnu hodnotu (X_{max}) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2011

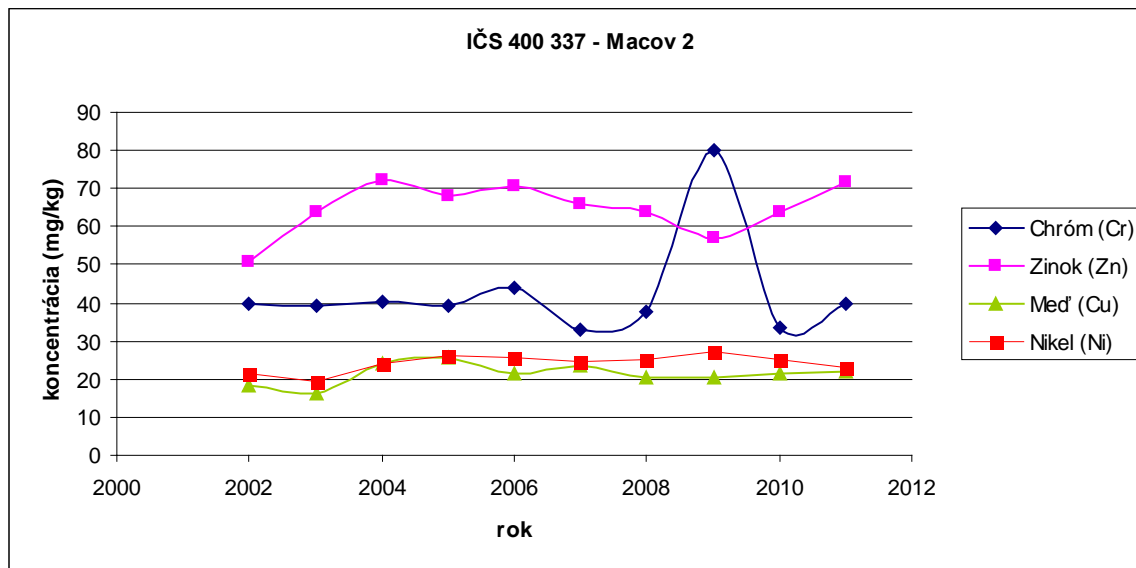
Tab. 6 Základná popisná štatistika na lokalite Macov 2 400 337 za roky 2002 – 2011

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Smerodajná odchýlka	1,13	0,17	1,85	13,62	2,81	2,34	3,72	6,66
Priemerný obsah	8,83	0,41	7,42	42,65	21,36	24,15	15,53	64,73
Koeficient variability %	12,79	41,39	24,86	31,94	13,14	9,69	23,97	10,29
Minimálna hodnota	6,60	0,28	4,90	32,93	16,05	19,30	11,50	50,85
Maximálna hodnota	11,26	0,78	10,70	80,30	25,68	27,40	21,75	72,00

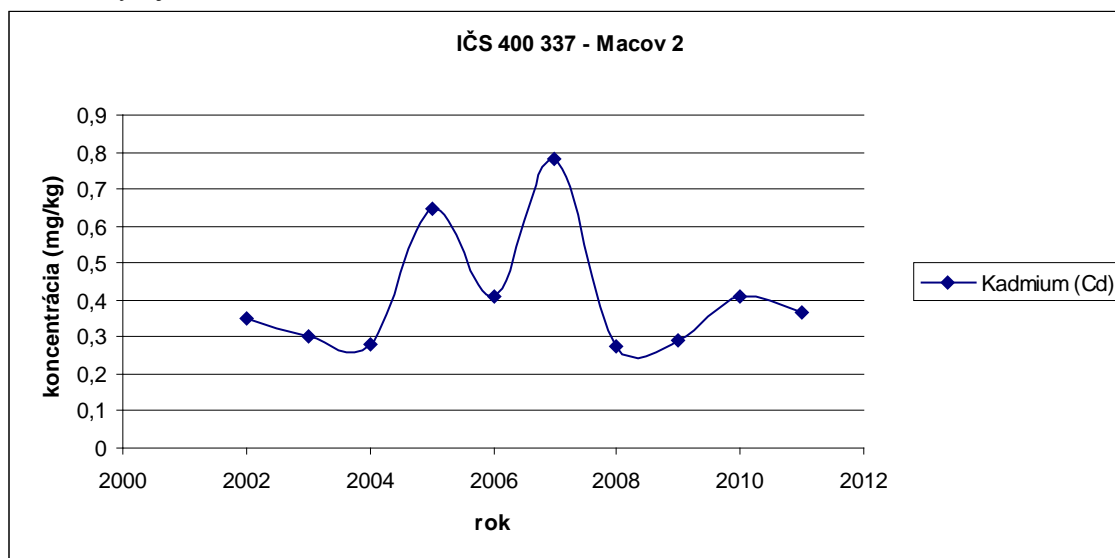
Obr. 12 Vývoj As, Co, Pb na lokalite Macov 2



Obr. 13 Vývoj Cr, Zn, Cu, Ni na lokalite Macov 2



Obr. 14 Vývoj Cd na lokalite – Macov 2

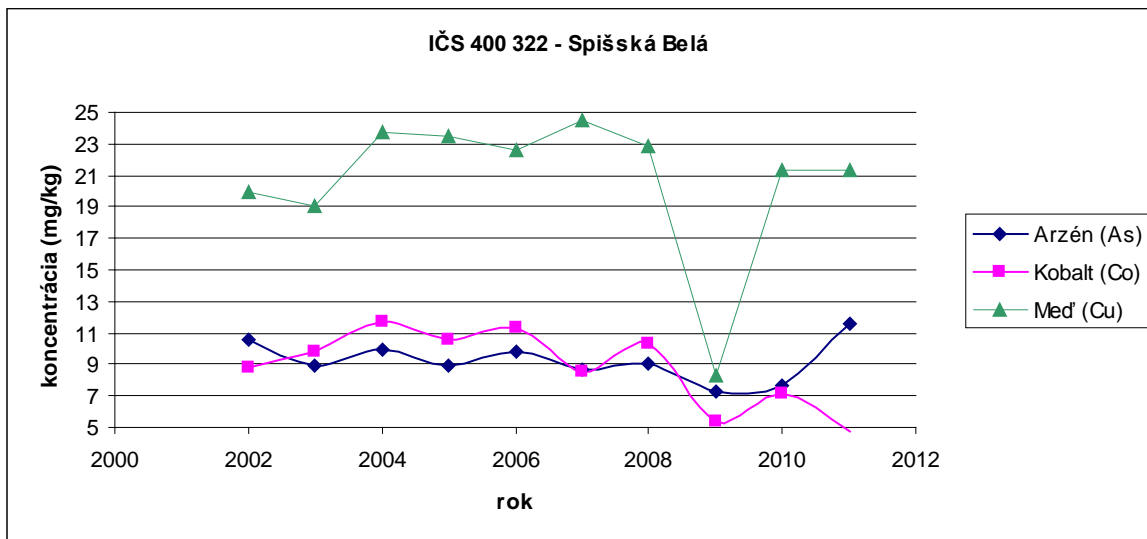


Vo vybranej kľúčovej lokalite Spišská Belá sme sledovali zmenu obsahu určených rizikových prvkov v hĺbke odberu 0-10cm a v hĺbke 35-45 cm za časové obdobie 2002 až 2011 v lúčavke kráľovskej. Stanovili sme priemernú (X_p), minimálnu (X_{min}) a maximálnu hodnotu (X_{max}) obsahu rizikového prvku a koeficient variácie za sledované obdobie 2002 – 2010.

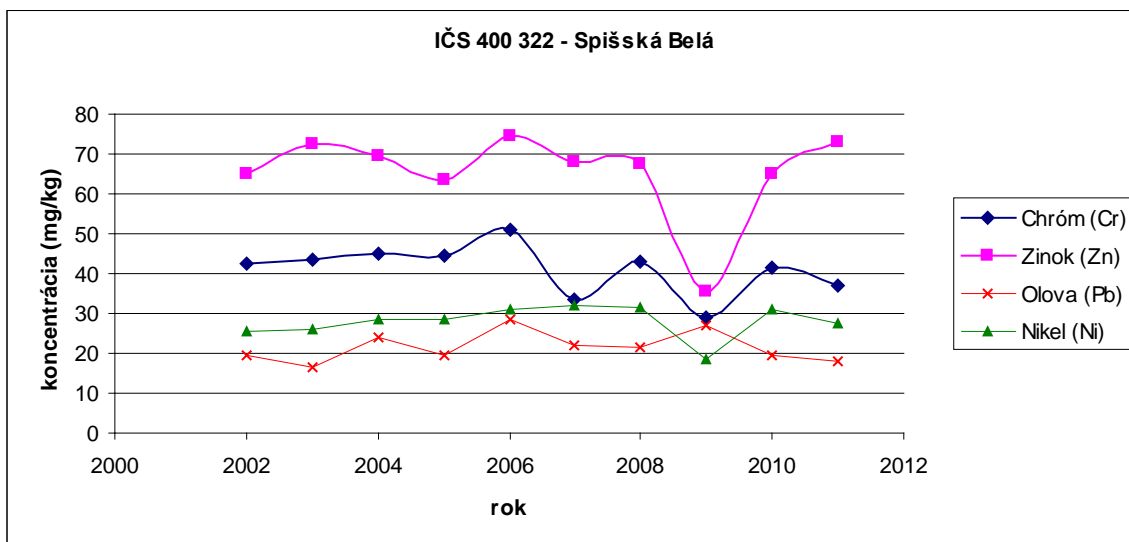
Tab.7 Základná popisná štatistika na lokalite Spišská Belá 400 322 za roky 2002 – 2011

(mg/kg)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Smerodajná odchýlka	1,273	0,079	2,412	6,292	4,707	3,991	3,842	11,080
Priemerný obsah	9,25	0,22	8,83	41,11	20,71	27,99	21,57	65,43
Koeficient variability %	13,76	35,91	27,32	15,30	22,74	14,26	17,82	16,93
Minimálna hodnota	7,31	0,10	4,77	29,20	8,25	25,55	16,70	35,70
Maximálna hodnota	11,60	0,31	11,66	51,19	24,55	31,96	28,42	74,35

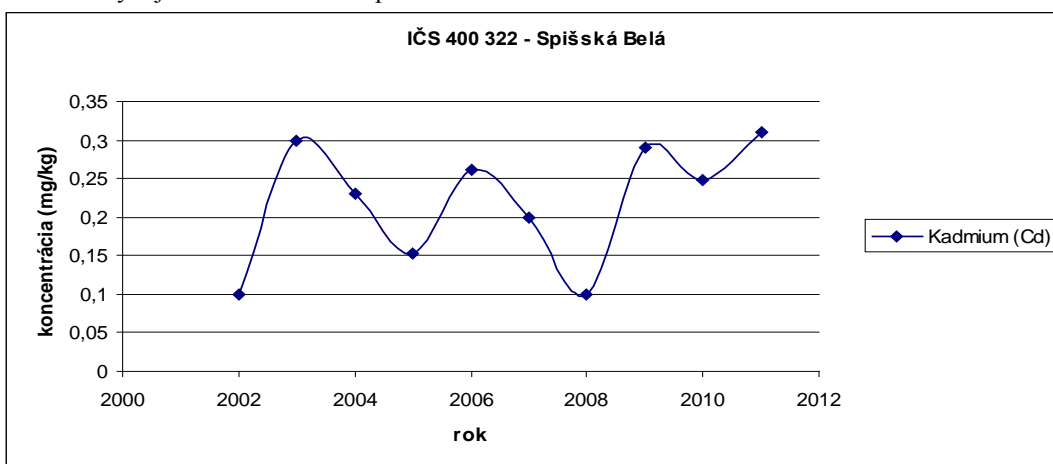
Obr. 15 Vývoj As, Co, Cu na lokalite – Spišská Belá



Obr. 16 Vývoj Cr, Zn, Pb, Ni na lokalite Spišská Belá



Obr. 17 Vývoj Cd na lokalite – Spišská Belá



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

- nerovnomerný heterogénny 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.

Záver

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. 5-7 a obr. 9-17) 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 .

Literatúra : Zákon 220/2004

6.3 Obsah a vývoj makro- a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach

6.3.1 Makroelementy

V tejto časti hodnotíme aktuálny stav a vývoj makroelementov – prístupných živín P, K, Mg v monitorovacej sieti poľnohospodárskych pôd Slovenska. V prvých troch cykloch monitorovania pôd sme prístupný fosfor stanovovali podľa Egnera, prístupný draslík podľa Schachtschabela a prístupný horčík podľa Mehlicha II (tento sme začali monitorovať len od 2. cyklu). V štvrtom monitorovacom cykle sme prístupný fosfor, draslík a horčík začali stanovovať podľa Mehlicha III. Kvôli porovnaniu zmien v obsahu v obsahu prístupných živín P, K, Mg bolo preto potrebné urobiť prepočet na základe už zistených regresných rovníc pre každý makroelement separátne, ako už bolo publikované v predchádzajúcej práci (Kobza, 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 2011.

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 ⁻¹)			K (mg.kg ⁻¹)			Mg (mg.kg ⁻¹)		
		X _{min}	X _{max}	X	X _{min}	X _{max}	X	X _{min}	X _{max}	X
ČA na karb. sed.	OP	17,7	276,0	70,7	61,4	345,0	183,0	136,0	1481,0	574,8
ČA na nekarb sed.	OP	50,0	386,0	145,6	131,0	877,0	315,3	112,0	782,0	355,2
Zasolené pôdy	OP (TTP)	13,7	133,0	50,3	113,0	488,0	188,0	306,0	1274,0	659,5
Antropicky zneč. pôdy	TTP	0,6	27,0	-	84,0	201,0	-	764	7302	-

X – aritmetický priemer

Fosfor

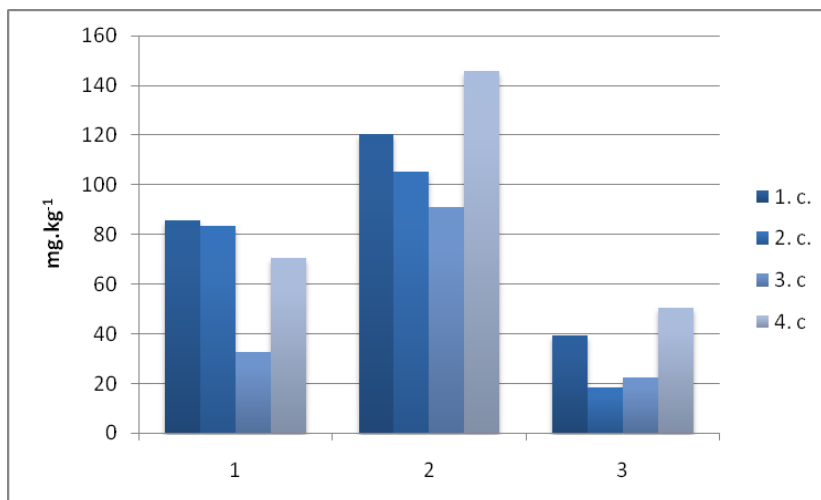
Obsah prístupného fosforu v pôdach závisí od genézy a vlastností pôd, a ko aj od intenzity hnojenia. Prirodzené zásoby fosforu v našich pôdach sú nízke a pohybujú sa v rozpätí 0,02-0,04 % P, čo v inom agrochemickom vyjadrení predstavuje 200-400 mg P.kg⁻¹ (Mengel, 1965). V našich podmienkach sú taktiež prirodzené obsahy nízke. Pri prvom komplexnom pôdoznaleckom prieskume poľnohospodárskych pôd - KPP (1961-1970) bol obsah prístupného fosforu nízky, v ornici sa jeho obsah pohyboval v rozpätí 7,6-38,7 mg.kg⁻¹ (Kobza, Styk, 1997) – priemerne 22,3 mg.kg⁻¹ (stanoveného prístupného fosforu podľa Egnera). Touto metódou sme sledovali obsah prístupného fosforu aj v monitorovacej sieti pôd Slovenska, od 4. monitorovacieho cyklu (t.j. od roku 2007) sme začali hodnotiť obsah prístupného fosforu v pôdach podľa Mehlicha III. (túto formu analyzuje aj ÚKSUP v rámci ASP – agrochemického skúšania pôd). Prepočet obsahu prístupného fosforu podľa Egnera na Mehlicha III. je uvedený v publikácii Kobza, Gáborík, 2008.

Obsah prístupného fosforu sa v hodnotených pôdach pohybuje priemerne v rozpätí 50,3 - 145,6 mg.kg⁻¹, čo je obsah vyhovujúci až vysoký pre prevládajúce zrnitostne stredne ťažké pôdy (Kobza, Gáborík, 2008). Vyššie hodnoty boli dosiahnuté na produkčných a úrodných čierniciach, nižšie hodnoty na zasolených pôdach, kde sa prakticky tento prvok do pôdy nedodáva. Jedná sa o pôdy prevažne pod trvalými trávnyimi porastami často

s dominanciou chalkofilnej vegetácie. Široké rozpätie obsahu prístupného fosforu v hodnotených pôdach svedčí o výraznej variabilite tohto makroelementu.

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

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



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Vývoj obsahu prístupného fosforu (obr. 1) je pomerne variabilný a to ako na orných pôdach, tak aj na pôdach pod TTP, kde sú priemerné hodnoty nižšie oproti orným pôdam. Počas sledovania tohto prvku od začiatku monitorovania (od roku 1993) štatisticky preukazný rozdiel bol zistený len pri čierniciach karbonátových (tab. 2). Zasolené pôdy a antropicky znečistené pôdy sme pre malú početnosť súborov nehodnotili.

Tab. 2 Hodnotenie preukaznosti rozdielov makroelementov (P, K, Mg) medzi 1. a 4. cyklom uvedených pôd pomocou F-testu

Pôdy F-test	1			2		
	P	K	Mg*	P	K	Mg*
Vypočít.	2,58 ⁺	2,06 ⁻	1,28 ⁻	2,02 ⁻	1,68 ⁻	1,15 ⁻
P _{0,05}	2,5	2,5	3,9	2,5	2,5	4,3
P _{0,01}	3,7	3,7	4,9	3,7	3,7	8,5

1 – čiernice na karb. substrátoch, 2 – čiernice na nekarb. substrátoch, ⁻ - štatisticky nepreukazný rozdiel, ⁺ - štatisticky preukazný rozdiel, ⁺⁺ - štatisticky vysoko preukazný rozdiel, pri Mg* – test medzi 2. a 4. cyklom (v 1. cykle nebol sledovaný)

V poslednom období však zisťujeme určitý nárast obsahu prístupného fosforu v hodnotených pôdach, čo môže byť spôsobené najmä fosforečným hnojením. V hodnotených pôdach sa v súčasnosti jeho obsah pohybuje priemerne na úrovni vyhovujúcej až vysokej zásobenosti (pri čierniciach), pri zasolených pôdach je jeho obsah nízky.

Draslík

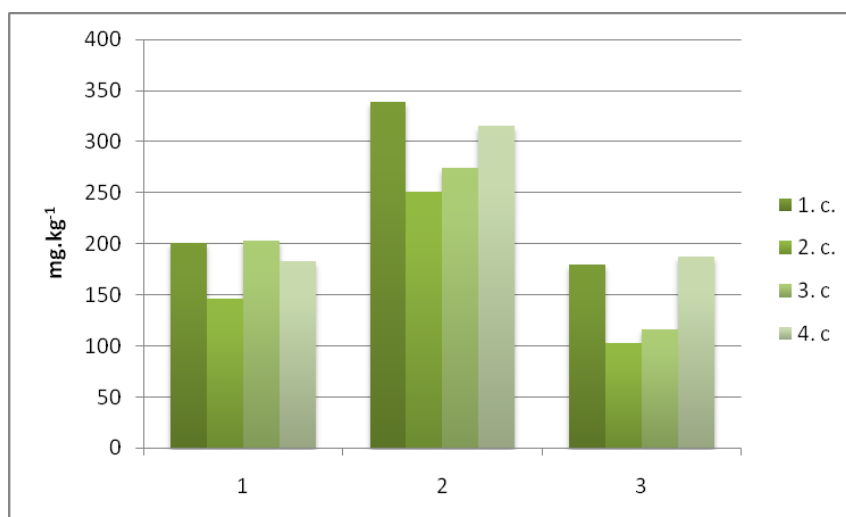
Zásobenosť pôd draslíkom je oproti fosforu lepšia, čo pramení z pomerne dobrých prirodzených zdrojov minerálneho zloženia pôdy. Dokumentujú to aj údaje uvedené v tab. 1. Priemerný obsah prístupného draslíka v hodnotených pôdach sa pohybuje v rozpätí 183 – 315,3 mg.kg⁻¹, čo je obsah vyhovujúci až vysoký (Kobza, Gáborík, 2008). Najvyššie hodnoty

obsahu prístupného draslíka boli zistené pri čierniciach nekarbonátových, spôsobených zrejme vplyvom K-hnojenia, pretože sa jedná o intenzívne obhospodarované, najmä orné pôdy.

V období Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd sa pohyboval v rozpätí 64,4 - 129,1 mg.kg⁻¹ (priemerne 108 mg.K.kg⁻¹), čo sme už uviedli v predchádzajúcej práci (Kobza, Styk, 1997).

Vývoj obsahu prístupného draslíka je znázornený na obr. 2.

Obr. 2 Vývoj obsahu prístupného K (Mehlich III.) v ornici (0 – 10 cm) poľnohosp. pôd



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Vývoj obsahu prístupného draslíka (obr. 2) na hodnotených pôdach je mierne variabilný, jeho rozdiely medzi 1. a 4. monitorovacím cyklom sú však štatisticky nepreukazné (tab. 2). Možno teda konštatovať, že v hodnotenom období nedošlo k výraznejšej zmene v obsahu prístupného draslíka v hodnotených pôdach.

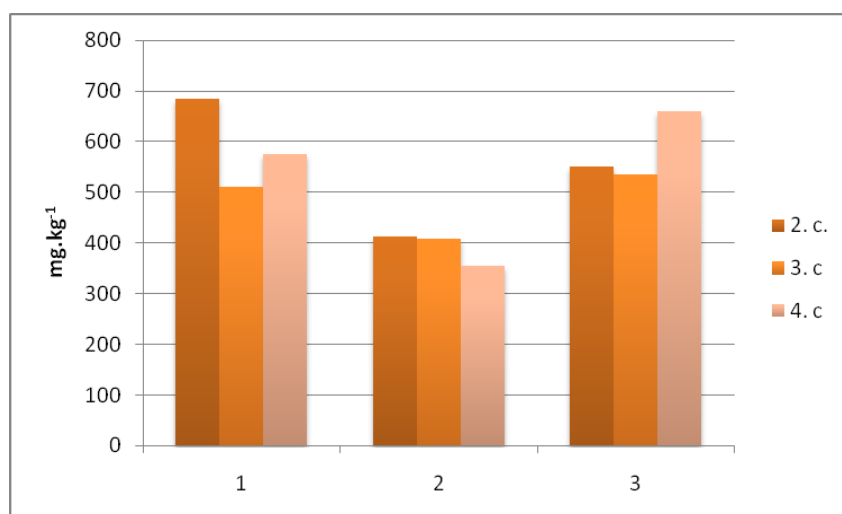
Horčík

Horčík považujeme za piatu hlavnú živinu vo výžive rastlín (Hrtánek, Kobza, 1980). Nachádza sa vo viacerých primárnych a pomerne dobre zvetrateľných mineráloch (olivín, serpentín, biotit), ale aj v sekundárnych mineráloch (smektity, chlorit, vermikulit). V karbonátových pôdach sa vyskytuje v uhličitanovej forme (MgCO₃ – magnezit, MgCO₃.CaCO₃ – dolomit). Horčík sledujeme v monitorovacej sieti pôd Slovenska len od 2. monitorovacieho cyklu, takže v tejto časti hodnotíme vybrané pôdy len za 2. až 4. monitorovací cyklus.

Obsah prístupného horčíka v hodnotených pôdach je uvedený v tab. 1. Jeho priemerný obsah sa pohybuje v rozpätí 355,2 – 659,5 mg.kg⁻¹, čo je obsah veľmi vysoký (Kobza, Gáborík, 2008). Keďže prihnojovanie pôd horčíkom sa prakticky nepoužíva, dokumentuje to vysokú zásobenosť našich pôd horčíkom, čo sme zistili aj pri ostatných pôdach (Kobza a kol., 2009). Môžeme teda len potvrdiť, že naše pôdy sú dobre zásobené horčíkom.

Vývoj obsahu prístupného horčíka v hodnotených pôdach je znázornený na obr. 3.

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



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Keďže obsah prístupného horčíka je skôr odrazom jeho prirodzenej zásobenosti, jeho vývoj za posledné obdobie je pomerne variabilný bez výraznejšieho trendu jeho zvýšenia, alebo poklesu. Dokumentujú to napokon aj výsledky testovania rozdielov preukaznosti obsahu prístupného horčíka medzi 2. a 4. monitorovacím cyklom, kde sú zmeny v jeho obsahu štatisticky nepreukazné. (tab. 2).

6.3.2 Mikroelementy

Meď

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, a teda aj medi v hodnotených pôdach je uvedený v tab.3.

Tab. 3 Obsah mikroelementov Cu, Zn, Mn (DTPA) v ornici (0-10 cm) poľnohospodárskych pôd SR (4. monitorovací cyklus)

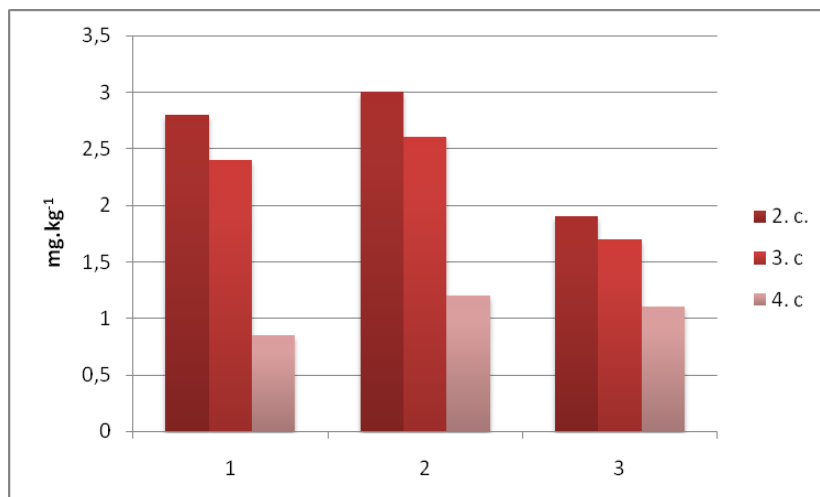
Pôdy	Druh pozemku	Cu (mg.kg ⁻¹)			Zn (mg.kg ⁻¹)			Mn (mg.kg ⁻¹)		
		X _{min}	X _{max}	X	X _{min}	X _{max}	X	X _{min}	X _{max}	X
ČA na karb. sed.	OP	0,68	2,40	0,85	0,26	4,26	0,93	3,96	26,40	9,45
ČA na nekarb. sed.	OP	0,63	2,66	1,23	0,41	3,51	1,63	13,70	90,0	43,50
Zasolené pôdy	OP (TTP)	0,65	1,62	1,10	0,22	1,96	0,65	1,84	19,60	7,29
Antropicky zneč. pôdy	TTP	0,71	1,21	-	1,23	1,88	-	6,64	17,50	-

X – aritmetický priemer

Obsah medi (v extrakte DTPA) sa v hodnotených pôdach pohybuje priemerne v rozpätí 0,85 - 1,23 mg.kg⁻¹, čo je obsah stredný (Juráni a kol., 1985), čo len potvrdzuje, že hodnotené pôdy obsahujú dostatok tohto prvku.

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

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



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Vývoj obsahu medi v hodnotených pôdach má klesajúcu tendenciu s najvýraznejším poklesom v 4. monitorovacom cykle. Dokumentuje to aj testovanie rozdielov medzi 2. a 4. monitorovacím cyklom, ktoré sú v hodnotených čierniciach vysoko preukazné (čiernice karbonátové) až preukazné (čiernice nekarbonátové) – tab. 4. Či tento trend bude pokračovať, ukážu až výsledky ďalšieho monitorovania. Ostatné pôdy pre nízku početnosť súborov sme nehodnotili.

Tab. 4 Hodnotenie preukaznosti rozdielov v obsahu mikroelementov

Pôdy F-test	1			2		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
Vypočít.	4,76 ⁺⁺	1,43 ⁻	1,93 ⁻	3,11 ⁺	8,38 ⁺⁺	3,98 ⁺
P _{0,05}	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
P _{0,01}	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2

1 – čiernice na karb. substrátoch, 2 – čiernice na nekarb. substrátoch, ⁻ - štatisticky nepreukazný rozdiel, ⁺ - štatisticky preukazný rozdiel, ⁺⁺ - štatisticky vysoko preukazný rozdiel

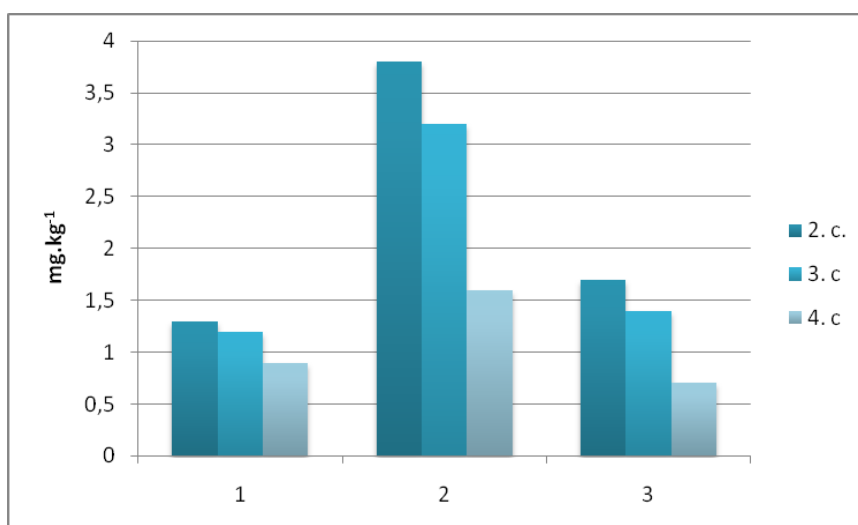
Zinok

Je aktivátorom a stabilizátorom enzýmov riadiacich metabolizmus rastlín. Ovplyvňuje spotrebu cukrov, oxidačné procesy a transformáciu aminokyselín. Pri jeho nedostatku sa znižuje syntéza RMK, bielkovín, škrobu a je porušená tvorba chlorofylu (Fecenko, Ložek, 2000).

Priemerný obsah zinku v hodnotených pôdach sa pohybuje v rozpätí 0,65 - 1,63 mg.kg⁻¹, čo je obsah malý až stredný (Juráni a kol., 1985). Podobne ako pri medi, i tu zisťujeme postupný pokles tohto mikroelementu (Obr. 5).

Vývoj zinku v hodnotených pôdach je znázornený na obr. 5.

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



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Pri čierniciach nekarbonátových je rozdiel štatisticky vysoko preukazný, a to v smere poklesu (Tab. 4). Ide o dôležité zistenie, podobne ako pri medi, či tento nepriaznivý trend bude pokračovať, ukáže až ďalšie monitorovanie mikroelementov v pôdach, a teda aj zinku.

Mangán

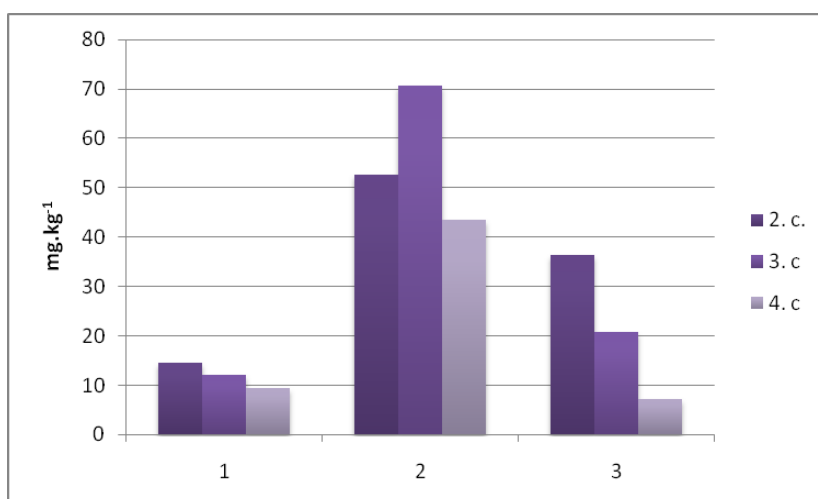
Na základe našich už predchádzajúcich zistení (Kobza a kol., 2009), ako aj zistení ÚKSUP-u možno potvrdiť, že mangánu je v našich pôdach relatívny dostatok. Prípadný nedostatok mangánu vzniká skôr nevhodnými stanovištnými podmienkami, ako jeho neprítomnosťou v pôde (Demo a kol., 2002).

Význam mangánu v rastlinách spočíva hlavne v aktivizovaní enzýmov, účasti pri fosforylačných reakciách a oxidačných a dekarboxilačných procesoch organických kyselín trikarbonátového cyklu. Jeho nedostatok sa prejavuje obmedzením tvorby chloroplastov, čím sa znižuje fotosyntéza, v dôsledku čoho je nižšia tvorba sacharidov a škrobu (Fecenko, Ložek, 2000).

Na základe výsledkov uvedených v tab. 3, obsah mangánu v hodnotených pôdach sa pohybuje v rozpätí 7,29 - 43,50 mg.kg⁻¹, čo je obsah prevažne nízky až stredný (Juráni a kol., 1985). Najnižší obsah Mn bol zistený v zasolených pôdach, najvyšší obsah Mn bol zistený v čierniciach nekarbonátových. Mangán je pomerne variabilný prvok, čo potvrdzujú aj výsledky ASP (Kobza, Gáborík, 2008). I keď naše pôdy sú vo všeobecnosti dobre zásobené mangánom (Kobza a kol., 2009), jeho prípadný nedostatok vzniká skôr nevhodnými stanovištnými podmienkami, ako jeho neprítomnosťou v pôde (Demo a kol., 2002), čo sa prejavilo v našom prípade najmä na zasolených pôdach.

Vývoj obsahu mangánu je znázornený na obr. 6.

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



1 – čiernice karbonátové, 2 – čiernice nekarbonátové, 3 – zasolené pôdy

Vývoj obsahu mangánu v hodnotených pôdach je viac-menej variabilný, podobne však ako pri ostatných mikroelementoch má klesajúci trend.

Záverom tejto časti môžeme konštatovať, že obsah uvedených mikroelementov (Cu, Zn, Mn) v hodnotených pôdach je prevažne stredný až nízky, s klesajúcim trendom ich obsahu v hodnotených pôdach, čo je varovným signálom pre zásobenosť pôd mikroživinami, a preto bude tento zistený nepriaznivý trend potrebné naďalej permanentne monitorovať.

Literatúra

- Demo, M., Hričovský, I., Bielek, P., Fehér, A., Frančáková, H., Ginterová, A., Hanáčková, E., Hroška, 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. Nitra: SPU v Nitre a Šaľa: Duslo, a.s., 2000, 442 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Hrtánek, B., Kobza, J. 1980. Vegetačná dynamika prijateľného horčička pod porastom kukurice v ornici hnedozeme a illimerizovanej pôdy oglejenej. Ved. práce VÚPVR č. 10, s. 93-106.
- Juráni, B., Neuberg, J., Zelený, F. 1985. Hnojení mikroživinami. Komplexní metodika výživy rostlin, UVTIZ Praha 1985, s. 151 – 169.
- 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., 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-P za obdobie rokov 2002-2006 (3. cyklus). VÚPOP Bratislava, 200 s. ISBN 978-80-89128-54-9.
- Mengel, K. 1965. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. WEB, Gustav Fischer Verlag, Jena.

6.4 Hodnotenie vývoja kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdnej organickej hmoty

Úvod

Obsah a kvalita pôdnej organickej hmoty (POH) patrí medzi základné pôdne parametre, je energetickým základom mnohých biologických procesov, ovplyvňuje produkčnú funkciu pôdy, ale zúčastňuje sa tiež na jej mimoprodukčných, hlavne ekologických funkciách. Mnohí autori (Andrews a kol. 2004, Ogle a Paustian, 2005) uvádzajú pôdny organický uhlík (POC) ako dôležitý indikátor pôdnej kvality, ktorý je súčasťou všetkých minimálnych súborov indikátorov komplexne hodnotiacich kvalitu pôdy na základe pôdnych funkcií (Brejda a kol., 2000). Jednou zo základných metód, ktorá poskytuje informáciu o zmenách v zásobách organického uhlíka, ak sú merania uskutočnené v dvoch bodoch v čase, je pôdny monitoring (Bellamy a kol., 2005). Pôdny monitoring je definovaný ako kontinuálne, resp. opakujúce sa meranie a hodnotenie pôdy, alebo súvisiacich environmentálnych, alebo technických údajov pre definovaný cieľ, podľa časového a priestorového harmonogramu štandardizovanými metódami zberu údajov a ich analýzy (Saby a kol., 2008).

Na Slovensku sa od roku 1993 v pravidelných 5-ročných cykloch v rámci základnej monitorovacej siete sledujú všetky najdôležitejšie pôdne vlastnosti vrátane pôdnej organickej hmoty. Monitorujú sa jednak zmeny v kvantitatívnych (POC, celkový dusík-Nt) ako aj kvalitatívnych (pomer uhlíka humínových a fulvo kyselín Chk/Cfk, optický parameter Q^4_6) parametrov POH. Na vybraných kľúčových lokalitách sa obsah a kvalita POH monitoruje každoročne. Okrem základných kvalitatívnych parametrov POH (Chk/Cfk, Q^4_6) sa na kľúčových lokalitách všetkých pôdnych typov izolujú humínové kyseliny (HK) a stanovuje sa ich kvalitatívne zloženie.

V predkladanej práci v rámci základnej monitorovacej siete v časovom intervale 1993-2007 hodnotíme zmeny v množstve a kvalite POH karbonátových a nekarbonátových čiernic, zasolených a antropogénne znečistených pôd. Zmeny POH sú monitorované aj na 2 kľúčových lokalitách karbonátovej a nekarbonátovej čiernice v intervale 1995-2011. Na kľúčových lokalitách čiernic sú hodnotené aj detailné zmeny v chemickom zložení humínových kyselín izolovaných z karbonátovej a nekarbonátovej čiernice monitorovacieho obdobia (1995-2008).

Materiál a metódy

V rámci základnej monitorovacej siete je hodnotenie pôdnej organickej hmoty realizované na orných pôdach (OP) čiernic karbonátových (ČA^c) a čiernic nekarbonátových (ČA), na orných pôdach a trvalých trávnych porastoch zasolených pôd (SK+SC) a na dvoch antropogénne znečistených pôdach (AN).

V základnej monitorovacej sieti bol obsah pôdneho organického uhlíka – POC, ako aj celkového dusíka Nt vo 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 bol vybraný optický parameter - farebný kvocient Q^4_6 (pomer absorbancií meraných v roztoku humínových kyselín pri vlnových dĺžkach 465 a 650 nm) a pomer uhlíka humínových a fulvokyselín (Chk/Cfk). Obsah POC a Nt v orničnom horizonte ako aj základné kvalitatívne parametre humusu boli stanovené aj na dvoch kľúčových lokalitách čiernice karbonátovej (Macov 336(1), 337 (2) a čiernice nekarbonátovej (Spišská Belá 322). Na lokalite Macov sa monitorovanie

základných parametrov POH realizuje na mieste bez kontaminácie (1) a na mieste silne znečistenom kadmíom (2). Na lokalite Macov bez kontaminácie (336) a na lokalite Spišská Belá (322) sa v časovom rozpätí 2005-2008 v 3-ročných intervaloch izolovali humínové kyseliny (HK) a stanovovala sa ich detailná chemická štruktúra na základe týchto parametrov: elementárne stanovenie uhlíka, dusíka, vodíka a kyslíka (CHN analýza), optický parameter $E^{1\%}_1$, karboxylová kyslost' HK (COOH) a spektrá nukleárnej magnetickej rezonancie ^{13}C NMR, z ktorých sa vypočítalo percentuálne zastúpenie aromatického (Car) a alifatického (Calif) uhlíka a stupeň aromaticity - α . Izolácia humínových kyselín ako aj metódy stanovenia všetkých sledovaných parametrov sú uvedené v Záväzných metódach rozborov pôd (Kobza, 1999).

Výsledky a diskusia

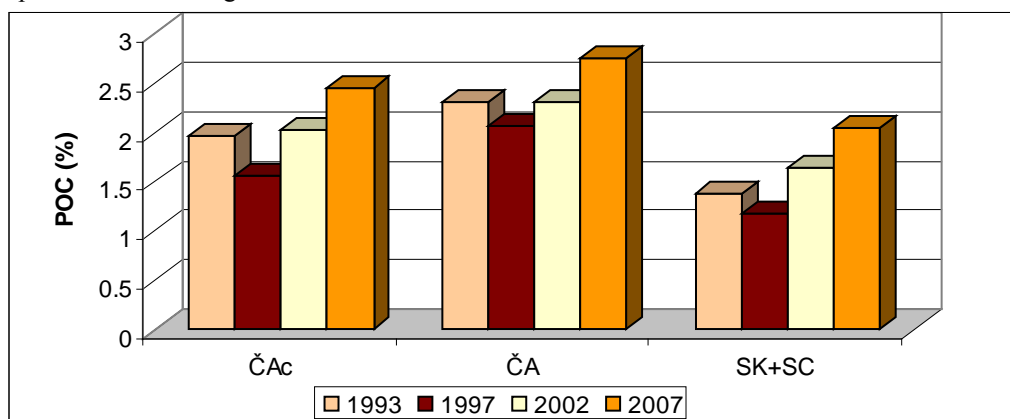
Čiernice na Slovensku zaberajú okolo 8% poľnohospodárskych pôd a nakoľko patria medzi naše najúrodnejšie pôdy (Bielek a kol. 1998) v súčasnosti sú to vysoko intenzívne obrábané orné pôdy. Vo všeobecnosti parametre obsahu a kvalitatívneho zloženia humusu sú podmienené jednak genézou pôd (humus tmavých molických a melanických horizontov černoziemí, čiernic a rendzín je odlišný od humusu ostatných pôd) a jednak rozdielnymi hydrotermickými podmienkami rozkladu organickej hmoty a tvorby humusu (Linkeš a kol., 1997). Významným antropickým činiteľom, ktorý ovplyvňuje predovšetkým množstvo pôdneho organického uhlíka (POC) je intenzívne poľnohospodárske využívanie pôd. Pri rozoraní pasienkov dochádza k porušeniu prirodzenej rovnováhy a obsah humusu sa podstatne zníži v dôsledku intenzívnej mineralizácie hlavne v orničnom horizonte (Chukov, 2000). Tiež dlhodobé intenzívne obrábanie pôdy výrazne znižuje celkovú zásobu POH, čo sa odráža na znížení množstva POC (Schnitzer a kol. 2005). Z uvedeného dôvodu všetky pôdne typy orných pôd opr oti trvalým trávny porastom disponujú nižšími hodnotami pôdneho organického uhlíka, čo jasne ukazujú aj výsledky monitorovania POH. Na Slovensku sa priemerné hodnoty POC jednotlivých pôdnych typov orných pôd v orničnom horizonte pohybujú v úzkom intervale 1-2 % (Barančíková, 2009). Z pomedzi intenzívne obrábaných orných pôd najvyššími priemernými hodnotami POC disponujú čiernice (Barančíková, 2009). Priemerné hodnoty POC čiernic v orničnom horizonte v poslednom monitorovacom cykle (2007) sú najvyššie v celej histórii monitorovania pôd na Slovensku, pričom vyššími hodnotami disponujú čiernice na nekarbonátových fluvialných sedimentoch (Tabuľka 1, obr. 1). Ako je možné vidieť na obr. 1 priemerné hodnoty pôdneho organického uhlíka čiernic na nekarbonátových sedimentoch v priebehu celého monitorovacieho obdobia sú vyššie ako čiernic na karbonátových sedimentoch. Podstatne nižšími hodnotami POC disponujú zasolené pôdy (Tabuľka 1, obr. 1).

Nakoľko na antropogénne znečistených silne alkalických pôdach máme iba dve lokality POH sa na nich hodnotí separátne. V priebehu celého monitorovacieho obdobia sú hodnoty POC na lokalite Hačava s vysokou koncentráciou horčička, podstatne vyššie ako na lokalite Zemianske Kostolany, ktorá je antropogénne kontaminovaná arzénom (Obr. 2).

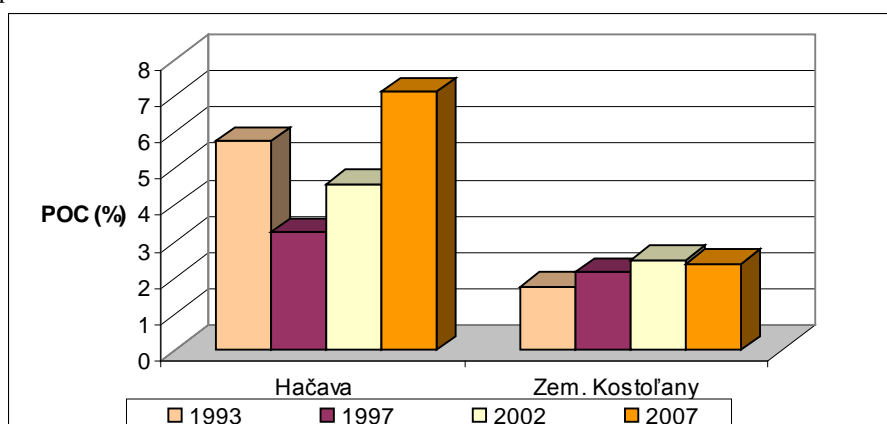
Tab. 1 Hodnoty POC (%) vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdnych typoch. Rok odberu: 2007

pôdny typ	kultúra	hĺbka (cm)	Xmin	Xmax	X
Čiernice na karbonátových sedimentoch ČA ^c	OP	0-10	1,41	4,72	2,45
		35-45	0,24	2,65	1,37
Čiernice na nekarbonátových sedimentoch ČA	OP	0-10	1,94	4,86	2,81
		35-45	0,87	2,48	1,65
Zasolené pôdy SK + SC	OP+TTP	0-10	1,59	2,74	2,05
		35-45			

Obr. 1 Vývoj obsahu pôdneho organického uhlíka (POC) v ornici (0-10 cm) na čierniciach a zasolených pôdach v priebehu monitoringu



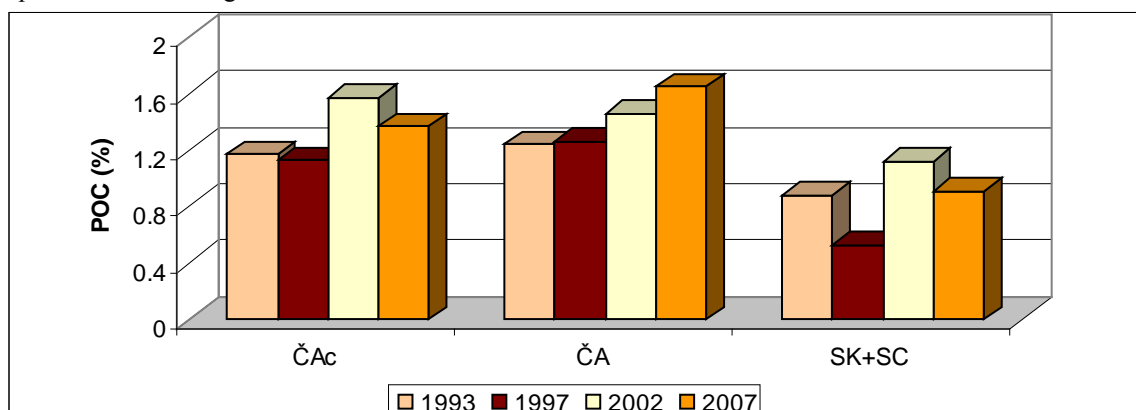
Obr. 2 Vývoj obsahu pôdneho organického uhlíka (POC) v ornici (0-10 cm) na antropogénne znečistených pôdach



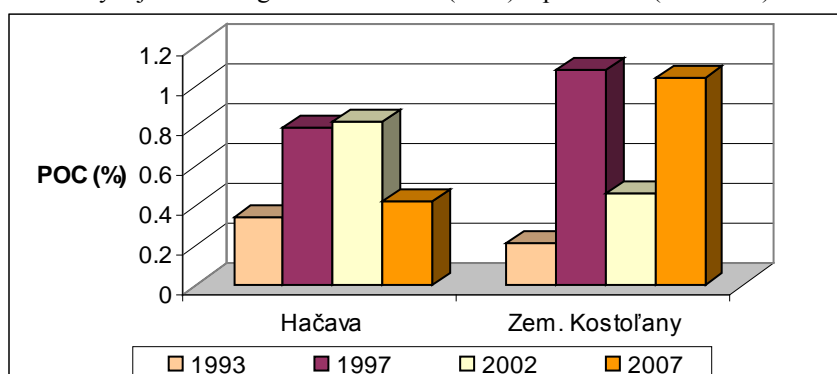
V priebehu prvého 5 ročného cyklu bol na všetkých sledovaných pôdnych skupinách zaznamenaný pokles organického uhlíka (Obr. 1). Uvedený trend v danom období bol zistený aj na ostatných sledovaných pôdnych skupinách (Barančíkova, 2009). Jednou z príčin intenzívnejšej mineralizácie POH na orných pôdach môže byť intenzívne konvenčné obrábanie pôdy (Schnitzer a kol. 2005, A randa a kol., 2011), bez dostatočného prísunu kvalitnej organickej hmoty (Bayer a kol. 2000) a aplikácia minerálnych živín (Ševcova, 2003). Na Slovensku došlo hlavne po roku 1989 k postupnému znižovaniu produkcie maštalného hnoja a úroveň hospodárenia s pôdnou organickou hmotou bola obmedzovaná aj poklesom úrod poľnohospodárskych plodín a s tým súvisiacim nižším prísunom rastlinných zvyškov do pôdy (Jurčová, 1996). V priebehu posledných 10 rokov množstvo organického uhlíka v orníčovom horizonte sledovaných pôdnych typov postupne vzrastá. Jednou z technológií, ktoré majú potenciál zvyšovať množstvo POC na intenzívne obrábaných orných pôdach, ako to ukazujú aj naše výsledky na modelovom podniku Selice (Barančíková a kol., 2011) je pôdoochranná technológia, ktorá zahŕňa aj zaorávanie pozberových zvyškov a dôslednú aplikáciu organického hnojenia (Kováč a kol., 2010).

Hodnoty POC v hĺbke 35-45 cm sú podstatne nižšie ako v orníčovom horizonte (Obr. 3, 4, Tabuľka1). V priebehu sledovaného obdobia hodnoty pôdneho organického uhlíka v hĺbke 35-45 cm na čierniciach karbonátových a zasolených pôdach majú kolísavý charakter, na čierniciach na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch pozorujeme nepatrný nárast POC (Obr.3). Výrazne kolísavý trend POC bol zaznamenaný aj na antropogénne znečistených pôdach (obr. 4).

Obr. 3 Vývoj obsahu organického uhlíka (POC) v podornici (35-45 cm) na čierniciach a zasolených pôdach v priebehu monitoringu



Obr. 4 Vývoj obsahu organického uhlíka (POC) v podornici (35-45 cm) na antropogénne znečistených pôdach

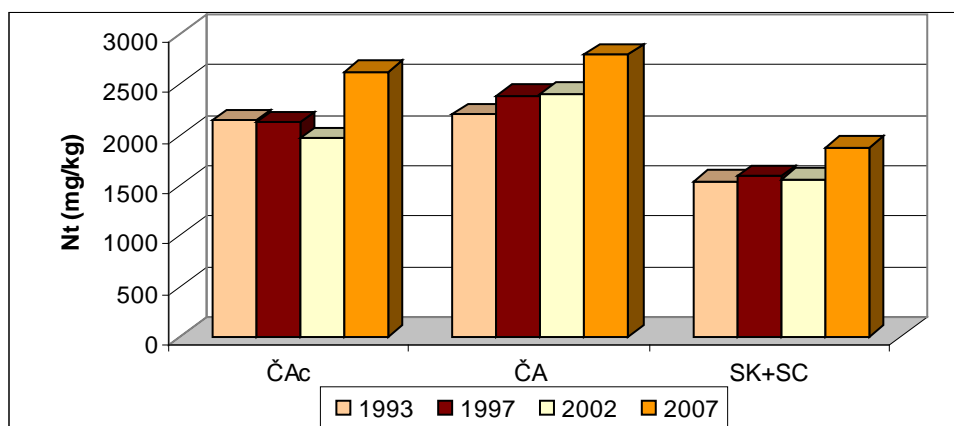


Hodnoty celkového dusíka (Nt) sú v súlade s hodnotami pôdneho organického uhlíka, čo potvrdzuje aj vysoká hodnota korelačného koeficientu $R=0.94^{**}$. Podobne ako v prípade POC o niečo vyššími hodnotami Nt disponujú čiernice na nekarbonátových fluvialných sedimentoch v porovnaní s karbonátovými čiernicami. Podstatne nižšie hodnoty Nt ako u čiernic sú charakteristické pre zasolené pôdy (Obr. 5, Tabuľka 2). U antropogénne znečistených pôd podstatne vyššie hodnoty Nt boli zistené na lokalite Hačava ako na lokalite Zemianske Kostolany, čo je v súlade s hodnotami POC na týchto lokalitách (Obr.6). Na oboch antropogénnych lokalitách majú hodnoty celkového dusíka mierne stúpajúcu tendenciu (Obr.6).

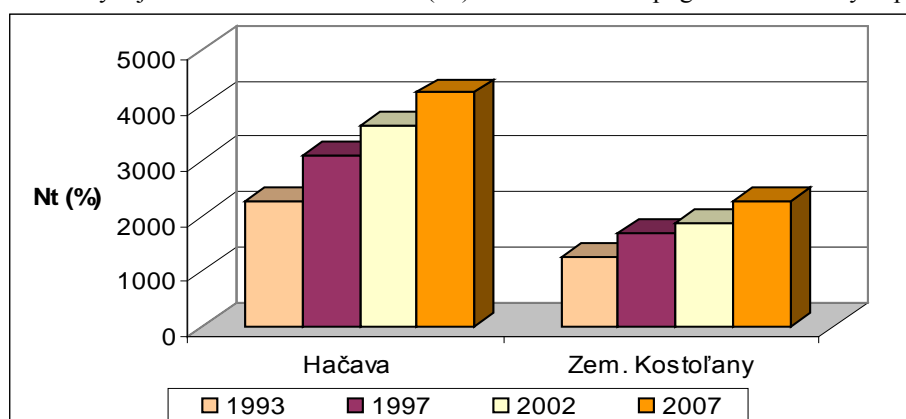
Tab. 2 Hodnoty Nt (mg/kg) a C/N vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdnych typoch. Rok odberu: 2007

pôdny typ	kultúra	hĺbka (cm)	N			C/N		
			Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
Čiernice na karbonátových sedimentoch ČAc		0-10	1510	4930	2629	8,1	11,2	9,4
Čiernice na nekarbonátových sedimentoch ČA		0-10	2010	4350	2850	8,8	11	9,8
Zasolené pôdy SK + SC		0-10	1210	2800	1873	11,3	17	13,8

Obr. 5 Vývoj hodnôt celkového dusíka (Nt) v ornici na čierniciach a zasolených pôdach v priebehu monitorovacieho obdobia



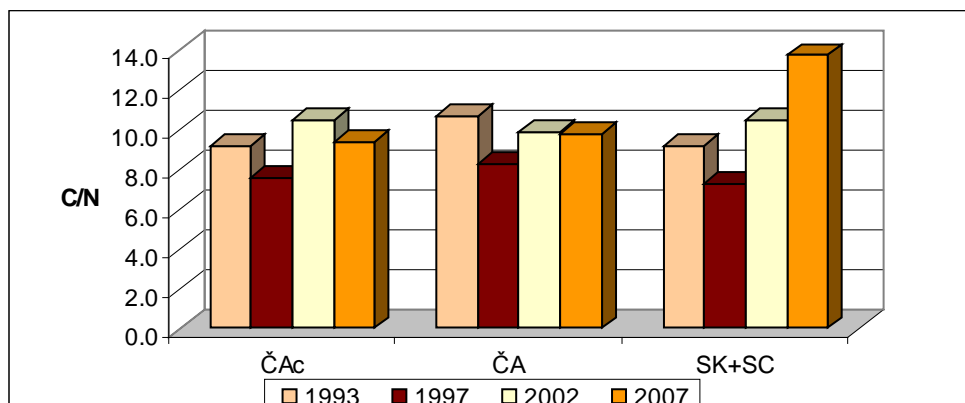
Obr. 6 Vývoj hodnôt celkového dusíka (Nt) v ornici na antropogénne znečistených pôdach



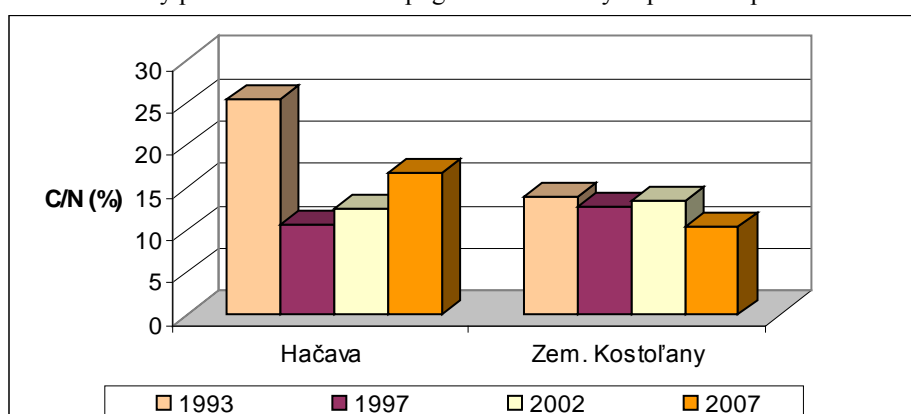
V priebehu rokov 1993-2002 boli zmeny v priemerných hodnotách Nt čiernic i zasolených pôd minimálne, podstatne vyššie hodnoty Nt boli zistené v zatiaľ poslednom odbere v r. 2007 v porovnaní s predchádzajúcimi hodnotami tohto parametra (Obr. 5). Postupný nárast celkového dusíka bol zaznamenaný aj na oboch lokalitách antropogénne znečistených pôd (Obr. 6).

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), u karbonátových aj nekarbonátových čiernic v priebehu celého monitorovacieho obdobia kolíšu v rozmedzí 8-10, čo indikuje strednú zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote (Sotáková, 1982). Pri zasolených pôdach sa hodnota C/N do roku 2002 pohybovala podobne ako v prípade čiernic v intervale 8-10, ale v zatiaľ poslednom odbere v r. 2007 hodnota tohto parametra značne stúpla a indikuje nízku zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote zasolených pôd (Obr. 7). Hodnoty pomeru C/N pri antropogénne znečistených pôdach sú predovšetkým na lokalite Hačava veľmi rozdielne (25-12) a indikujú nízku až veľmi nízku zásobu dusíka v POH tejto lokality. Hodnoty C/N na lokalite Zemianske Kostofany sa pohybujú v priebehu celého monitorovacieho obdobia v užšom intervale a indikujú nízku zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote tejto lokality (Obr. 8).

Obr. 7 Hodnoty pomeru C/N na čierniciach a zasolených pôdach v priebehu monitorovacieho obdobia



Obr. 8 Hodnoty pomeru C/N na antropogénne znečistených pôdach v priebehu monitorovacieho obdobia



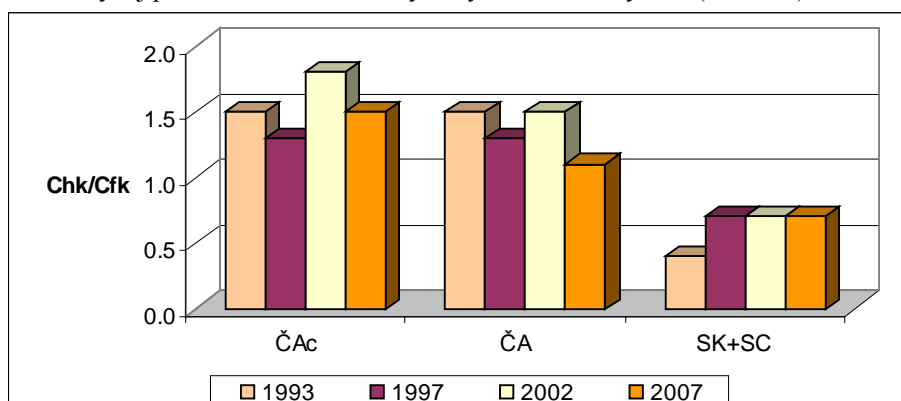
Kvalitatívne parametre Chk/Cfk a Q_6^4 nie sú vo veľkej miere ovplyvnené využitím pôdy, ale vo väčšej miere sa v nich odráža genéza pôdy, charakteristická pre ten-ktorý pôdny typ. Základným kvalitatívnym parametrom je pomer humínových kyselín a fulvokyselín Chk/Cfk . Prevládanie humínových kyselín nad fulvokyselinami je charakteristické pre vyzretejšiu viac humifikovanú organickú hmotu, ktorou disponujú predovšetkým černoze a čiernice (Sotáková, 1982, Barančíková, 2009). V súlade s týmto tvrdením sú priemerné hodnoty Chk/Cfk na sledovaných čierniciach vyššie ako 1, pričom vyššími hodnotami disponujú čiernice na karbonátových sedimentoch (Tabuľka 3, Obr.9). V priebehu monitorovacieho obdobia majú hodnoty Chk/Cfk na sledovaných čierniciach kolísavú tendenciu, ale ich hodnota je stále vyššia ako 1 (Obr. 9)

Tab. 3 Hodnoty pomeru $C_{HK/FK}$ a optického parametra Q_6^4 vo 4. monitorovacom cykle na hodnotených pôdnych typoch. Rok odberu: 2007

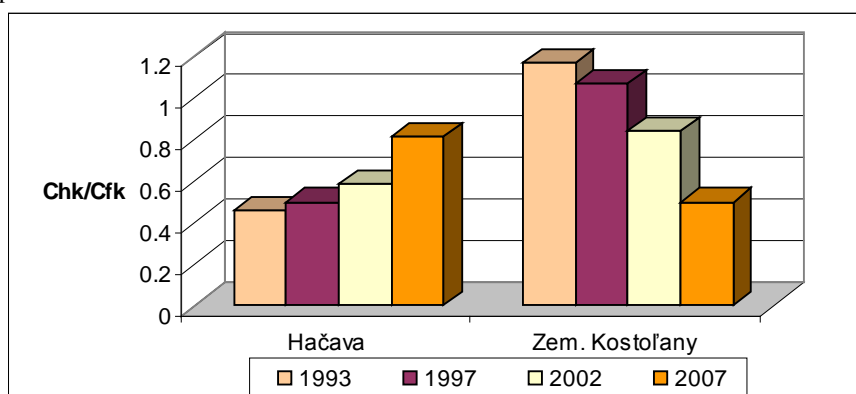
pôdny typ	Kultúra	hĺbka (cm)	$C_{HK/FK}$			Q_6^4		
			Xmin	Xmax	X	Xmin	Xmax	X
Čiernice na karbonátových sedimentoch ČA ^c	OP	0-10	0,64	2,5	1,46	3,83	5,4	4,4
Čiernice na nekarbonátových sedimentoch ČA	OP	0-10	0,61	1,79	1,07	3,9	4,8	4,3
Zasolené pôdy SK + SC	OP+TTP	0-10	0,2	0,92	0,67	4,4	5,2	4,7

Pôdna organická hmota zasolených pôd je charakteristické prevládáním fulvokyselín a priemerná hodnota pomeru Chk/Cfk v priebehu monitorovacieho obdobia je vyrovnaná a nižšia ako 1 ((Tabuľka 3, Obr.9). Na antropogénne znečistených lokalitách sú výrazne odlišné hodnoty Chk/Cfk. Na horčíkom kontaminovanej lokalite Hačava prevládajú fulvokyseliny a pomer Chk/Cfk má stúpajúcu tendenciu, na arzénom kontaminovanej lokalite Zemianske Kostolány hodnota pomeru uhlíka HK a FK v priebehu monitorovacieho obdobia výrazne klesá (Obr.10).

Obr. 9 Vývoj pomeru uhlíka humínových kyselín a fulvokyselín (Chk/Cfk) na čierniciach a zasolených pôdach

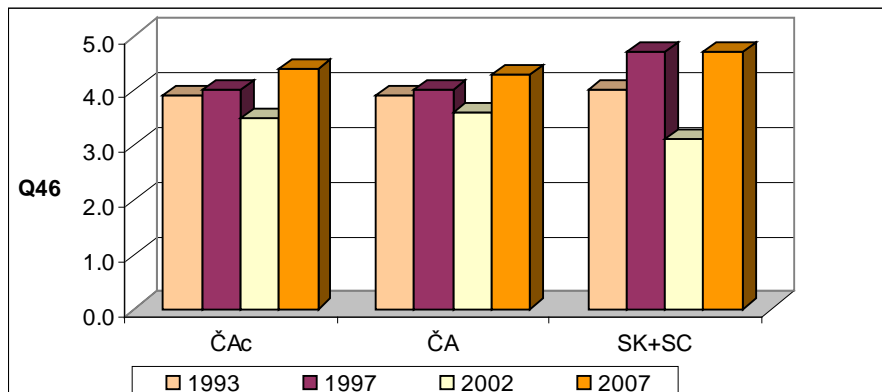


Obr. 10 Vývoj pomeru uhlíka humínových kyselín a fulvokyselín (Chk/Cfk) na antropogénne znečistených pôdach

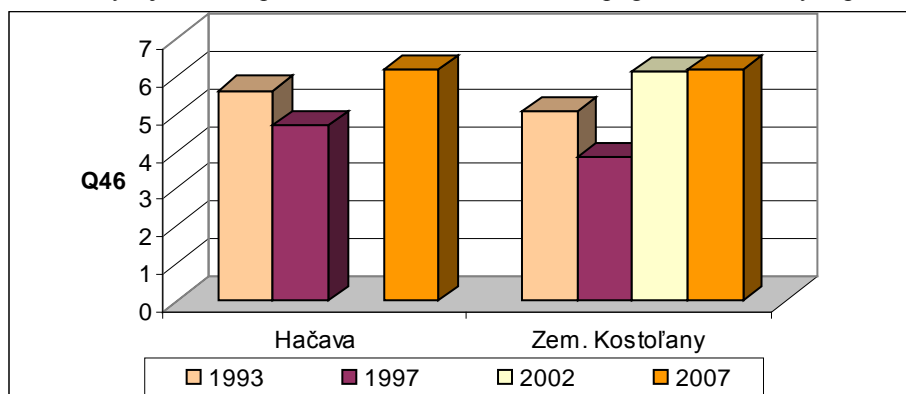


Ďalším dôležitým kvalitatívnym parametrom je optický kvocient Q^4_6 , pričom nižšie hodnoty tohto parametra sú charakteristické pre stabilnejšiu POH (Sotáková, 1982). V súlade s týmto tvrdením, nižšie hodnoty Q^4_6 boli zistené pri čierniciach oproti zasoleným pôdam (Tabuľka 3). Výrazne vyššími hodnotami Q^4_6 , a teda menej stabilnou POH sú charakteristické obe antropogénne znečistené lokality (Obr. 11,12).

Obr. 11 Vývoj hodnôt optického kvocientu Q^4_6 na čierniciach a zasolených pôdach



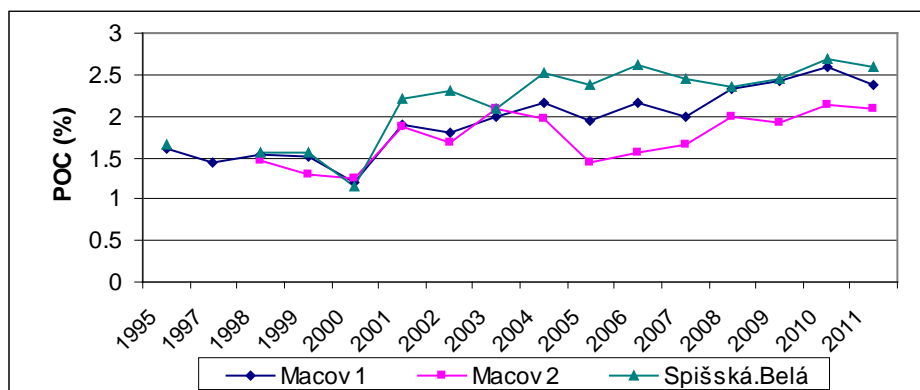
Obr. 12 Vývoj hodnôt optického kvocientu Q^4_6 na antropogénne znečistených pôdach



Zmeny základných parametrov obsahu a kvality pôdnej organickej hmoty na kľúčových lokalitách čiernic (1995-2005)

Priebeh vývoja pôdneho organického uhlíka sledujeme na čiernici na karbonátových fluvialných sedimentoch na lokalite Macov a na čiernici na nekarbonátových fluvialných sedimentoch na lokalite Spišská Belá. Na lokalite Macov sa pravidelný každoročný monitoring uskutočňuje na odberovom mieste bez kontaminácie, Macov-1 a na mieste silne znečistenom kadmium – Macov-2. Ako vidíme na obr. 13 na začiatku monitorovacieho cyklu 1995-2000 boli hodnoty POC na sledovaných lokalitách pomerne rovnaké a značne nižšie ako v neskoršom období.

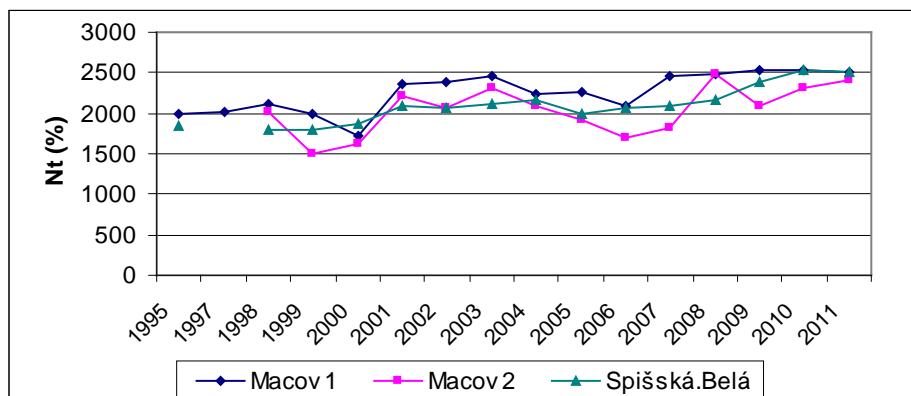
Obr. 13 Vývoj hodnôt POC (%) na kľúčových lokalitách čiernic



Po roku 2000 sú hodnoty POC na sledovaných čierniciach vyššie, pričom vyššími hodnotami organického uhlíka disponuje čiernica na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch -Spišská Belá. O niečo nižšími hodnotami disponuje nekontaminovaná čiernica na karbonátových sedimentoch Macov-1 a relatívne najnižšie hodnoty boli zistené na čiernici vysoko kontaminovanej kadmíom Macov-2. Hodnoty POC čiernice na nekarbonátových sedimentoch Spišská Belá sa v súčasnom období pohybujú okolo hodnoty 2,5%, na nekontaminovanej čiernici na karbonátových fluviaálnych sedimentoch Macov -1 v rozmedzí 2-2,5% a na kontaminovanej čiernici Macov-2 kolíšu hodnoty POC v súčasnom období medzi 1,5-2% (Obr. 13). Postupný nárast organického uhlíka na sledovaných kľúčových lokalitách čiernic je v súlade so stúpajúcim trendom na čierniciach základnej monitorovacej siete. Postupné zvyšovanie hodnôt POC môže byť spôsobené aplikáciou pôdoochranej technológie, ktorá zahŕňa aj zaorávanie pozberových zvyškov a dôslednú aplikáciu organického hnojiva.

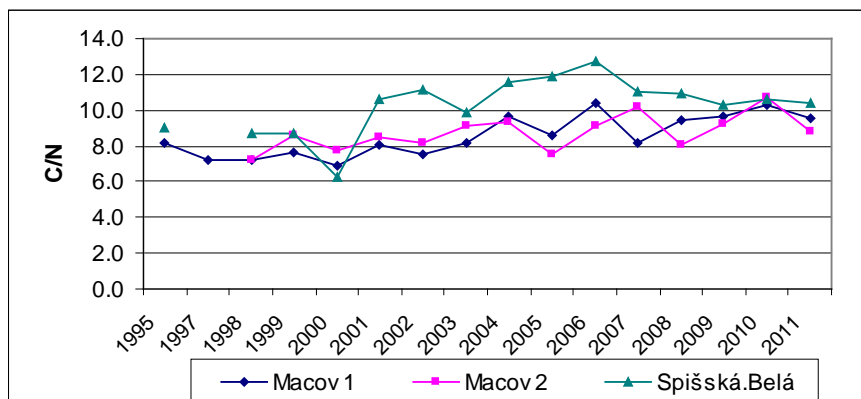
Vývoj hodnôt celkového dusíka na kľúčových lokalitách čiernic je v súlade s hodnotami POC na týchto lokalitách. Nižšie hodnoty Nt boli zaznamenané na začiatku monitorovacieho obdobia, pohybovali sa v rozmedzí 1500-2000 mg/kg v súčasnosti sa pohybujú v intervale 2000-2500 mg/kg. Na rozdiel od hodnôt organického uhlíka, ktorého hodnoty sú najvyššie na čiernici nekarbonátovej Spišská Belá, hodnoty Nt boli v priebehu monitoringu najvyššie na čiernici karbonátovej nekontaminovanej Macov-1 (Obr. 14). Je potrebné poznamenať, že v posledných dvoch rokoch boli zaznamenané rovnaké hodnoty Nt na lokalite Spišská Belá, ako aj na lokalite Macov-1 (Obr. 14). Na kontaminovanej lokalite Macov-2 sú hodnoty Nt relatívne najnižšie.

Obr. 14 Vývoj hodnôt Nt (mg/kg) na kľúčových lokalitách čiernic



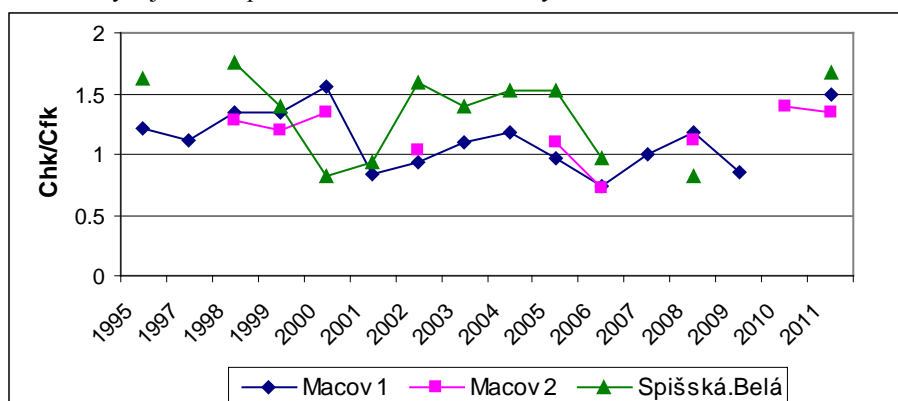
Hodnoty kvalitatívneho parametra C/N, ktorý indikuje zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote, sú na sledovaných kľúčových lokalitách čiernic v súlade s hodnotami C/N na čierniciach základnej monitorovacej siete a pohybujú sa v rozmedzí 8-10 (Obr. 15), čo indikuje strednú zásobu dusíka v POH (Sotáková, 1982). Vyššia zásoba dusíka, teda nižší parameter C/N bol zistený na začiatku monitorovacieho obdobia, v súčasnosti, predovšetkým na oboch odberových miestach lokality Macov sa tento parameter pohybuje v rozmedzí 8-10 (Obr. 15). O niečo vyššie hodnoty pomeru C/N, predovšetkým v rokoch 2002-2007 boli zistené na čiernici na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch Spišská Belá, čo je v súlade s hodnotami tohto parametra na lokalitách základnej monitorovacej siete, nakoľko priemerná hodnota pomeru C/N na čierniciach na karbonátových fluviaálnych sedimentoch je 9,4 a na čierniciach na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch 9,8 (Tabuľka 2).

Obr. 15 Vývoj hodnôt pomeru C/N na kľúčových lokalitách čierníc



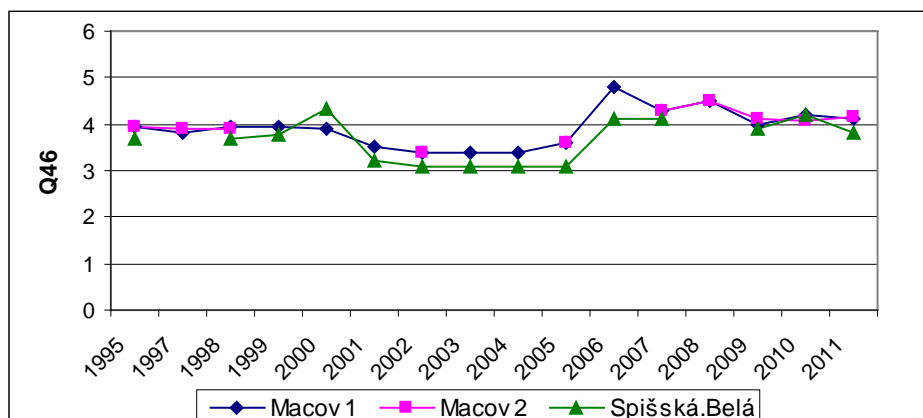
Priemerná hodnota kvalitatívneho parametra Chk/Cfk všetkých troch lokalít sledovaných čierníc počas monitorovacieho obdobia je vyššia ako 1, to znamená, že v organickej hmote čierníc prevládajú hunínové kyseliny nad fulvokyselinami. Uvedená skutočnosť je v súlade s priemernými hodnotami tohto parametra na čierniciach sledovaných v rámci základnej monitorovacej siete. Vývoj pomeru Chk/Cfk v priebehu sledovaného obdobia ma výrazný kolísavý charakter, predovšetkým na lokalite Spišská Belá (obr. 16).

Obr. 16 Vývoj hodnôt pomeru Chk/Cfk na kľúčových lokalitách čierníc



Ďalším zo sledovaných kvalitatívnych parametrov POH na vybraných kľúčových lokalitách čierníc je optický parameter Q^4_6 . Priemerná hodnota tohto parametra na všetkých sledovaných kľúčových lokalitách čierníc je 4 (obr. 17), čo je charakteristické pre tento pôdny typ a je v súlade s priemernými hodnotami tohto parametra na čierniciach základnej monitorovacej siete.

Obr. 17 Vývoj hodnôt optického kvocientu Q^4_6 na kľúčových lokalitách čierníc



Na rozdiel od kvalitatívneho parametra Chk/Cfk, ktorého hodnoty značne kolíšu v priebehu monitoringu, hodnoty optického parametra Q^4_6 sú pomerne vyrovnané. Na začiatku monitorovacieho obdobia aj v súčasnosti sa hodnota Q^4_6 na sledovaných čierniciach pohybuje okolo 4, nižšie hodnoty (3,5) boli zaznamenané v rokoch 2001-2005 (obr. 17).

Zmeny v chemickom zložení humínových kyselín čiernic

Humínové kyseliny (HK) sa považujú za najdôležitejšiu frakciu humusových látok, nakoľko, na rozdiel od fulvokyselín a humínu, sa najväčšou mierou podieľajú na uhlíkovom cykle (Doane a kol. 2003) a nezastupiteľnú úlohu zohrávajú aj pri imobilizácii polutanov (Than, 2003).

V rámci monitoringu pôdnej organickej hmoty sa na vybraných kľúčových lokalitách v 3-ročnom monitorovacom cykle izolovali HK a sledovali sa zmeny v ich detailnej chemickej štruktúre. V tejto práci hodnotíme zmeny v základných parametroch chemickej štruktúry HK čiernic v období rokov 1995-2008.

Základným parametrom stanovenia štruktúry HK je elementárna analýza C H N O, ktorá odráža dominantné charakteristiky pôdnej humifikácie. Vyššie množstvo uhlíka a nižšie percento vodíka je charakteristické pre vyšší stupeň humifikácie HK. V porovnaní s inými pôdnymi typmi, predovšetkým s rendzinami a kambizemami sú HK čiernic charakterizované vyšším zastúpením uhlíka a nižším obsahom vodíka (Barančíková, 2009). Pri porovnaní elementárneho zloženia HK čiernice na karbonátových fluvialných sedimentoch (Macov - 336) a čiernice na nekarbonátových fluvialných sedimentoch (Spišská Belá – 322) vidíme určité rozdiely. Sú to nepatrne nižšie hodnoty uhlíka a kyslíka a vyššie hodnoty vodíka na čiernici na nekarbonátových fluvialných sedimentoch (322) oproti čiernici na karbonátových fluvialných sedimentoch (336, Tabuľka 4). Z uvedených rozdielov v elementárnom zložení čiernic je zrejmé, že čiernica karbonátová (336) disponuje vyšším stupňom humifikácie ako čiernica nekarbonátová (322). Rozdiely v elementárnom zložení sa odrazili aj v rozdieloch v pomeroch H/C, O/C a O/H. Pomery H/C a O/C sa využívajú pri metóde graficko-štatistickej analýzy humínových kyselín podľa Krevelena (Krevelen, 1950) a pomer O/H používa Kumada (Kumada, 1987) na vyjadrenie indexu oxidačného stupňa humínových kyselín. Ako vidíme z hodnôt v tabuľke 4, vyššími hodnotami pomeru O/H teda vyšším oxidačným stupňom disponuje čiernica karbonátová (336) oproti čiernici nekarbonátovej (322).

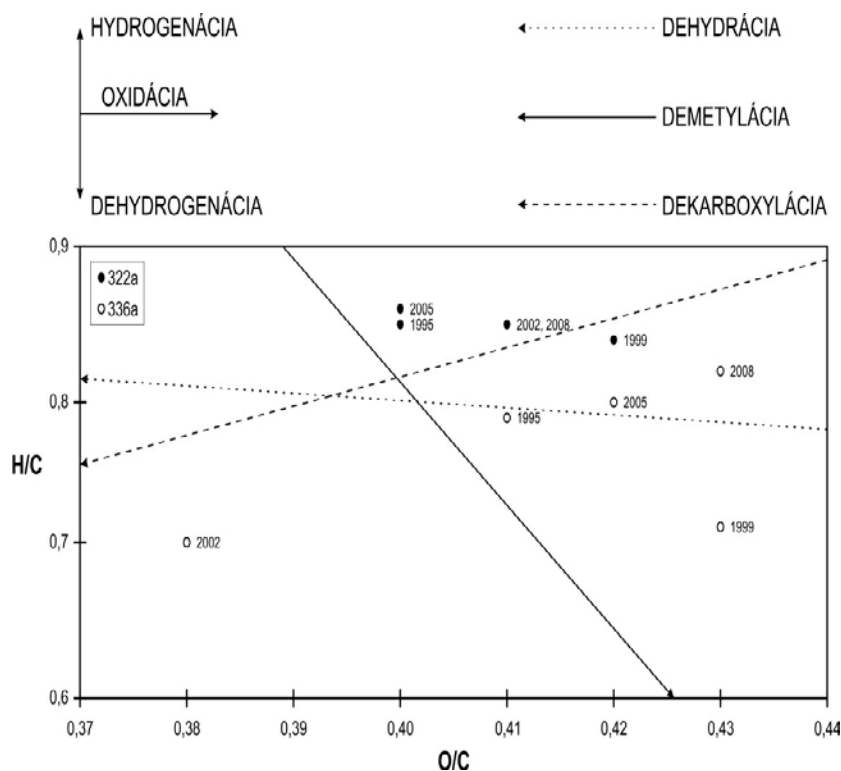
Tab. 4 Hodnoty elementárnej analýzy (atómové %), optického parametra $E^{1\%}_6$, karboxylových skupín COOH (meq/1g HK) a vybraných parametrov ^{13}C NMR spektier Calif (%), Car (%) a stupňa humifiácie α (%) humínových kyselín čiernic

lokality	C	H	N	O	O/H	Car	Calif	alfa	$E^{1\%}_6$	COOH
322-95	43.0	36.5	3.4	17.2	0.47	40.0	40.0	48.3	17.0	3.5
322-99	42.6	36.0	3.3	18.1	0.50	37.4	41.8	47.2	17.0	4.0
322-02	42.7	36.3	3.6	17.5	0.48	37.1	41.4	47.2	16.4	2.9
322-05	42.7	36.6	3.5	17.2	0.47	41.0	45.1	47.6	21.9	3.7
322-08	42.7	36.2	3.6	17.5	0.48	36.6	49.9	42.3	21.5	3.6
336-95	43.7	34.5	3.8	18.0	0.52	36.1	36.2	48.0	25.0	4.1
336-99	44.9	32.0	3.9	19.2	0.60	37.7	40.8	48.0	24.0	4.7
336-02	46.2	32.5	3.9	17.4	0.54	41.1	41.2	53.2	30.1	4.1
336-05	43.4	34.7	3.7	18.3	0.53	41.0	44.2	48.1	27.7	5.0
336-08	43.0	35.2	3.7	18.1	0.52	38.5	43.2	47.1	28.0	4.3

V priebehu sledovaného obdobia v elementárnom zložení čiernic nastali určité zmeny, predovšetkým v parametroch O/C a H/C, ktoré sa prejavili zmenou v umiestnení HK v Krevelenovom diagrame. Nižším pomerom H/C, ktorý vyjadruje stabilitu a stupeň

kondenzácie HK (Rossell a kol. 1989) disponuje čiernica karbonátová, oproti čiernici nekarbonátovej, nakoľko sa nachádza v dolnej oblasti diagramu (Obr. 18). Výraznejšie zmeny v priebehu sledovaného obdobia nastali na čiernici karbonátovej, čo indikujú pomerne značné rozdiely v umiestnení HK 336 v Krevelenovom diagrame. Pri porovnaní počiatkových a zatiaľ posledných hodnôt CHNO analýzy je zreteľný oxidačný trend oboch sledovaných čiernic, pričom výraznejšia oxidácia je charakteristická pre čiernicu karbonátovu 336 (Obr. 18).

Obr. 18 H/C verus O/C diagram humínových kyselín čiernic



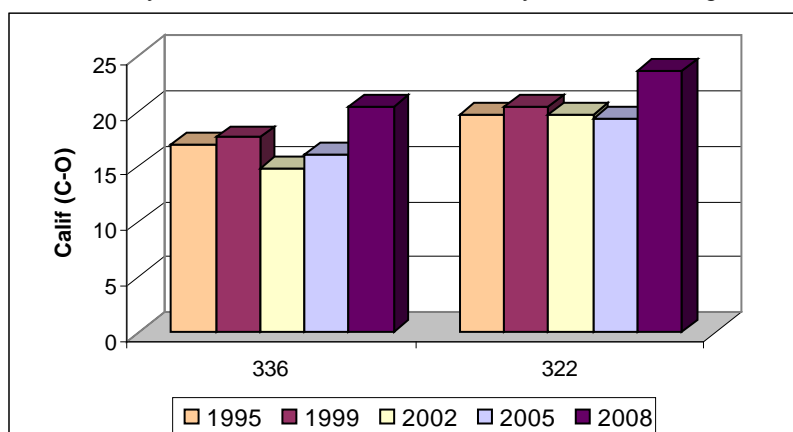
Ďalším dôležitým parametrom pri charakteristike štruktúry humínových kyselín je optický parameter $E^{1\%}_6$, ktorý predstavuje extinciu roztoku HK nameranú pri vlnovej dĺžke 600 nm. Uvedený optický parameter Kumada (1987) nazýva stupeň humifikácie, t. j. čím sú vyššie hodnoty $E^{1\%}_6$, tým je stupeň humifikácie HK vyšší. Podobne ako pri elementárnom zložení HK, čiernice spolu s černoziemami disponujú vyššími hodnotami optického parametra $E^{1\%}_6$, ako ostatné pôdne typy predovšetkým rendziny a kambizeme (Barančíková, 2009), pričom čiernica karbonátová 336 má značne vyššie hodnoty $E^{1\%}_6$, a teda aj vyšší stupeň humifikácie ako čiernica nekarbonátová 322 (Tabuľka, 4). V priebehu sledovaného obdobia mali hodnoty tohto parametra na čiernici karbonátovej 336 kolísavý charakter a pohybujú sa v intervale 25-30 (Tabuľka, 4). Na čiernici nekarbonátovej sme v roku 2005 zaznamenali zvýšenie $E^{1\%}_6$ oproti počiatkovému stavu, ktoré je charakteristické aj pre zatiaľ posledný odber (Tabuľka, 4).

Dôležitým parametrom pri posudzovaní kvality humínových kyselín je obsah karboxylových skupín (COOH), nakoľko postupujúci priebeh humifikácie je charakterizovaný karboxyláciou periférnych častí HK (Ševcova, Sidorina, 1988). COOH skupiny hrajú dôležitú úlohu aj z environmentálneho hľadiska. Väzba HK s ťažkými kovmi cez COOH skupiny významným spôsobom znižuje ich mobilitu (Than, 2003). Na základe údajov v tabuľke 4 je zrejmé, že vyššie hodnoty COOH skupín sú charakteristické pre čiernicu karbonátovú 336 v porovnaní s čiernicou nekarbonátovou 322. V priebehu

sledovaného obdobia na oboch lokalitách bol zaznamenaný kolísavý priebeh hodnôt COOH, pričom na čiernici karbonátovej sa hodnoty pohybovali v intervale 4,1-5 a na čiernici nekarbonátovej 2,9-4 (Tabuľka, 4).

Veľkým prínosom pri štúdiu štruktúry humínových kyselín je stanovenie spektier nukleárnej magnetickej rezonancie uhlíka ^{13}C , ktorá umožňuje kvantitatívne stanovenie jednotlivých typov uhlíka v štruktúre pôdnej organickej hmoty (Mathers a kol. 2000). Z parametrov ^{13}C NMR spektier je z hľadiska chemickej štruktúry HK najdôležitejšie percentuálne zastúpenie alifatického (Calif) a aromatického uhlíka (Car), z ktorých sa stanovuje stupeň aromaticity α . HK oboch stanovených čiernic v priebehu sledovaného obdobia nevykazujú výrazne rozdiely v zastúpení aromatického a alifatického uhlíka a v stupni humifikácie (Tabuľka 4). Pri detailnej analýze však boli zistené nižšie hodnoty alifatického alkylového uhlíka s väzbou C-O (sp^3 uhlíky s väzbou C-O v spektrálnej oblasti 87-43 ppm) pochádzajúceho z lignínu (González-Peréz, 2008) v čiernici karbonátovej (336) v porovnaní s čiernicou nekarbonátovou (322, Obr.19). V priebehu sledovaného obdobia bolo predovšetkým v poslednom odbere zaznamenané zlabilnenie štruktúry HK predovšetkým na čiernici nekarbonátovej, čo indikuje predovšetkým zvýšenie alifatického uhlíka a následne zníženie stupňa aromatizácie na tejto lokalite (Tabuľka 4). Značné zvýšenie alifatického O-alkylového uhlíka v poslednom odbere je charakteristické pre obe čiernice, pričom zvýšenie tohto parametra je evidentné predovšetkým na čiernici nekarbonátovej (322 obr.19), čo môže byť spôsobené inkorporáciou alkylových zlúčenín ako uvádza Aranda (Aranda a kol., 2011).

Obr. 19 Zmeny v hodnotách alifatického C-O alkylového uhlíka v priebehu monitoringu.



Hodnotenie množstva a kvality pôdnej organickej hmoty v období 1993-2011

V tejto práci hodnotíme množstvo a kvalitu pôdnej organickej hmoty čiernic, zasolených a antropogénne kontaminovaných pôd základnej monitorovacej siete. Čiernice patria medzi naše najúrodnejšie pôdy, ktorých priemerné hodnoty uhlíka sa pohybujú nad 2%. Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať postupný nárast priemerných hodnôt pôdneho organického uhlíka v orniciach čiernic na karbonátových aj nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch, ako aj na zasolených pôdach. Nárast POC bol zaznamenaný aj na antropogénne kontaminovanej lokalite Hačava, na kontaminovanej lokalite Zemianske Kostolany je množstvo POC ustálené. Zvýšené množstvo POC môže byť spôsobené zmenou oševných postupov (častejšie zaradenie plodín s kladnou bilanciou uhlíka) a na vhodných lokalitách čiernic tiež zavádzaním pôdoochranných technológií. V podorničnom horizonte postupný nárast priemernej hodnoty POC v priebehu monitoringu je zrejmy iba na čierniciach na nekarbonátových fluviaálnych sedimentoch, na čierniciach na karbonátových fluviaálnych sedimentoch, ako aj na zasolených pôdach sme zistili nepatrný pokles POC oproti

predchádzajúcemu odberu, ale súčasné hodnoty POC v podorničnom horizonte karbonátových čiernic sú nepatrne vyššie ako na začiatku monitorovania.

V súlade s hodnotami POC sú aj hodnoty celkového dusíka. Podobne ako v prípade pôdneho organického uhlíka aj v prípade celkového dusíka bol zaznamenaný postupný nárast priemerných hodnôt tohto parametra v rámci základnej monitorovacej siete.

Zmeny v hodnotách pomeru C/N v rámci čiernic sú minimálne, priemerné hodnoty tohto parametra na čierniciach sa pohybujú okolo 10, čo indikuje strednú zásobu dusíka v pôdnej organickej hmote čiernic. Výrazne vyššia hodnota pomeru C/N bola zaznamenaná na zasolených pôdach, čo indikuje slabú zásobu dusíka POH zasolených pôd.

V súlade so zmenami POC a Nt základnej monitorovacej siete sú aj hodnoty týchto parametrov na kľúčových lokalitách čiernic. Vzrastajúci trend pôdneho organického uhlíka, ako aj celkového dusíka bol zaznamenaný aj na nekarbonátovej čiernici Spišská Belá a karbonátovej čiernici Macov, predovšetkým na nekontaminovanom odberovom mieste.

Zmeny v parametroch detailnej chemickej štruktúry humínových kyselín na oboch lokalitách čiernic majú kolísavý charakter, ale v poslednom období sú badateľné trendy (zvýšenie O-alkylového uhlíka) indikujúce postupné zlabilnenie štruktúr POH. Uvedené trendy v detailnej štruktúre HK boli pozorované aj v prípade hnedozeme, kambizeme a rendziny (Kobza a kol., 2010).

Zoznam použitej literatúry

- Aranda, V., Ayora-Canada, M.J., Dominguez-Vidal, A., Martín-garcía, J.M., Calero, J., Delgado, R., verdejo, T., Gonzáles-Vila, F.J., 2011: Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic mater quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain). *Geoderma*, vol. 164, str. 54-63
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A., 2004: The soil management assessment framework. *Soil Sci. Soc. A., J.*, vol. 68, str. 1945-1962
- 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
- Barančíková, G., Halas, J., Koco, Š., Gutteková, M., 2011: Influence of soil protection system on development of organic carbon stock. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*, vol. XLV, č.1-4, str. 27-31
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Ceretta, A., 2000: Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil & Tillage Research*, vol. 53, str. 95-104
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, G.J.D., 2005: Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*, vol.437, str. 245-248
- Bielek, P., Šurina, B., Ilavská, B., Vilček, J., 1998: *Naše pôdy*. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava, 80 pp.
- Brejda, J.J., Moortman, T.B., Karlen, D.L., Dao, T.H., 2000: Identification of regional soil quality factors and Indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil. Sci. Soc. Am.J.* vol.64, str. 2115-2124

- Doane, T.A., Devevre, O.C., Horwath, W.R.: Short-term soil carbon dynamics of humic fractions in low-input and organic cropping systems. *Geoderma*, 2003, vol. 114, str. 319-33
- Franzluebbers, A.J.: Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.*, 2002, vol. 66, str. 95-106
- González-Pérez, M., Torrado, V.P., Colnago, L.A., Martin-Neto, L., Otero, X.L., Milori, D.M.B.P., Gomes, F.H., 2008: ^{13}C NMR and FTIR spectroscopy characterization of humic acids in spodosols under tropical rain forest in southeastern Brazil. *Geoderma*, vol. 146, str. 425-433
- 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., 2000: Ako sme zahumusovali 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
- Kováč, K., L. Nozdrovický, M. Macák et al. 2010 Minimalizačné a pôdochranné technológie. Agroinštitút Nita, Nitra, 2010, 142 p.
- Krevelen, Van, D.W., 1950: Graphical-statistical method for study of structure and reaction process of coal. *Fuel*, vol. 29, str. 263-284
- Kumada, K., 1987.: Chemistry of soil organic matter. Tokyo, Elsevier, str. 17-30
- 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.: Recent advances in the application of ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Aust. J. Soil Res.*, 2000, vol. 38, str. 769-787
- Ogle, M.S., Paustian, K., 2005: Soil organic carbon as an indicator of environmental quality at the national scale: Inventory monitoring methods and policy relevance. *Canadian Journal of Soil Science*, vol.85, str. 531-540
- Rosell, R.A. - Andriulo, A.E. - Schnitzer, M. - Crespo, M.B. - Migliarina, A.M. (1989): Humic acids properties on an Argiudoll soil under two tillage systems. In: *Sci. Tot. Envir.* vol. 81/82, 1989, pp. 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
- Schnitzer, M., McArthur, D.F.E., Schulten, H.-R., Kozak, L.M., Huang, P.M., 2006: Long-term cultivation effects on the quantity and quality of organic matter in selected Canadian prairie soils. *Geoderma*, vol. 130, str. 141-156
- 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.
- Ševcova, L.K., Sidorina, S.J.: Vlijanije dlitel'novo promenenija udobrenij na termografičeskije charakteristiky gumusovych kyslot. *Počvovedenije*, 1988, č.6, str. 130-136
- Ševcova, L., Romanenko, V., Sirotenko, O., Smith, P., Smith, J.U., Leech, P., Kanzyvaa, S., Rodionova, V.: Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soil-modeling and observation. *Geoderma*, 2003, vol. 116, str. 165-189
- Than, H.,K.: *Humic Matter in Soil and the Environment*. New York, 386 str.

6.5 Hodnotenie vývoja kompaktie pôd

Úvod

Optimálny fyzikálny stav pôdy je neraz dôležitou podmienkou pre dosahovanie ekonomicky rentabilných úrod poľnohospodárskych plodín. Tento je však v značnej miere narúšaný dvomi degradačnými javmi – zhutňovaním pôdy a jej eróziou. V súčasnej dobe sa i zhutnenie pôdy stáva na Slovensku problémom v dôsledku rastúcej intenzifikácie poľnohospodárskej výroby. V rámci nej je výkonná mechanizácia nevyhnutnosťou, no s výkonom rastie aj hmotnosť strojov a s ňou tlak na pôdu. V takomto prípade pomôže len citlivý prístup k pôde. Dobrý hospodár pozná slabiny svojej pôdy, ale i negatívne dôsledky tlaku poľnohospodárskej techniky a zameriava sa predovšetkým na prevenciu, keď dbá na zvyšovanie odolnosti pôdy voči utláčaniu a chráni ju pred každým zbytočným prejazdom ťažkej mechanizácie. Dôsledky zhutňovania pôdy môžu byť veľké. Nemusí dôjsť len k obmedzeniu priestoru, odkiaľ rastlina čerpá živiny, ale navyše neraz i k následnej viac, či menej rozsiahlej erózii pôdy, k odnosu ornice, čo je prirodzene nevratný proces. Táto časť správy je zameraná na hodnotenie fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností pôdy 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), pričom z hodnotených pôdných typov sú zastúpené len *čiernice (na fluviálnych sedimentoch karbonátových – ČAc, resp. na nekarbonátových sedimentoch – ČA)*. Odbery vzoriek v rámci štvrtého cyklu boli uskutočnené v roku 2007, pričom predchádzajúce cykly odberu sa realizovali v rokoch 1993, 1997 a 2002. Výsledky posledného cyklu sú vyhodnotené štatisticky a porovnané s hodnotami príslušných parametrov zistených v predchádzajúcich odberoch. V rámci uvedených troch odberových cyklov bol vyhodnotený trend vývoja sledovaných fyzikálnych parametrov čiernic.

V druhej časti správy sú hodnotené fyzikálne vlastnosti v rámci *klúčových lokalít* na zmienenom pôdnom type. Predmetné lokality sú:

Spišská Belá - Čiernica kultizemná (ČAa), stredne ťažká, hlinitá, nekarbonátový substrát
Macov - Čiernica kultizemná (ČAa), stredne ťažká, hlinitá, karbonátový substrát

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 cm³. 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 z *základnej siete* a z *klúčových lokalít* bolo urobené vo vzťahu k limitom zhutnenia pôdy pre jednotlivé pôdne druhy v zmysle zákona 220/2004 Z. z. (tab.1).

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

Pôdna vlastnosť	Pôdny druh ¹					
	I	IV	H	PH	HP	P
Objemová hmotnosť p_d (g.cm ⁻³)	>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	-	-	-

¹ **Pôdny druh:** I – íl, IV – ílovitá, H – hlinitá, PH – piesčito-hlinitá, HP – hlinito-piesčitá, P – piesčitá

Výsledky a diskusia

1. Vyhodnotenie súčasného stavu a trendu vývoja fyzikálnych vlastností čiernic zo základnej monitorovacej siete

1.1 Vyhodnotenie súčasného stavu z 4. odberového cyklu

Sledovaný pôdny typ je zastúpený zrnitostne stredne ťažkými, prevažne hlinitými a ťažkými ílovito-hlinitými pôdami (ďalej budeme uvádzať v texte len ako „stredne ťažké resp. ťažké“ pôdne typy). Pretože kritické hranice zhutnenia sú závislé od pôdneho druhu, bolo vyhodnotenie urobené podľa tohto členenia.

Zrnitostne stredne ťažké čiernice

V prípade ornice stredne ťažkých čiernic nebolo v priemerných hodnotách zistené zhutnenie pri nijakom sledovanom parametre (tab. 2, obr. 1).

Tab.2 Štvrtý odberový cyklus (rok 2007) – Zrnitostne stredne ťažká čiernica.

Pôdny typ	Hĺbka pôdy	Štatistická veličina	p_d	P_c	P_N	MKK	VzK
			g.cm ⁻³	objemové %			
ČA na karbonátových substrátoch (ČA ^c)	0-0,10 m	x	1,27	51,4	9,4	38,4	13,0
		x_{min}	1,10	45,4	3,5	33,1	6,3
		x_{max}	1,46	58,0	16,1	43,0	20,5
	0,30-0,40 m	x	1,44	46,0	4,0	39,8	6,2
		x_{min}	1,32	42,2	1,4	36,3	4,0
		x_{max}	1,56	50,6	7,3	45,2	9,8
ČA na nekarbonátových substrátoch	0-0,10 m	x	1,29	50,5	12,8	34,9	15,6
		x_{min}	0,98	41,9	6,9	29,3	8,6
		x_{max}	1,51	61,9	20,7	41,2	24,6
	0,30-0,40 m	x	1,47	44,6	8,5	33,8	10,8
		x_{min}	1,33	38,9	4,3	29,5	5,5
		x_{max}	1,60	50,0	12,9	37,3	14,9

Vysvetlivky: ČA – čiernica, p_d – objemová hmotnosť, MKK – maximálna kapilárna kapacita, P – pórovitosť nekapilárna (_N), celková (_C), VzK – minimálna vzdušná kapacita, x – aritm. priemer, x_{min} (x_{max}) – minimum (maximum)

V maximálnych (resp. v minimálnych) hodnotách bol prekročený limit objemovej hmotnosti a ostatných parametrov (P_c , MKK a VzK) pri čierniciach na nekarbonátových substrátoch a mierne i v prípade čiernic na karbonátových substrátoch.

V podornici je stav zhutnenia horší (tab. 2, obr. 2), no priemernou hodnotou objemovej hmotnosti a celkovej pórovitosti sú nepatrne za hranicou zhutnenia len čiernice na nekarbonátových substrátoch. Stredné hodnoty ostatných parametrov to však plne

nepotvrďujú, keď sú veľmi blízko hranice povolených limitov. V maximálnych hodnotách sú však prekročené limity pri všetkých sledovaných vlastnostiach i skupinách pôd.

Zrnitostne ťažké čiernice

Ornice ťažkých čiernic podobne ako pri stredne ťažkých si ešte podľa priemerov sledovaných parametrov zachovali pomerne priaznivý stav, i keď na karbonátových substrátoch to bolo na hranici zhutnenia (tab.3, obr. 3). Podornica však bola zhutnená pri oboch skupinách už i podľa priemerných hodnôt (obr. 4). Na hodnotách VzK vidieť, že ťažké pôdy majú problém s prevzdušnením.

Tab. 3 Štvrtý odberový cyklus (rok 2007) – Zrnitostne ťažká čiernica.

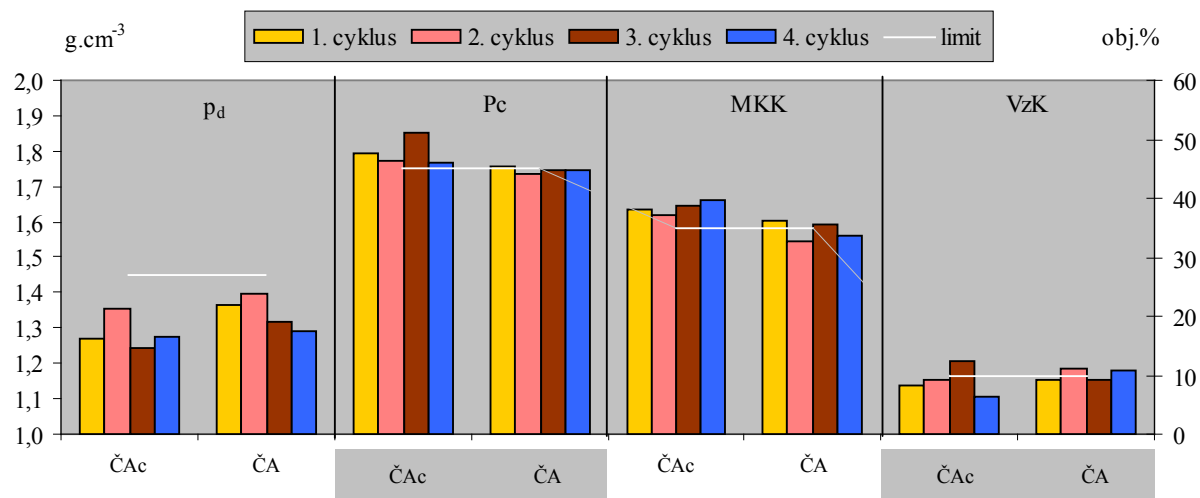
Pôdny typ	Hĺbka pôdy	Štatistická veľičina	P _a	P _C	P _N	MKK	VzK
			g.cm ⁻³	objemové %			
ČA na karbonátových substrátoch (ČA ^c)	0-0,10 m	x	1,40	47,3	8,6	35,8	11,5
		x _{min}	1,29	43,2	5,2	35,2	8,0
		x _{max}	1,52	51,3	12,0	36,3	15,0
	0,30-0,40 m	x	1,61	39,7	2,8	35,4	4,3
		x _{min}	1,57	37,9	0,8	33,5	2,0
		x _{max}	1,66	41,2	5,6	38,0	7,7
ČA na nekarbonátových substrátoch	0-0,10 m	x	1,17	55,1	18,1	34,7	20,4
		x _{min}	0,98	49,8	13,7	33,5	16,1
		x _{max}	1,33	62,2	26,4	37,0	28,8
	0,30-0,40 m	x	1,42	46,0	5,0	39,6	6,4
		x _{min}	1,25	42,4	2,6	37,9	4,3
		x _{max}	1,52	52,2	8,9	42,6	9,6

Vysvetlivky ako v tabuľke 2.

1.2 Vyhodnotenie vývojového trendu čiernic v základnej sieti za 4 odberové cykly (1993, 1997, 2002, 2007)

Ak porovnáme aktuálny fyzikálny stav týchto pôd s ich stavom v pr edchádzajúcich odberových cykloch (obr. 1 až 4), môžeme pozorovať určitý trend. V ornici sú hodnoty viac rozkolísané a naopak v podornici ustálené.

Obr. 1 Základné fyzikálne vlastnosti ornice (0-0,10 m) zrnitostne stredne ťažkých čiernic v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



Vysvetlivky:

ČAc – čiernice na karbonátových substrátoch

ČA – čiernice na nekarbonátových substrátoch

limit – kritická hodnota zhutnenia

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

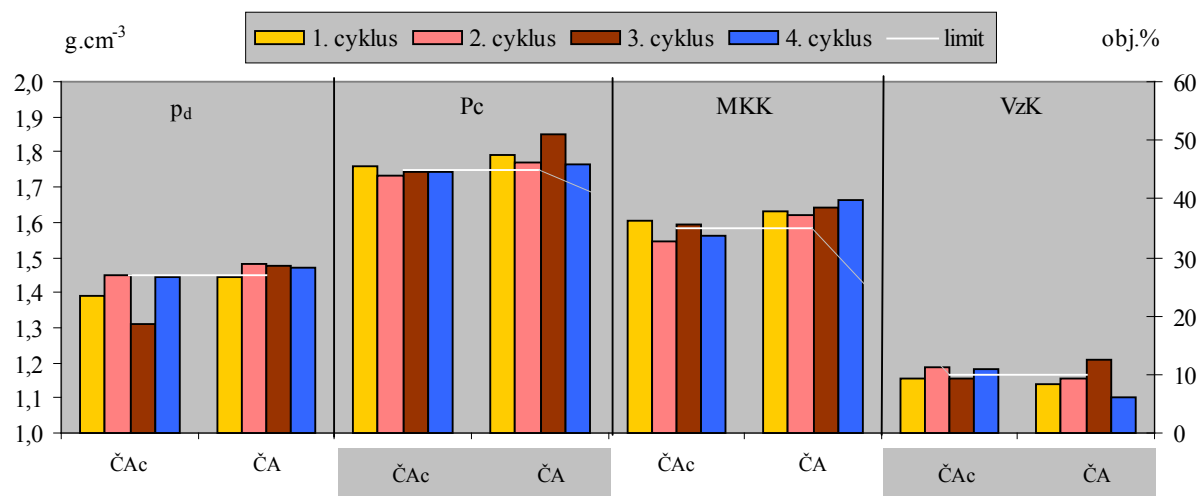
p_d – objemová hmotnosť (g.cm⁻³)

Pc – celková pórovitosť (%)

MKK – maxim. kapilárna kapacita (%)

VzK – minimálna vzdušná kapacita (%)

Obr. 2 Základné fyzikálne vlastnosti podornice (0,30-0,40 m) zrnitostne stredne ťažkých čiernic v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja

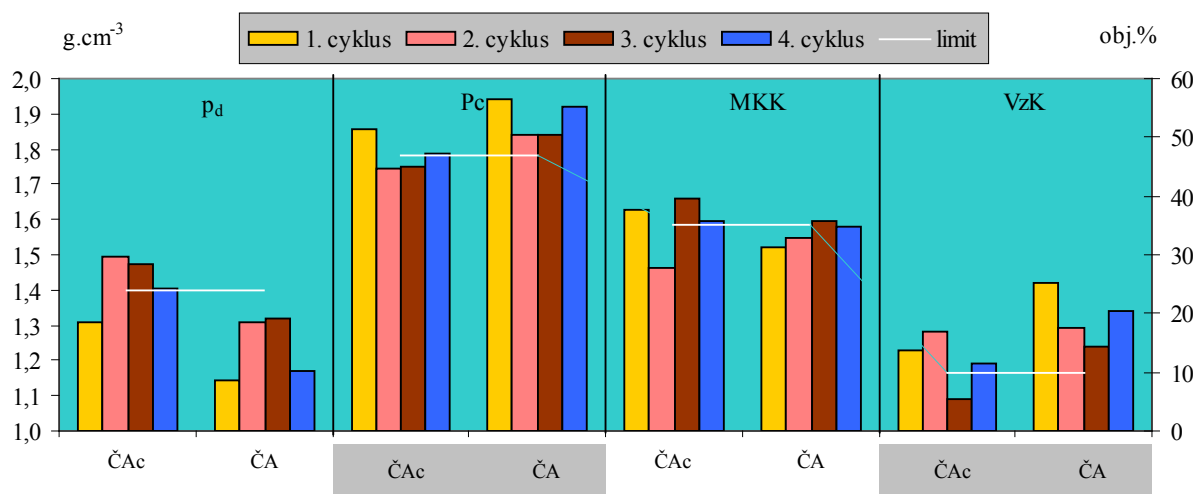


Vysvetlivky ako v obr. 1

V rámci stredne ťažkých nekarbonátových čiernic (obr. 1 a 2) možno pozorovať v celom profile pôdy zlepšenie ich fyzikálneho stavu v 4. cykle v porovnaní s predchádzajúcimi. V karbonátových čierniciach však došlo k zhoršeniu v porovnaní s 3. cyklom odberu.

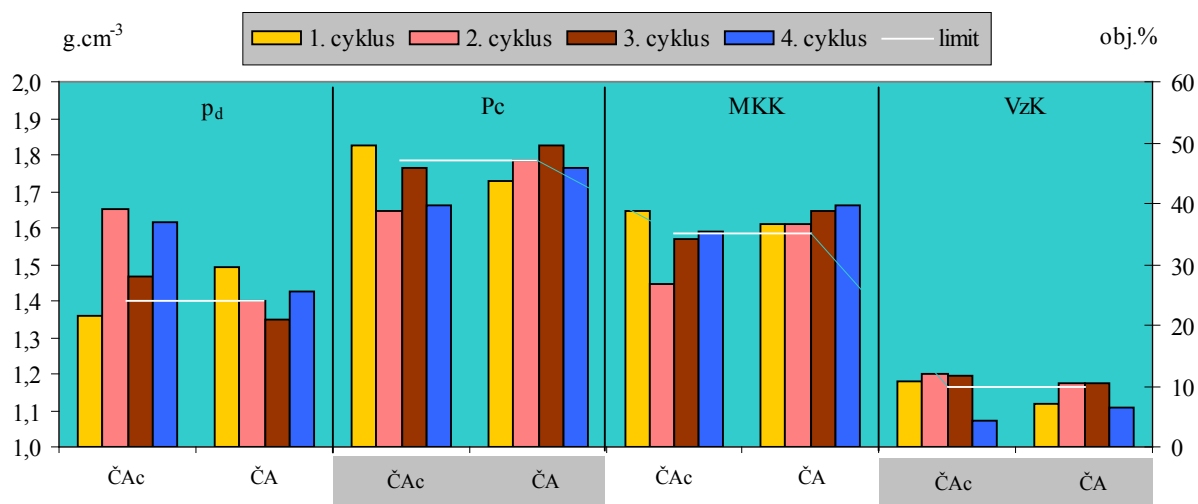
V prípade ornice ťažkých čiernic oboch sledovaných skupín priaznivejšie fyzikálne vlastnosti sú v poslednom cykle v porovnaní 2. a 3. cyklom. V podornici naopak došlo k zhoršeniu oproti predchádzajúcemu.

Obr. 3 Základné fyzikálne vlastnosti ornice (0-0,10 m) zrnitostne ťažkých čiernic v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



Vysvetlivky ako v obr. 1

Obr. 4 Základné fyzikálne vlastnosti podornice (0,30-0,40 m) zrnitostne ťažkých čiernic v jednotlivých odberových cykloch a trend ich vývoja



Vysvetlivky ako v obr. 1

2. Vyhodnotenie fyzikálnych vlastností podornice v rámci kľúčových lokalít

V tejto časti správy detailnejšie hodnotíme fyzikálny stav čiernic na konkrétnych vybraných lokalitách. Podrobnejšie analyzovaná je hlavne podornica, ktorá je viac náchylná na zhutnenie, keďže je mimo bežných agrotechnických kypriacich opatrení, no uvádzame pre porovnanie aj údaje z ornice. Oproti základnej sieti monitoringu SR je v rámci kľúčových lokalít celkovo k dispozícii viac údajov získaných z takmer každoročných odberov a ovplyvnených tak pestovateľskými technológiami viacerých poľnohospodárskych plodín. Čiernice na karbonátových substrátoch sú reprezentované lokalitou Macov a čiernice na nekarbonátových substrátoch lokalitou Spišská Belá. Teda sú zastúpené obe hodnotené skupiny pôd.

Z ďalších pôdných charakteristík vplyvujúcich na stav zhutnenia treba spomenúť zrnitosť (Houšková 2002, Širáň 2004), obsah organickej hmoty (Heuscher, Brandt, Jardine 2005), príp. obsah skeletu. V prípade zrnitosti ide o pôdy stredne ťažké, hlinité a len

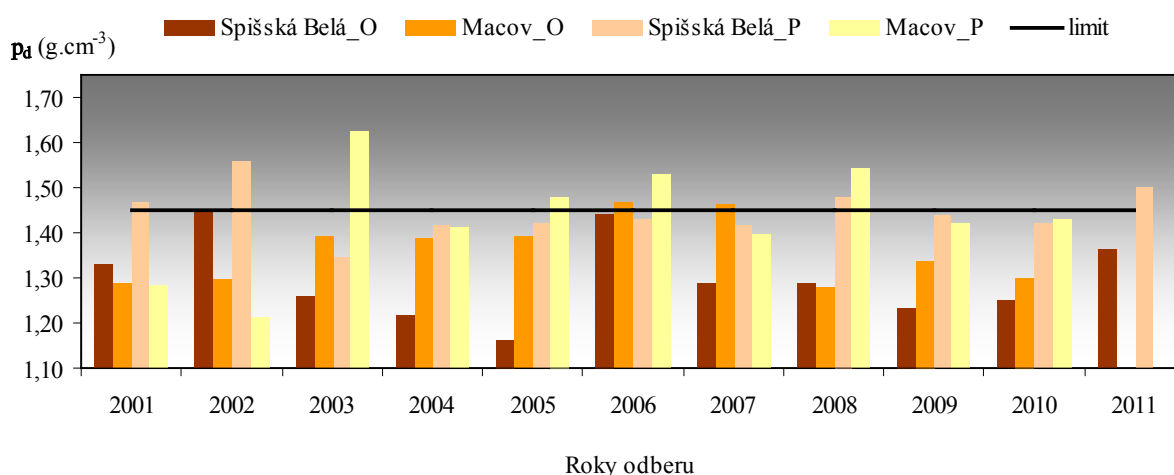
v spodnej časti profilu ťažké, ílovito-hlinité a bez skeletu. Predmetné čiernice sú pôdy so stredným až vysokým obsahom pôdnej organickej hmoty a s neutrálnou až slabo kyslou pôdnou reakciou.

Hodnoty objemovej hmotnosti a ostatných sledovaných parametrov v podornici v rámci predmetných kľúčových lokalít potvrdzujú výsledky z prvej časti správy (tab.4), kde boli vyhodnotené síce len v hlavných odberových cykloch (každých 5 rokov), no zato na viacerých lokalitách, pričom sú tu zohľadnené rôzne plodiny, príp. heterogenita pôdných vlastností na území SR.

Tab. 4 Štatistické ukazovatele základných fyzikálnych vlastností na jednotlivých kľúčových lokalitách v sledovanom období (2001-2011)

Pôdny typ (subtyp)	Hĺbka pôdy	Štatistická veľičina	P_d	P_C	MKK	VzK
			$g \cdot cm^{-3}$	objemové %		
Spišská Belá ČAa hlinitá	0-0,10 m	x	1,30	50,3	35,6	14,0
		x_{min}	1,16	44,5	33,1	3,7
		x_{max}	1,45	55,3	41,0	22,1
		$v_x \%$	7,0	7,0	6,7	35,2
	0,30-0,40 m	x	1,42	46,6	34,6	10,6
		x_{min}	1,26	40,5	26,3	3,0
		x_{max}	1,56	51,9	37,9	17,5
		$v_x \%$	5,2	5,9	8,3	40,1
Macov ČAa hlinitá	0-0,10 m	x	1,36	49,2	38,0	11,1
		x_{min}	1,28	45,2	35,3	7,0
		x_{max}	1,47	52,0	41,5	15,3
		$v_x \%$	5,2	5,3	5,5	20,6
	0,30-0,40 m	x	1,44	46,4	36,4	10,0
		x_{min}	1,21	39,7	28,4	4,2
		x_{max}	1,63	55,1	40,9	15,5
		$v_x \%$	8,0	9,3	7,9	34,7

Obr. 5 Objemová hmotnosť (pd) ornice a podornice čiernic

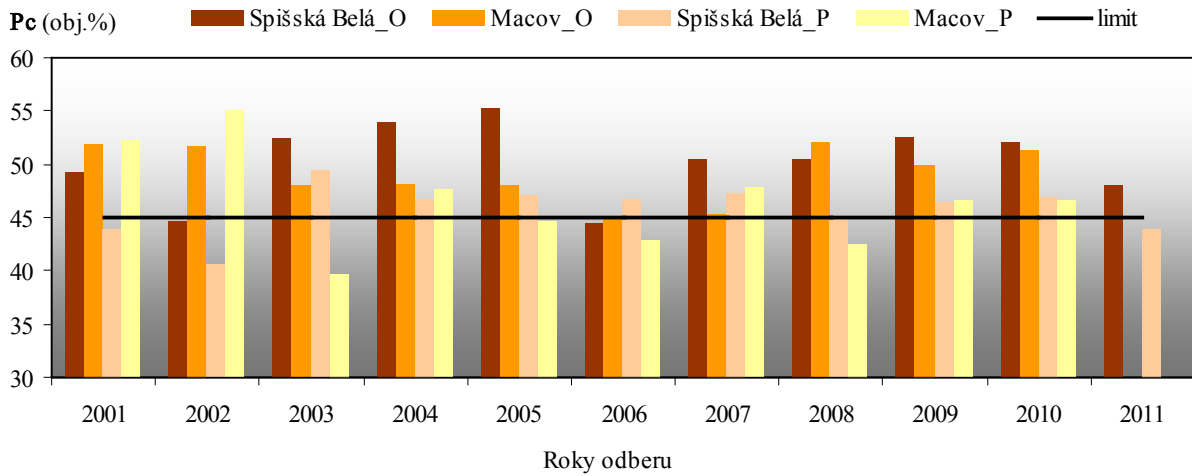


Fyzikálny stav orníc hodnotených lokalít je priaznivejší v porovnaní s podornicou. Limity objemovej hmotnosti, celkovej pórovitosti a minimálnej vzdušnej kapacity (obr. 5 a 6) boli výraznejšie prekročené v 9 % prípadov na lokalite v Spišskej Belej, v 9 - 20 % prípadov v Macove, kým v podornici boli za kritickú hranicu v 27 - 45 % prípadov v Spišskej Belej a v 30 - 50 % prípadov v Macove, pričom dolná hranica intervalu je určená podľa celkovej

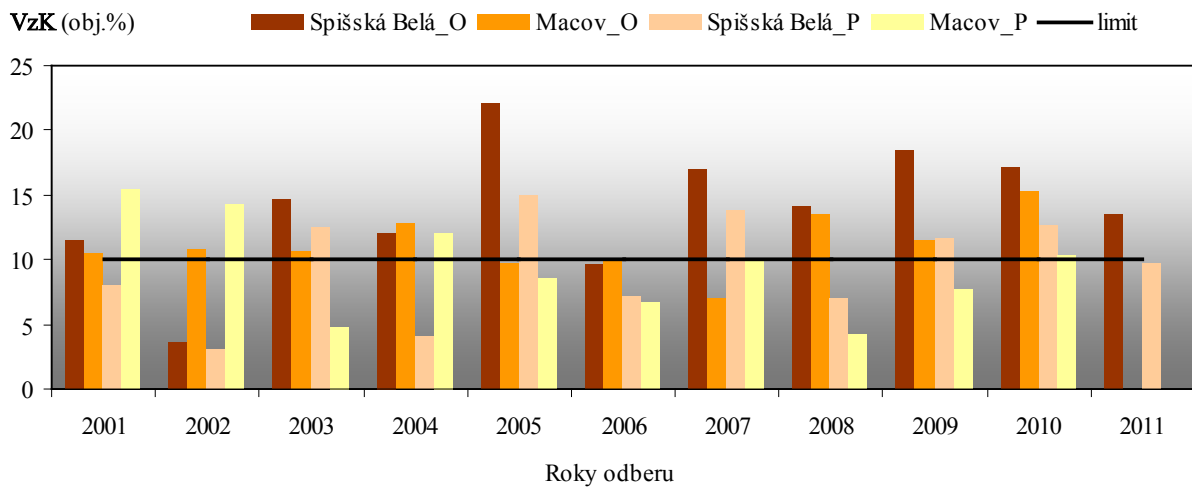
pórovitosti a horná podľa minimálnej vzdušnej kapacity. Pri objemovej hmotnosti bolo zaznamenaných 36% nadlimitných prípadov v Spišskej Belej, resp. 40 % v Macove.

Zistené výsledky zaraďujú čiernice medzi pôdy s najpriaznivejším fyzikálnym stavom.

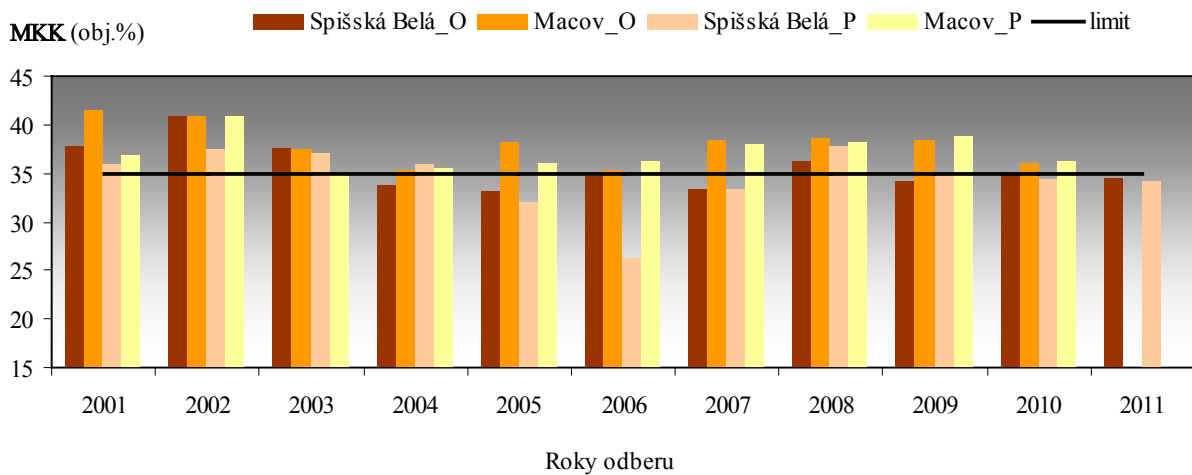
Obr. 6 Celková pórovitosť (Pc) ornice a podornice čiernic



Obr. 7 Minimálna vzdušná kapacita (VzK) ornice a podornice čiernic



Obr. 8 Maximálna kapilárna vodná kapacita (MKK) ornice a podornice čiernic



Záver

Čo sa týka aktuálnej situácie, z hodnotených pôdných skupín majú v rámci zrnitosti stredne ťažkých pôd priaznivejší fyzikálny stav čiernice na karbonátových substrátoch a naopak v rámci ťažkých pôd čiernice na nekarbonátových substrátoch. Z hľadiska zrnitosti ťažké pôdy oproti stredne ťažkým mali vyššiu maximálnu kapilárnu kapacitu a nižšiu prevzdušnosť. V rámci pôdneho profilu bol lepší fyzikálny stav v ornici. Podľa objemovej hmotnosti ako zhutnené boli zhodnotené podornica zrnitosti stredne ťažkých a ťažkých nekarbonátových čierníc a podornica ťažkých čierníc na karbonátových substrátoch. Podobný stav bol zistený aj na základe ostatných pozorovaných parametrov.

Celkovo z hľadiska celého monitorovacieho obdobia k zlepšeniu fyzikálneho stavu pôdy sledovaných pôdných typov oproti predchádzajúcemu odberovému cyklu došlo v prípade ornice aj podornice stredne ťažkých, ako aj ornice ťažkých čierníc na nekarbonátových substrátoch, príp. ornice ťažkých čierníc na karbonátových substrátoch.

Výsledky týkajúce sa sledovaných pôdných typov z kľúčových lokalít (každoročný odber z vybraných lokalít) potvrdzujú zistenia získané v základnej sieti.

V porovnaní s inými pôdnymi typmi je fyzikálny stav čierníc priaznivejší, čo je podmienené i vyšším obsahom a kvalitou pôdnej organickej hmoty vplývajúcej na štruktúru pôdy.

Zoznam použitej literatúry

- 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
- Houšková, B. 2002: Vývoj fyzikálnych 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
- Širáň, M. 2004: Zhutnenie pôdy a jeho vývoj. Tretie pôdoznalecké dni na Slovensku, 22.-24. jún 2004, poster, Mojmirovce, 2004
- Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene a doplnení niektorých zákonov, 2004

6.6 Hodnotenie vývoja erózie poľnohospodárskych pôd na erózných transektoch

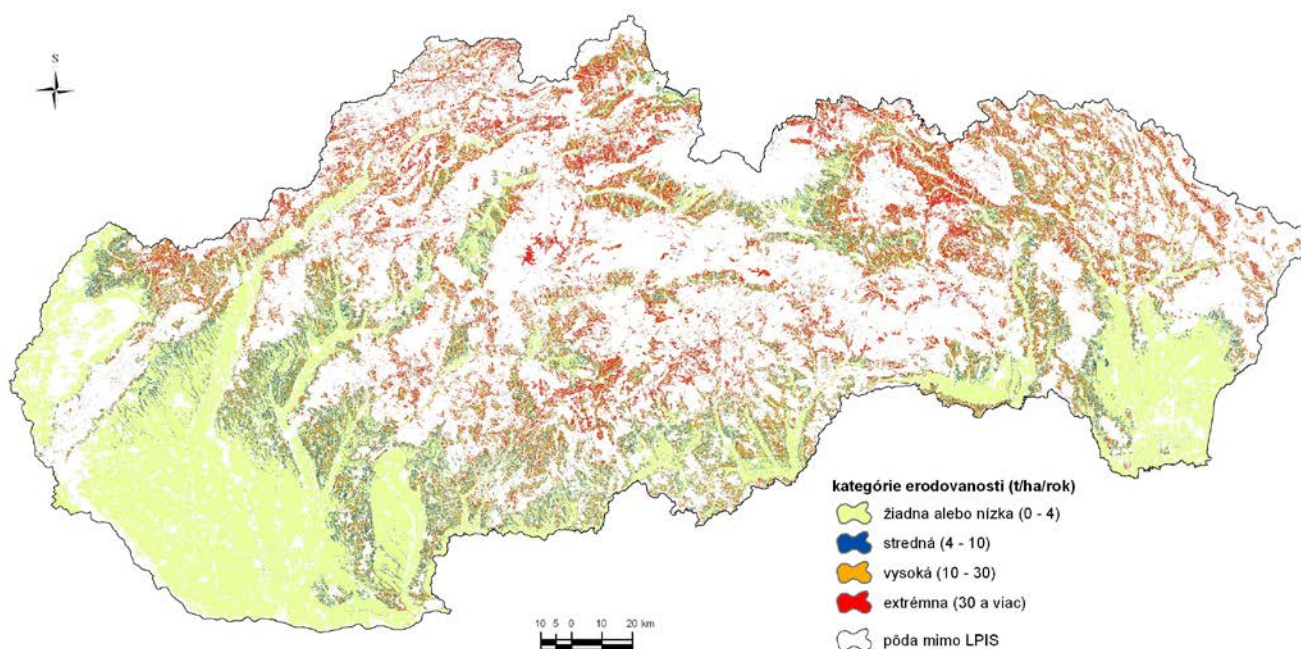
Úvod

Ochrana pôdy pred eróziou je jedna z dôležitých súčastí zákona o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (220/2004 Z.z.). Intenzifikáciou poľnohospodárskej výroby (ktorá je ovplyvnená podmienkami trhu) sa dosahujú vyššie hektárové výnosy sa, avšak zabezpečenie protieróznej ochrany pôdy je väčšinou v nedostatočnej miere. Vplyvom neuváženej činnosti človeka dochádza k výraznej akcelerácii eróznno-akumulačných procesov. Dlhodobé neriešenie problematiky erózie vedie k nevratným negatívnym zmenám základných pôdných parametrov výsledkom čoho môže byť znižovanie produkčnej schopnosti pôdy (pokles úrodnosti), ale v konečnom dôsledku môže byť hlavnou príčinou znižovania celkového potenciálu územia a zhoršovania kvality života v ňom (zanášanie vodných zdrojov splaveninami, kontaminácia pôdy, eutrofizácia atď.).

Získavanie informácií o intenzite priebehu a plošnej distribúcie pôdnej erózie je súčasťou monitoringu, ktorý sa dlhodobo vykonáva na 20-tich záujmových lokalitách (erózných transektoch). Transekty sú rozmiestnené na prevládajúcich pôdných typoch Slovenska. Sledovanie erózie z pohľadu jej intenzity a negatívneho vplyvu na zmeny 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 a geomorfologických podmienkach monitorovacej lokality.

Potenciálna vodná erózia predstavuje možné ohrozenie poľnohospodárskej pôdy eróziou v prípade ak sa neberie do úvahy pôdoochranná účinnosť vegetačného pokryvu a protieróznych opatrení. Vyjadruje potenciál pôdy podliehať procesom erózie v závislosti od konkrétnych vlastností lokality (pôdno-klimatické a geomorfologické charakteristiky). Základom pre tvorbu mapy potenciálnej erózie poľnohospodárskych pôd SR je model univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty USLE modifikovaný pre podmienky Slovenska v prostredí GIS. Potenciálna vodná erózia (rôznej intenzity) bola zistená na 957 173 ha poľnohospodárskych pôd Slovenska (tab. 1).

Potenciálna vodná erózia na poľnohospodárskej pôde



Tab. 1 Výmery kategórií potenciálnej vodnej erózie

Kategórie erodovanosti (strata pôdy)	Výmera v ha	% z PP
Žiadna, alebo nízka (0 – 4 t/ha/rok)	1 457 118	60,35
Stredná (4 – 10 t/ha/rok)	245 734	10,18
Vysoká (10 – 30 t/ha/rok)	356 897	14,78
Extrémna (viac ako 30 t/ha/rok)	354 542	14,69
Spolu	2 414 291	100

Ciele riešenia pre rok 2011

- modelovanie vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach využitím empirického modelu univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE)
- stanovenie intenzity recentnej erózie (za posledných približne 40 rokov) na erózných transektoch na základe vyhodnotenia profilovej distribúcie rádioaktívneho izotopu cézia (^{137}Cs) v jednotlivých častiach transektov
- monitoring vplyvu vodnej erózie na kvantitatívne zmeny sledovaných pôdných parametrov (obsah humusu, pH/KCl, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti, prístupný fosfor a draslík) na štyroch erózných transektoch, ktoré sú charakterizované radom troch sond lokalizovaných po s pádnici svahu v priestore (priestorová diferenciácia) a v čase (časová dynamika počas päťročného odberového cyklu)

Materiál a metódy

Monitoring erózie pôdy (druhý päťročný cyklus) pokračoval v roku 2011 na transektoch pri Suchej Doline (okr. Prešov), Kežmarku, Banskej Štiavnici a Tachtách (okr. Rimavská Sobota). Záujmové lokality boli už v minulosti charakterizované z pohľadu intenzity erózie a priestorovej variability monitorovaných pôdných parametrov. Po piatich rokoch sme sa na ne vrátili, aby sme na základe porovnania výsledkov z oboch cyklov monitorovania získali informácie o vplyve erózie na kvantitatívne zmeny sledovaných vlastností pôdneho krytu (pH/KCl, obsah humusu a prístupných živín P a K, zrnitostné zloženie, fyzikálne vlastnosti) v čase (časová variabilita) a v priestore (priestorová heterogenita).

Všetky erózne transekty monitorované v tomto roku sú lokalizované na orných pôdach a z pohľadu intenzity zrážok, erodovateľnosti pôdy, svahovitosti sa nachádzajú v erózne senzitívnych oblastiach Slovenska. V rámci každého transektu boli identifikované tri pedologické sondy, ktoré sú lokalizované po spádnici svahu, teda v smere najväčšieho vplyvu povrchového odtoku na pôdu. Vrcholová, eróziou minimálne ovplyvnená časť svahu (plošina) je charakterizovaná *referenčnou sondou*, erózna časť transektu (svah) *eróznou sondou* a úpätie svahu (báza), kde dochádza k akumulácii pôdnej hmoty je charakterizované *akumulačnou sondou*.

V pôdných vzorkách dozatiaľ v rámci jednotlivých pôdných profilov sledujeme vplyv erózie na kvantitatívne zmeny fyzikálnych vlastností (objemová hmotnosť, pórovitosť, KN, MKK, RVK), obsahu humusu (Cox x 1,724, mokrý spôsob metóda Ľurin, modifikácia Nikitin), prístupného fosforu (Égner), prístupného draslíka (Schachtschabel), pH/KCl (0,2 mol.dm⁻³ KCl), zrnitostné zloženie (FAO) v priestore a v čase. Sledované pôdne parametre boli stanovené podľa štandardných analytických metód (Fiala a kol., 1999) v laboratóriách VÚPOP Bratislava. Preferované hĺbky odberu boli 0-10, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 cm.

Intenzitu erózie pôdy počas obdobia intenzifikácie poľnohospodárskej výroby nám pomáha určiť metóda, ktorá využíva rádioaktívny izotop ^{137}Cs ako značkovací prvok. V roku 1963

bol zaznamenaný najväčší spád tohto rádioaktívneho izotopu (Walling, Quine, 1993). Metóda je postavená na schopnosti izotopu cézia sa pevne viazať na častice jemného podielu pôdnej hmoty. Pri transporte a následnom akumulovaní týchto častíc 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 pôdnych vzoriek na rádioaktívny izotop cézia (^{137}Cs) boli urobené využitím polovodičového gamaspektrometrického systému vo Výskumnom ústave jadrových elektrární v Trnave.

Pre vyčíslenie *potenciálnej* (nezohľadňuje vplyv rastlinného pokryvu a spôsobu obhospodarovania) a *aktuálnej* priemernej ročnej straty pôdy (t/ha/rok) v rámci konkrétnych erózných transektov používame empirický 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 – erózna účinnosť dažďa

K – erodovateľnosť pôdy

L – vplyv dĺžky svahu

S – vplyv svahovitosti

C – vplyv rastlinného pokryvu

P – spôsob obhospodarovania

Dosiahnuté výsledky

Transekt pri Suchej Doline

Záujmová lokalita sa nachádza západne od obce Suchá Dolina (okr. Prešov) v členitom reliéfe Šarišskej vrchoviny (klimatický región mierne teplý, mierne vlhký, pahorkatinový až vrchovinový s priemerným ročným úhrnom zrážok 700 mm) (Hrnčiarová a kol., 2002). Na eróznom transekte sa nachádza stredne ťažká (hlinitá, resp. prachovitohlinitá), hlboká pôda vyvinutá na polygenetických hlinách. Monitorovaný úsek sa nachádza na ornej pôde, na ktorej sa v tomto roku pestovala kukurica po spádnici svahu. Jeho dĺžka je 347 metrov a svahovitosť sa pohybuje v rozmedzí od 8° do 12°. Celý sledovaný úsek je charakteristický luvizemou pseudoglejovou kultizemnou (Šály a kol., 2000), rozdiel je len v mocnosti profilu (najmä hĺbke humusového horizontu). Na plošine (referenčná časť) a na svahu (erózna časť) je hĺbka humusového horizontu 0,30 m pričom v akumuláčnej časti (tu dochádza k akumulácii translokovanej pôdnej hmoty) je humusový horizont hlboký 0,45 m.

V konkrétnych pôdno-klimatických a geomorfologických podmienkach záujmovej lokality sme použitím empirickej rovnice USLE vypočítali numerické hodnoty potenciálnej a aktuálnej straty pôdy z plochy jedného hektára za obdobie jedného roka. V tomto odberovom cykle sa na lokalite nachádzala kukurica.

Potenciálna strata pôdy:

$$R - 25,59 \quad K - 0,29 \quad L - 3,96 \quad S - 3,40$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{99,92 \text{ t/ha/rok}}$$

Aktuálna strata pôdy (kukurica):

$$R - 25,59 \quad K - 0,29 \quad L - 3,96 \quad S - 3,40 \quad C - 0,61 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P = \mathbf{60,95 \text{ t/ha/rok}}$$

Extrémne vysoká hodnota potenciálnej erózie (99,92 t/ha/rok) niekoľkonásobne prekračuje limit stanovený zákonom 220/2004 Z.z o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (pre hlboké pôdy – 30 t/ha/rok). Z pohľadu potenciálnej erózie pôdy na monitorovanom úseku zaradujeme do kategórie erodovanosti: extrémna. Na transekte sa aktuálne pestovala kukurica, ktorú zaradujeme medzi plodiny so slabým protieróznym účinkom. Sú to plodiny, ktoré nedostatočne chránia pôdu pred kinetickou energiou dažďových kvapiek a povrchového odtoku. Pri zohľadnení aktuálne pestovanej plodiny (aktuálna erózia) došlo k zníženiu intenzity erózie na 60,95 t/ha/rok čo však stále zaraduje túto pôdu do kategórie erodovanosti: extrémna. K výraznejšiemu zníženiu intenzity erózie dôjde až kombináciou vhodnej plodiny a optimálne zvolenej protieróznej agrotechniky. Vlastník, alebo užívateľ pôdy by mal v tomto prípade využívať účinnú protieróznú ochranu pôdy aplikovaním ochranných agrotechnických opatrení v zhode so zákonom č. 220/2004, § 5, odstavec 2.

Dlhodobý negatívny vplyv eróznno-akumulačných procesov na pôdu potvrdila aj profilová distribúcia izotopu ^{137}Cs v jednotlivých častiach erózneho transektu. V pôdnom profile akumulačnej časti svahu boli vysoké hodnoty cézia namerané až do hĺbky 0,50 m. V referenčnej a eróznej časti svahu sme zaznamenali klasickú schému profilového rozšírenia cézia, kedy sa tento izotop nachádza iba v orničnom horizonte (0-0,30 m) a pod ním sú jeho hodnoty na prahu merateľnosti (tab. 2).

Tab. 2 Profilová distribúcia ^{137}Cs v jednotlivých častiach transektu pri Suchej Doline

Transekt	^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹)				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	1,74	1,51	1,11	-	-
svah	6,56	8,13	3,82	-	-
báza	8,09	13,50	10,80	8,09	8,79

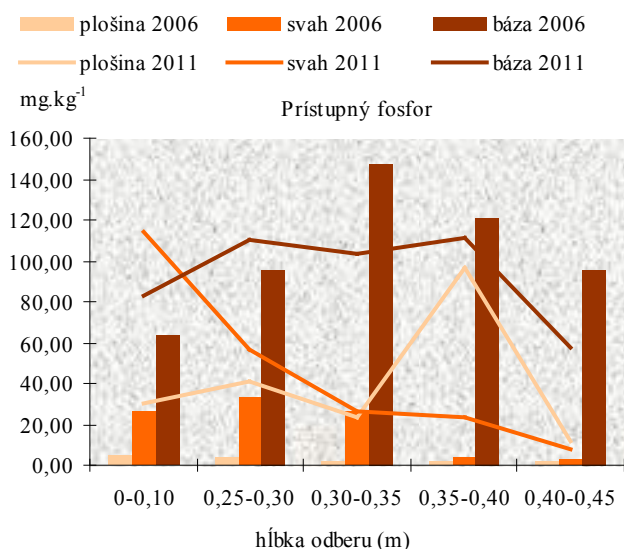
Recentnú eróziu (erózia v období výraznej intenzifikácie poľnohospodárstva) posudzujeme od roku 1963 kedy bola zaznamenaná najvyššia intenzita rádioaktívneho spádu. Priemerná strata (resp. akumulácia) pôdnej hmoty sa posudzuje za obdobie približne 48 rokov. Je posudzovaná na základe rozdielu hĺbky ešte merateľnej koncentrácie cézia v pôdnych profiloch sond akumulačnej (báza) a referenčnej (plošina) časti transektu. V tomto prípade sa jedná o vrstvu s mocnosťou 200 mm. Za uvedené obdobie sa v báze svahu priemerne ročne akumulovala vrstva pôdy s hrúbkou 4,2 mm. Pri zohľadnení aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu (1,39 g.cm⁻³) to predstavuje priemernú ročnú akumuláciu pôdnej hmoty 58,38 t/ha. Prítomnosť intenzívne prebiehajúcich eróznno-akumulačných procesov potvrdila aj táto metóda.

Dlhodobý vplyv vodnej erózie na pôdu sa prejavuje kvantitatívnymi zmenami obsahov prístupného fosforu a humusu v rámci pôdnych profilov jednotlivých častí monitorovaného erózneho transektu (obr. 1, 2). Priestorová heterogenita sledovaných parametrov je spôsobená ich schopnosťou sa pevne viazať na povrchy koloidného podielu pôdnej hmoty a pri jej translokácii v smere pôsobenia vodnej erózie sa premiestňujú spolu s ňou. Pri profilových priebehoch prístupného fosforu a humusu je viditeľné, že ich najvyššie obsahy boli stanovené v akumulačnej časti záujmového územia kde dochádza k akumulácii eróziou pretransportovanej pôdnej hmoty (predovšetkým z orničného horizontu) z eróznej časti monitorovaného územia. Obsah humusu a prístupného fosforu je v tejto časti svahu ešte aj v hĺbke 0,40-0,45 m nadpriemerný.

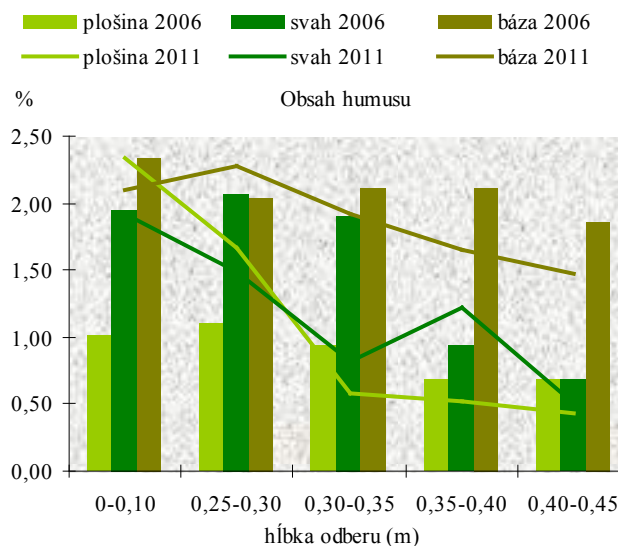
Nízke obsahy fosforu a humusu v ornici referenčného profilu (plošina) dokazujú prítomnosť aj orbovej erózie, ktorou je ovplyvnená vrcholová časť záujmovej lokality. Orbou bola postupne pretransportovaná ornica do nižších častí svahu. Dochádzalo k priorávaniu na fosfor a humus chudobnej podornici, čo má za následok výrazné zníženie obsahov prístupného fosforu a humusu v profile v tejto časti monitorovanej lokality.

Hodnotiť časovú dynamiku zmien (za obdobie 2006 až 2011) je v tomto prípade dosť problematické, nakoľko na hone bolo pravdepodobne použité priemyselné NPK hnojivo čo spôsobilo plošné zvýšenie hodnôt fosforu v ornicovom horizonte v rámci celého sledovaného úseku.

Obr. 1



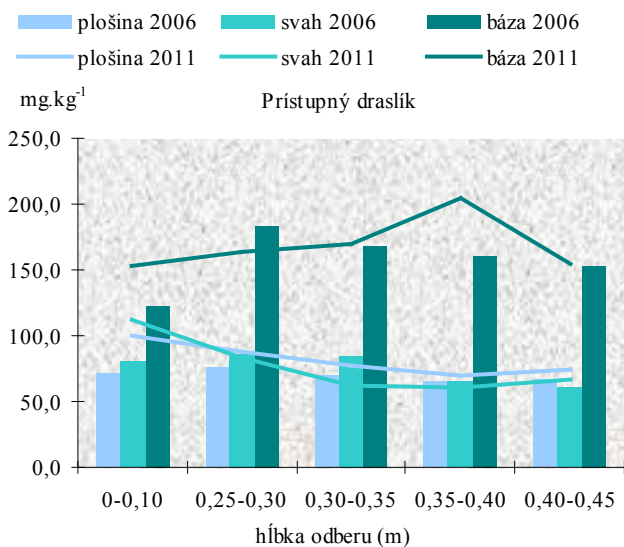
Obr. 2



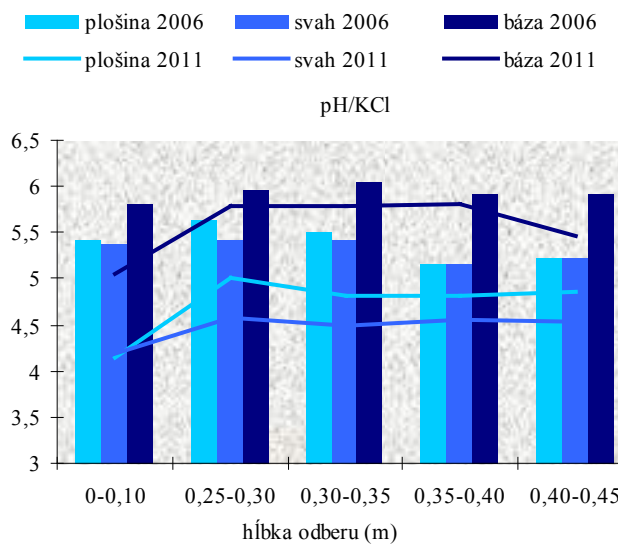
Vplyv vodnej erózie na priestorovú distribúciu prístupného draslíka (obr. 3) sa prejavil jeho výraznou akumuláciou v báze svahu, kde zvýšené obsahy tohto makroelementu boli namerané až do hĺbky 0,45 m, čo korešponduje s hrúbkou translokovanej pôdnej hmoty (určenej metódou využívajúcou cézium ako značkovací prvok). Podobne ako v prípade prístupného fosforu je kvôli použitiu NPK hnojív skresľujúce hodnotenie časovej dynamiky zmien (plošné zvýšenie obsahov draslíka v ornicovom horizonte v rámci celého sledovaného úseku).

Pôda na transekte má kyslú pôdnu reakciu a smerom k pôdotvornému substrátu pH mierne klesá (priorávanie kyslejšieho substrátu). Vyššie hodnoty pH v báze svahu sú dôsledkom akumulácie pretransportovanej pôdnej hmoty z ornice eróznej časti transektu. Za sledované obdobie rokov 2006 a 2011 došlo k zníženiu hodnôt pH na plošine a svahu, čo je pravdepodobne výsledok kombinácie vplyvu orbovej a vodnej erózie, keď dochádza transportu pôdnych častíc ornice do svahových depresí, pričom sa na povrch dostáva kyslejšia podornica (obr. 4).

Obr. 3



Obr. 4



V rámci celého sledovaného úseku prevláda stredne ťažká pôda, pričom dominuje pôdny druh hlinitá a prachovito-hlinitá. Pôda vznikla na pôdotvornom substráte, ktorým sú polygenetické hliny. V pôdnych profiloch jednotlivých častí sledovaného územia sme zaznamenali prevahu frakcie prachu (0,002-0,05 mm) a jemného piesku (0,05-2,0 mm). Vplyv vodnej erózie na pôdu sa prejavil najmä v báze svahu, kde dochádza k akumulovaniu práve týchto zrnitostných frakcií (tab. 3).

Tab. 3 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Suchej Doline

Transekt Voderady	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	17,05	44,56	38,39	hlinitá
	0,25-0,30	17,45	56,04	26,51	prachovito-hlinitá
	0,30-0,35	23,16	46,48	30,36	hlinitá
	0,35-0,40	23,16	47,99	28,85	hlinitá
	0,40-0,45	24,60	46,13	29,27	hlinitá
svah	0-0,10	19,29	50,65	30,07	prachovito- hlinitá
	0,25-0,30	19,32	50,35	30,34	prachovito- hlinitá
	0,30-0,35	20,09	58,53	21,39	prachovito- hlinitá
	0,35-0,40	20,59	51,16	28,26	prachovito-hlinitá
	0,40-0,45	20,45	52,56	26,99	prachovito-hlinitá
báza	0-0,10	14,16	40,43	45,41	hlinitá
	0,25-0,30	13,50	39,99	46,51	hlinitá
	0,30-0,35	13,22	37,93	48,84	hlinitá
	0,35-0,40	11,72	41,31	46,97	hlinitá
	0,40-0,45	14,27	40,67	45,06	hlinitá

Hodnoty objemovej hmotnosti prekračujúce limit zhutnenia pôdy stanovený pre pôdny druh hlinité pôdy ($>1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ pri celkovej pórovitosti $< 45 \text{ obj. \%}$) boli zaznamenané v podornici všetkých monitorovaných častiach transektu (tab. 4). Podobne je to aj v prípade ornice (okrem bázy svahu). V kombinácii s nízkou celkovou pórovitosťou môžeme konštatovať, že pôda je v rámci celého záujmového územia utlačená (Kosil, 1973). V báze svahu je ornica kyprá, čo je spôsobené akumuláciou pôdnych častíc prachovej frakcie.

Tab. 4 Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Suchej Doline

Transekt Voderady	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm^{-3})		PO (obj. %)	
		2006	2011	2006	2011
plošina	0-0,10	1,62	1,64	40,27	36,92
	0,30-0,35	1,90	1,69	28,08	37,13
svah	0-0,10	1,37	1,47	47,74	43,36
	0,30-0,35	1,51	1,67	42,15	37,52
báza	0-0,10	1,42	1,39	45,40	46,43
	0,30-0,35	1,54	1,63	41,48	37,93

PO - celková pórovitosť

Transekt pri Kežmarku

Monitorovaná lokalita s eróznym transektom sa nachádza severozápadne od Kežmarku v členitom reliéfe Podtatranskej kotliny. Jedná sa o klimatický región mierne chladný s priemerným ročným úhrnom zrážok 700 mm (Hrnčiarová a kol., 2002). Na celom sledovanom úseku sa nachádzajú stredne ťažké (hlinité, prachovito-hlinité), hlboké pôdy,

ktoré sa vyvinuli na glaciofluviálnych sedimentoch. Erózný transekt sme vybrali na intenzívne využívanej ornej pôde (v tomto roku sa tu pestoval jačmeň jarný), na svahu so sklonom 10°. Celý transekt má dĺžku 465 m. Monitorovaný úsek je charakteristický čiernicou kultizemnou (Šály a kol., 2000) s orbou premiešaným ornícovým humusovým horizontom, ktorého mocnosť sa v rámci sledovaného transektu výrazne mení (referenčný profil – 0,30 m, erózný profil – 0,30 m, akumulačný profil – 1,05 m). V akumulačnej časti dlhodobo dochádza k akumulácii vodnou eróziou pretransportovaných pôdných častíc (humusový horizont sa skladá z troch akumulovaných vrstiev. Akp, A1, A2)

Použitím empirickej rovnice USLE sme pre konkrétne pôdno-klimatické a geomorfologické podmienky záujmovej lokality vypočítali numerické hodnoty potenciálnej a aktuálnej straty pôdy z plochy jedného hektára za obdobie jedného roka. V tomto odberovom cykle sa na lokalite nachádzal jačmeň jarný.

Potenciálna strata pôdy:

$$R - 21,31 \quad K - 0,24 \quad L - 4,58 \quad S - 2,88$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{67,48 \text{ t/ha/rok}}$$

Aktuálna strata pôdy (jačmeň jarný):

$$R - 21,31 \quad K - 0,24 \quad L - 4,58 \quad S - 2,88 \quad C - 0,14 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = \mathbf{9,44 \text{ t/ha/rok}}$$

Podľa výpočtu potenciálnej straty pôdy je pôda záujmovej lokality extrémne ohrozená eróznou-akumulačnými procesmi. Priemerná potenciálna ročná strata pôdy z hektára predstavuje 67,48 ton. Pôdu erózneho transektu zaraďujeme do kategórie erodovanosti: extrémna. Vypočítaná hodnota potenciálnej straty pôdy výrazne prekračuje limit stanovený zákonom č. 220/2004 pre hlbokú pôdu (30 t/ha/rok). Je to výsledok pôdno-klimatických a reliéfnych charakteristík monitorovaného územia.

Zohľadnením aktuálneho rastlinného pokryvu (jarný jačmeň) získame hodnotu pre aktuálnu eróziu. Táto hodnota je výrazne nižšia 9,44 t/ha/rok (kategória erodovanosti: stredná). Zníženie extrémnej potenciálnej erózie na tolerovanú úroveň je ovplyvnené relatívne dobrým protieróznym účinkom hustosiatych obilnín.

Podobne ako v prípade transektu pri Suchej Doline by mal vlastník, alebo užívateľ pôdy postupovať na tomto hone v zmysle zákona o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (220/2004 Z.z.) tak aby nedochádzalo k ďalšej degradácii pôdy vodnou eróziou.

Zaujímavá na tejto lokalite je skutočnosť, že klasickú schému distribúcie cézia v pôdnom profile (kedy sa ¹³⁷Cs sa nachádza iba v orbou pravidelne premiešanom ornícovom horizonte, pričom v podornici sú koncentrácie cézia na prahu merateľnosti) sme zaznamenali vo všetkých častiach monitorovanej lokality (aj v akumulačnej časti svahu) (tab. 5). Nakoľko má akumulovaná humusová vrstva v báze svahu mocnosť viac ako jeden meter, muselo dochádzať k výraznému transportu pôdných častíc z eróznej časti svahu ešte pred prvými termonukleárnymi pokusmi (v roku 1963), kedy bol nameraný najvyšší spád rádioaktívneho izotopu cézia.

Tab. 5 Profilová distribúcia ¹³⁷Cs v jednotlivých častiach transektu pri Kežmarku

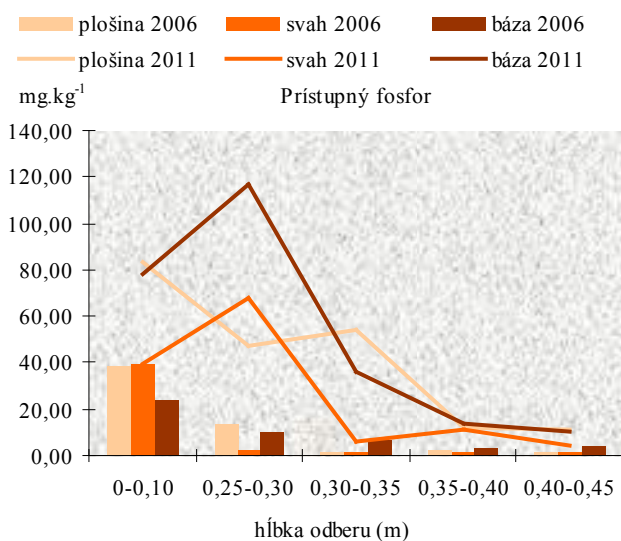
Transekt	¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹)				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	11,10	0,30	0,50	-	
svah	14,10	0,50	-	-	
báza	13,30	3,80	0,60	0,50	0,42

Recentná erózia (erózia v období výraznej intenzifikácie poľnohospodárstva) sa vypočíta na základe rozdielu hĺbky výskytu ešte merateľnej koncentrácie ^{137}Cs v pôdných profiloch akumuláčnej a referenčnej časti záujmovej lokality. V tomto prípade ide o vrstvu hrubú iba 100 mm. V porovnaní s mocnosťou akumulovaného humusového horizontu v báze svahu (1,05 m) ide o zanedbateľnú vrstvu pretransportovaného materiálu. Priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty (za obdobie datované od na jvyššieho spádu cézia) je vo výške vrstvy 2,09 mm. Pri aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu ($1,41 \text{ g.cm}^{-3}$) to predstavuje priemernú ročnú stratu (resp. akumuláciu) pôdnej hmoty 29,46 t/ha.

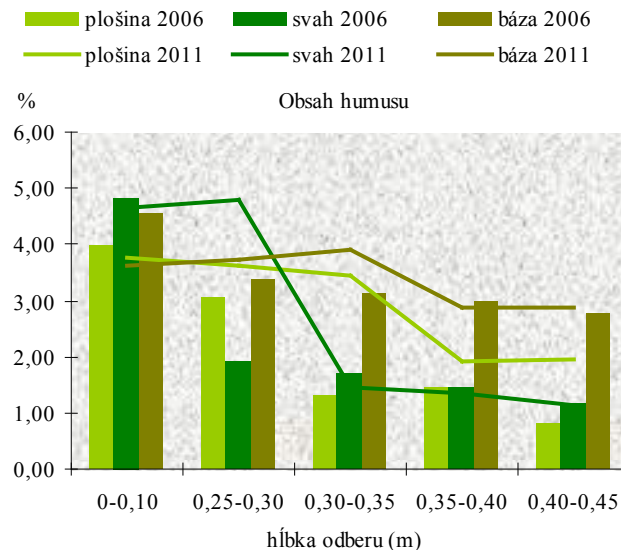
Zmeny obsahu prístupného fosforu a humusu (obr. 5, 6) v pôdných profiloch jednotlivých častí záujmovej lokality (priestorová heterogenita) sú výsledkom vplyvu vodnej erózie na pôdu. Z priebehu grafu distribúcie fosforu v pôdných profiloch erózne a akumuláčnej časti transektu vidíme, že jeho obsah v eróziu ovplyvnenej časti svahu je v dôsledku straty vrchných na fosfor bohatších vrstiev pôdy nižší v porovnaní s akumuláčnou časťou. V porovnaní s rokom 2006 došlo k plošnému zvýšeniu obsahu prístupného fosforu v rámci celej sledovanej lokality, čo je pravdepodobne výsledkom prihnojovania priemyselnými hnojivami (v roku 2006 boli obsahy fosforu extrémne nízke) a nie výsledkom vplyvu vodnej erózie na pôdu.

Rozdiely v obsahoch humusu v pôdných profiloch záujmovej lokality sú výraznejšie ako v prípade prístupného fosforu. Jeho obsah sa v rámci hlbších vrstiev profilu akumuláčnej časti svahu (báza) prakticky nemení, pričom v eróznom profile v dôsledku straty pôdnej hmoty humusovej vrstvy s narastajúcou hĺbkou pôdy výrazne klesá. Časová dynamika zmien je v tomto prípade nevýznamná.

Obr. 5



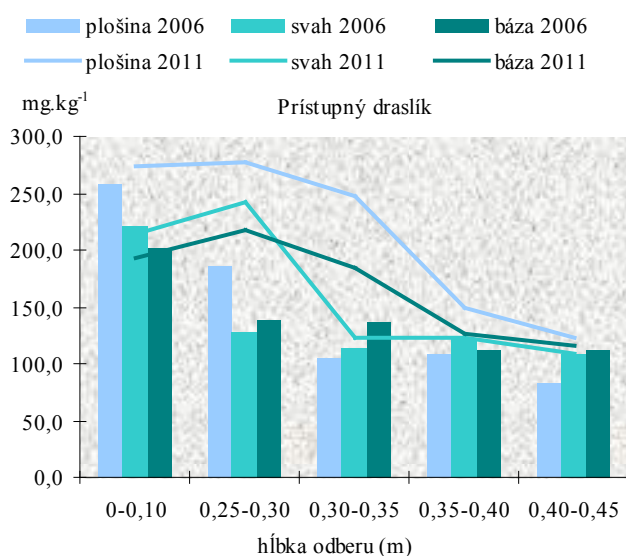
Obr. 6



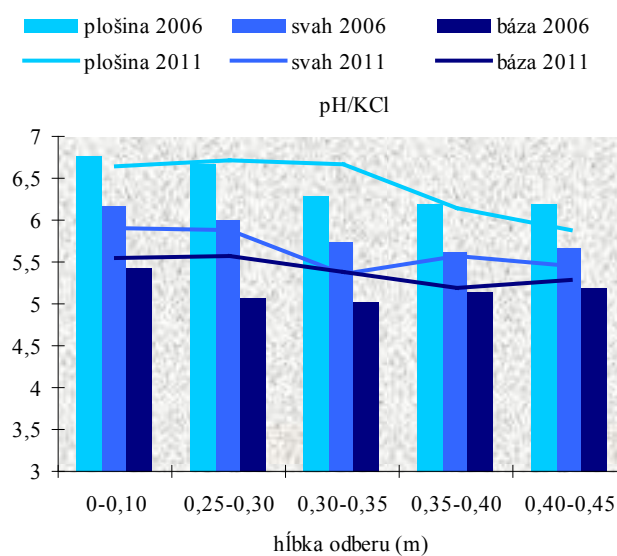
Vplyv vodnej erózie na zmeny priestorovej distribúcie draslíka v jednotlivých pôdných profiloch sledovaných častí transektu nebol výrazný. Jeho profilový priebeh v rámci jednotlivých častí monitorovaného územia je podobný (obr. 7). V období rokov 2006 až 2011 (časová dynamika) došlo k plošnému zvýšeniu obsahov draslíka v ornici v rámci celého sledovaného územia, čo môže byť (podobne ako v prípade fosforu) výsledkom prihnojovania priemyselnými hnojivami.

Hodnotami výmennej pôdnej reakcie sa pôda celého monitorovaného územia zaraďuje do kategórie slabokyslá (v báze svahu kyslá), čo je ovplyvnené jej genézou na glaciofluvialných sedimentoch (obr. 8). Vplyv erózie na priestorovú distribúciu a časovú dynamiku zmien pH nie je významný. Nevýrazné zmeny pôdnej reakcie v jednotlivých častiach transektu môžeme pripísať prirodzenej priestorovej variabilite tohto parametra.

Obr. 7



Obr. 8



Stredne ťažká (ílovito-hlinitá, hlinitá) pôda záujmovej lokality sa vyvinula na glaciofluviálnych sedimentoch podtatranského regiónu (tab. 6). V pôde sa nachádza pomerne vysoké zastúpenie ílovej frakcie, prevláda však prachová frakcia. Výsledkom pôsobenia vodnej erózie na pôdu je akumulovanie zrnitostných frakcií prachu a jemného piesku (ľahko podliehajú erózií) v báze svahu.

Tab. 6 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Kežmarku

Transekt Voderady	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	31,53	39,60	28,87	ílovito-hlinitá
	0,25-0,30	29,92	37,87	32,21	ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	31,04	44,49	24,47	ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	38,69	40,70	20,61	ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	30,01	31,46	38,53	ílovito-hlinitá
svah	0-0,10	26,86	39,65	33,49	hlinitá
	0,25-0,30	29,48	40,90	29,62	ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	37,98	36,48	25,54	ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	39,47	43,26	17,27	prachovito-ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	36,55	43,65	19,80	hlinitá
báza	0-0,10	24,53	40,21	35,26	hlinitá
	0,25-0,30	24,00	43,07	32,94	hlinitá
	0,30-0,35	21,08	36,49	42,43	hlinitá
	0,35-0,40	20,78	39,76	39,46	hlinitá
	0,40-0,45	20,60	38,05	41,36	hlinitá

Objemová hmotnosť pôdy prekračujúca limit pre zhutnenie stanovený pre pôdny druh hlinitá ($>1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ pri celkovej pórovitosti $< 45 \text{ obj.}\%$) bola nameraná v ornici aj podornici referenčného pôdneho profilu (plošina). V tejto časti záujmovej lokality sa v pôde nachádza (pri nižšej pórovitosti) vyšší podiel ílovej frakcie (tab. 7). V ostatných častiach erózneho transektu sú (na základe objemovej hmotnosti a pórovitosti) vytvorené optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes a kol., 1996) pre rast a vývoj rastlín. Vyššie

hodnoty objemovej hmotnosti v podornici (v rámci celého sledovaného úseku) sú spôsobené tým, že táto časť pôdneho profilu nie je preorávaná. Vplyv erózie pôdy na zmenu fyzikálnych vlastností v priestore a čase je v tomto prípade nevýznamný.

Tab. 7 Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Kežmarku

Transekt Voderady	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm ⁻³)		PO (obj. %)	
		2006	2011	2006	2011
plošina	0-0,10	1,51	1,53	41,76	42,39
	0,30-0,35	1,59	1,47	40,83	45,30
svah	0-0,10	1,06	1,27	59,41	51,71
	0,30-0,35	1,44	1,52	44,50	42,93
báza	0-0,10	1,36	1,41	48,96	45,88
	0,30-0,35	1,64	1,47	37,92	44,69

PO - celková pórovitosť

Transekt pri Banskej Štiavnici

Erózný transekt je lokalizovaný južne od mesta Banská Štiavnica v členitom reliéfe vulkanického pohoria Štiavnické vrchy (klimatický región mierne teplý, vlhký, vrchovinový, s priemerným ročným úhrnom zrážok 800 mm) (Hrnčiarová a kol., 2002). Sledovaný úsek sa nachádza na intenzívne využívannej ornej pôde (kukurica pestovaná po spádnicu svahu) na svahu na svahu so sklonom 8° -10°, pričom jeho dĺžka je 320 m. Zaujímavá lokalita je charakterizovaná stredne hlbokými až hlbokými, stredne ťažkými piesčito-hlinitými až hlinitými pôdami, ktoré sa vyvinuli na zvetralinách vulkanických hornín predovšetkým andezitov. Na celom monitorovanom eróznom transekte sa nachádza kambizem kultizemná (Šály a kol., 2000), ktorá sa v rámci transektu líši mocnosťou orbou premiešaného humusového horizontu (referenčný profil – 0,30 m, erózný profil – 0,25 m, akumulačný profil Akp, A1, A2 – 0,85 m).

Vplyv vodnej erózie sa výrazne prejavil predovšetkým v eróznej časti transektu, čo sa prejavilo v znížení hĺbky pôdneho profilu keď už v 0,45 m nastupuje pôdotvorný substrát. Naopak v báze svahu (akumulačná časť transektu) dochádza k výraznej akumulácii pretransportovanej pôdnej hmoty výsledkom čoho je zvýšenie hĺbky profilu pôdy (substrát nastupuje až v hĺbke 1,20 m).

Použitím empirickej rovnice USLE sme vypočítali numerické hodnoty potenciálnej a aktuálnej straty pôdy z plochy jedného hektára za obdobie jedného roka. V tomto odberovom cykle sa na lokalite nachádzala kukurica.

Potenciálna strata pôdy:

$$R - 20,25 \quad K - 0,24 \quad L - 3,80 \quad S - 2,88$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{53,18 \text{ t/ha/rok}}$$

Aktuálna strata pôdy (kukurica):

$$R - 20,25 \quad K - 0,24 \quad L - 3,80 \quad S - 2,88 \quad C - 0,61 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P = \mathbf{32,44 \text{ t/ha/rok}}$$

Hodnota potenciálnej erózie (53,18 t/ha/rok) prekračuje limit straty pôdy stanovený zákonom 220/2004 Z.z o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (pre hlboké pôdy – 30 t/ha/rok). Z pohľadu potenciálnej erózie sa pôda na sledovanom eróznom transekte zaraďuje do kategórie erodovanosti: extrémna. Pri zohľadnení aktuálne pestovanej plodiny (kukurica) došlo k zníženiu intenzity erózie na hodnotu 32,44 t/ha/rok, čo však stále zaraďuje túto pôdu do kategóriu erodovanosti: extrémna. Kukuricu zaraďujeme medzi plodiny so slabým

protieróznym účinkom, ktoré nedostatočne chránia pôdu pred negatívnym vplyvom povrchového odtoku. Kombináciou vhodnej plodiny a optimálne zvolenej protieróznej agrotechники dokážeme znížiť tento negatívny vplyv vody a preto vlastníci, alebo užívatelia pôdy by mali využívať účinnú protieróznú ochranu pôdy aplikovaním ochranných agrotechnických opatrení v zhode so zákonom č. 220/2004.

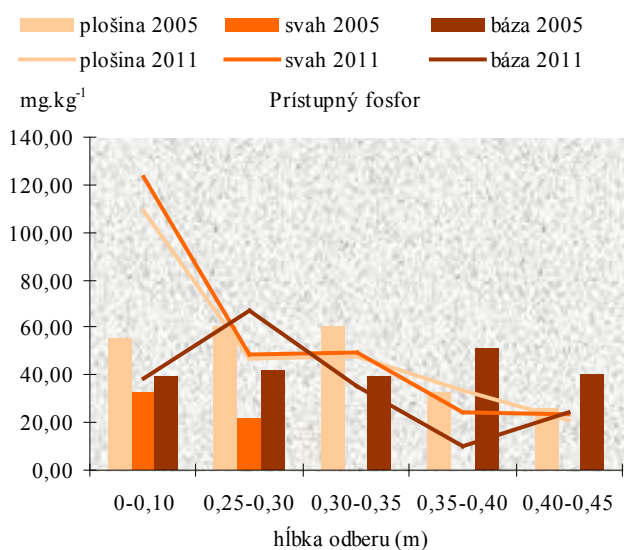
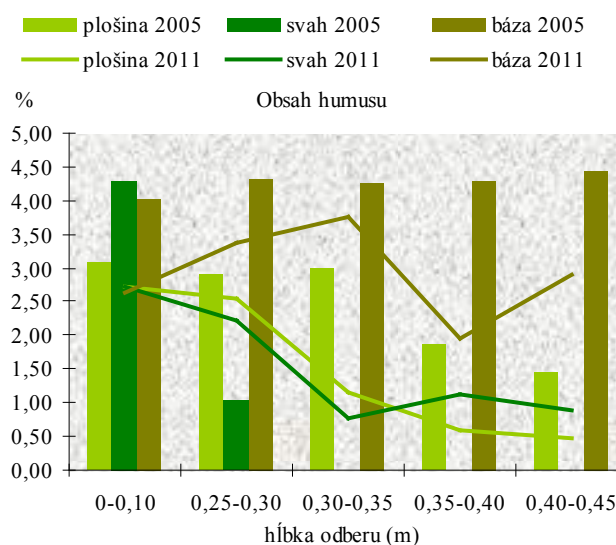
Klasická schéma priestorovej distribúcie cézia v pôdnom profile bola zaznamenaná v referenčnej (plošina) časti erózneho transektu (rovnorodá distribúcia ^{137}Cs sa nachádza iba v orbou pravidelne premiešanom orníčnom horizonte, pričom v podornici sú jeho hodnoty na prahu merateľnosti) (tab. 8). Na svahu sú jeho koncentrácie v spodnej časti orníčného horizontu výrazne nižšie ako do hĺbky 0,10 m, čo je spôsobené prioritovaním podornice. V akumuláčnej časti svahu (báza) sme ešte v hĺbke 0,50 m zaznamenali merateľné koncentrácie ^{137}Cs . Je to spôsobené výraznou akumuláciou eróziou translokovanej pôdnej hmoty z erózných častí svahu.

Tab. 8 Profilová distribúcia ^{137}Cs v jednotlivých častiach transektu pri Banskej Štiavnici

Transekt	^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹)				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	13,50	15,20	6,20	0,67	-
svah	11,80	0,9	-	-	-
báza	17,40	25,10	22,20	15,4	1,59

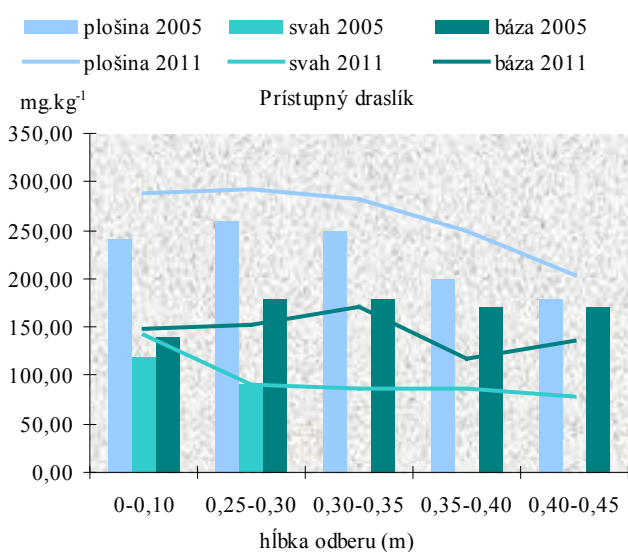
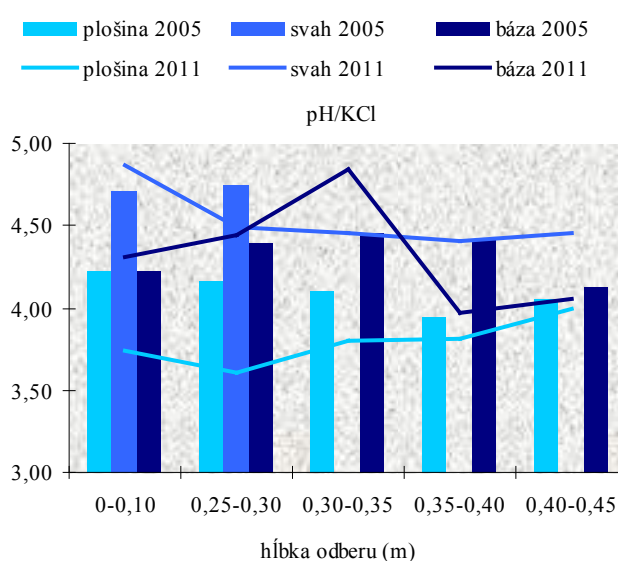
Za obdobie od pozorovaného najväčšieho spádu cézia (od roku 1963) došlo v báze svahu (akumulačná časť) k akumulácii 100 mm vrstvy pôdy (rozdiel v hĺbke výskytu cézia v akumuláčnom a referenčnom profile), z čoho vyplýva priemerná ročná akumulácia pôdnej hmoty za obdobie 48 rokov vo výške vrstvy 2,08 mm. Pri aktuálnej objemovej hmotnosti ornice v báze svahu (1,16 g.cm⁻³) to predstavuje priemernú ročnú stratu (resp. akumuláciu) pôdnej hmoty 24,13 t/ha/rok. V porovnaní s mocnosťou akumulovaného humusového horizontu v báze svahu (0,85 m) ide o zanedbateľnú vrstvu pretransportovaného materiálu preto podobne ako v prípade transektu pri Kežmarku aj tu muselo dochádzať k transportu pôdných častíc z eróznej časti svahu ešte pred prvými termónukleárnymi pokusmi.

Z priebehu grafov priestorovej distribúcie humusu a fosforu (obr. 9, 10) v pôdnych profiloch monitorovaného erózneho transektu z roku 2005 vidíme signifikantný vplyv vodnej erózie na ich translokáciu z eróznej časti a následnú akumuláciu v báze svahu. Ich obsahy (v pôdnom profile bázy) v akumuláčnej časti svahu pribúdajúcou hĺbkou vôbec neklesajú, čo je výsledkom akumulácie pretransportovanej pôdnej hmoty a s ňou aj fosforu a humusu. Ich obsah je v hĺbke 0,40-0,45 m zhruba rovnaký ako v hĺbke 0-0,10 m referenčného profilu (plošina). Časová dynamika zmien obsahov fosforu a humusu za obdobie rokov 2005-2011 sa hodnotí dosť problematicky, nakoľko namerané hodnoty z roku 2011 sa nie celkom zhodujú s našou predstavou o vývoji týchto parametrov v čase. Môže to byť výsledok plošnej aplikácie anorganických hnojív na eróznom transekte počas sledovaného obdobia.

Obr. 9**Obr. 10**

Najvyššie koncentrácie prístupného draslíka v ornici aj podornici sme stanovili v referenčnom pôdnom profile (plošina) (obr. 11). Vplyv erózie na zmeny priestorovej distribúcie draslíka sa prejavil výrazným znížením jeho obsahu v pôdnom profile eróznej časti záujmového územia. Výraznejšie zmeny obsahov prístupného draslíka za obdobie rokov 2005 až 2011 (časová dynamika zmien) neboli pozorované.

Na základe výmennej pôdnej reakcie zaraďujeme pôdu erózneho transektu do kategórie extrémne kyslá, čo je ovplyvnené predovšetkým pôdotvorným substrátom, ktorým sú zvetraliny vulkanitov. Hodnota pH sa v celom pôdnom profile jednotlivých častí transektu pohybuje pod hodnotou 4,5 (len s výnimkou eróznej časti kde je hodnota pH mierne nad 4,5), výrazne sa nemení ani s pribúdajúcou hĺbkou v jednotlivých pôdných profiloch (obr. 12). Nevýrazné zmeny pôdnej reakcie na transekte (v priestore a čase) môžeme pripísať prirodzenej priestorovej variabilite tohto parametra.

Obr. 11**Obr. 12**

Stredne ťažká (hlinitá, piesčito-hlinitá) pôda záujmovej lokality sa vyvinula na zvetralinách vulkanických hornín (andezitov), čo má vplyv na vyšší podiel zrnitostnej frakcie jemného piesku (0,05-2,0 mm) a prachu (0,002-0,05 mm) a nižší obsah ílovej (<0,002 mm) frakcie v rámci všetkých monitorovaných pôdnych profilov (tab. 9). Najvyššie zastúpenie pieskovej a prachovej frakcie v celom profile sme zaznamenali v báze svahu. Tieto frakcie pomerne ľahko podliehajú vplyvu vodnej erózie, čoho dôsledkom je ich akumulácia v svahových depresiách.

Tab. 9 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Banskej Štiavnici

Transekt Voderady	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	18,93	39,46	41,61	hlinitá
	0,25-0,30	18,47	39,73	41,80	hlinitá
	0,30-0,35	10,76	35,30	53,94	piesčito-hlinitá
	0,35-0,40	9,88	26,02	64,10	piesčito-hlinitá
	0,40-0,45	13,21	30,76	56,03	piesčito-hlinitá
svah	0-0,10	10,19	27,71	62,10	piesčito-hlinitá
	0,25-0,30	10,09	23,44	66,47	piesčito-hlinitá
	0,30-0,35	5,36	15,01	79,62	hlinito-piesčitá
	0,35-0,40	6,23	15,96	77,81	hlinito-piesčitá
	0,40-0,45	5,84	16,05	78,10	hlinito-piesčitá
báza	0-0,10	10,25	26,16	63,59	piesčito-hlinitá
	0,25-0,30	10,77	26,87	62,36	piesčito-hlinitá
	0,30-0,35	13,30	32,93	53,77	piesčito-hlinitá
	0,35-0,40	16,18	39,24	44,58	hlinitá
	0,40-0,45	13,48	37,48	49,04	hlinitá

Hodnoty objemovej hmotnosti prekračujúce limit zhutnenia pôdy stanovený pre pôdny druh piesčito-hlinitý (>1,55 g.cm⁻³ pri celkovej pórovitosti < 42 obj.%) neboli zaznamenané v žiadnej pôdnom profile monitorovaného územia (tab. 10). Pôda na transekte má vytvorené optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes a kol., 1996). Vplyv erózie pôdy na zmenu fyzikálnych vlastností v priestore a v čase je v tomto prípade nevýznamný.

Tab. 10 Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Banskej Štiavnici

Transekt Voderady	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm ⁻³)		PO (obj. %)	
		2005	2011	2005	2011
plošina	0-0,10	1,18	1,22	54,04	52,19
	0,30-0,35	1,29	1,35	49,85	48,78
svah	0-0,10	1,12	1,16	56,35	55,77
	0,30-0,35	-	1,24	-	53,11
báza	0-0,10	1,06	1,17	58,52	54,84
	0,30-0,35	1,22	1,39	51,85	46,33

PO - celková pórovitosť

Transekt pri Tachtách

Záujmová lokalita sa nachádza severne od obce Tachty (okr. Rimavská Sobota) v mierne členitom reliéfe Cerovej vrchoviny (klimatický región teplý, mierne vlhký, s chladnou zimou a priemerným ročným úhrnom zrážok 600 mm) (Hrnčiarová a kol., 2002).

Pre celú oblasť sú charakteristické stredne hlboké až hlboké, stredne ťažké (piesčito-hlinité) až ľahké (hlinito-piesčité) pôdy, ktoré sa vyvinuli na pieskoch. Na celom monitorovanom úseku sa nachádza regozem kultizemná (Šály a kol., 2000). Priebeh hĺbky humusového horizontu v rámci erózneho transektu je nasledovný: plošina (referenčná časť) - 0,30 m, svah (erózna časť) - 0,30 m, akumulčná časť (Akp,A1) - 0,95 m. Erózný transekt sa nachádza na ornej pôde (kukurica), jeho dĺžka je 250 m a svahovitosť sa pohybuje v rozmedzí od 8 do 10°.

V konkrétnych podmienkach záujmovej lokality sme vypočítali potenciálnu a aktuálnu priemernú ročnú stratu pôdnej hmoty (využitie empirického modelu USLE):

Potenciálna strata pôdy:

$$R - 20,20 \quad K - 0,23 \quad L - 3,36 \quad S - 2,88$$

$$A_p = R \cdot K \cdot L \cdot S = \mathbf{44,95 \text{ t/ha/rok}}$$

Aktuálna strata pôdy (kukurica):

$$R - 20,20 \quad K - 0,23 \quad L - 3,36 \quad S - 2,88 \quad C - 0,61 \quad P - 1$$

$$A_a = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C = \mathbf{27,42 \text{ t/ha/rok}}$$

Na záujmovej lokalite sa nachádzajú zrnitostne stredne ťažké pôdy s relatívne nízkym obsahom pôdnej organickej hmoty (regozeme) a vysokým podielom pieskovej frakcie, čo ovplyvňuje ich senzitivitu k erózii. Pri návalových zrážkach je pôda potenciálne extrémne ohrozená eróznou-akumulčnými procesmi. Vypočítaná priemerná potenciálna ročná strata pôdy z hektára predstavuje 44,95 t on. Touto hodnotou sa pôda na sledovanom transekte z pohľadu potenciálnej erózie zaradujeme do kategórie erodovanosti: extrémna (prekročenie limitu straty pôdy uvedeného v zákone č. 220/2004 Z.z.).

Pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu, ktorým bola v tomto odberovom roku kukurica, poklesne hodnota aktuálnej erózie na 27,42 t /ha/rok (kategória erodovanosti: vysoká). V porovnaní s potenciálnou eróziou ide o nižšiu hodnotu, stále však príliš vysokú na to aby sa tam mohla pestovať kukurica, ktorá má veľmi nízku schopnosť chrániť pôdu pred vodnou eróziou. K výraznejšiemu zníženiu intenzity erózie dôjde až kombináciou vhodnej plodiny a optimálne zvolenej protieróznej agrotechniky. Vlastník, alebo užívateľ pôdy by mal v tomto prípade využívať účinnú protieróznou ochranu pôdy aplikovaním ochranných agrotechnických opatrení v zhode so zákonom č. 220/2004.

Distribúcia ^{137}Cs v pôdnych profiloch jednotlivých častí erózneho transektu potvrdzuje prítomnosť vodnej erózie. Nižšie hodnoty koncentrácie cézia namerané v spodnej časti orníčného horizontu na plošine svahu (referenčný pôdny profil) dokumentujú prítomnosť aj orbovej erózie, ktorá sa prejavuje predovšetkým vo vrcholových častiach svahov (tab. 11). Orbová erózia vzniká dôsledkom nesprávnej agrotechniky (orba po spádnicí svahu). V pôdnom profile akumulčnej časti erózneho transektu bola nameraná aktivita ^{137}Cs do hĺbky 0,50 m (akumulácia pôdnych častíc pretransportovaných vplyvom vodnej erózie)

Tab. 11 Profilová distribúcia ^{137}Cs v jednotlivých častiach transektu pri Tachtách

Transekt	^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹)				
	0-10 m	0,30-0,35 m	0,35-0,40 m	0,40-0,45 m	0,45-0,50 m
plošina	4,20	0,30	0,60	-	-
svah	4,40	5,40	0,98	-	-
báza	6,80	7,00	7,60	7,60	0,70

Rozdiel hĺbky výskytu merateľnej koncentrácie ^{137}Cs v pôdnych profiloch akumulčnej (báza) a referenčnej (plošina) časti záujmovej lokality predstavuje v tomto prípade 200 mm. Priemerná ročná strata resp. akumulácia pôdnej hmoty za obdobie datované od najväčšieho spádu cézia (od roku 1963) je 4,17 mm. Priemerná každoročná akumulácia pôdnej hmoty počas obdobia 48 rokov predstavuje pri aktuálnej objemovej hmotnosti ornice

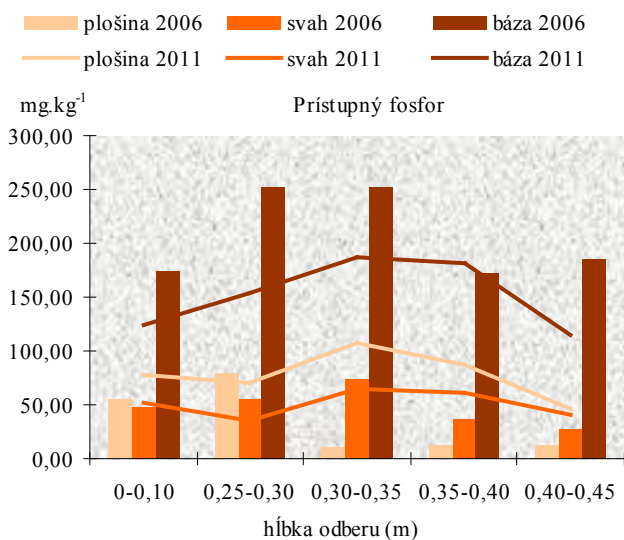
v báze svahu ($1,53 \text{ g.cm}^{-3}$) $63,80 \text{ t on}$ z hektára plochy. Vysoká hodnota recentnej erózie potvrdzuje prítomnosť dlhodobu intenzívne prebiehajúcich eróžno-akumulačných procesov na tejto lokalite.

Na sledovanom úseku sa prejavuje výrazný vplyv vodnej erózie na kvantitatívne zmeny obsahov prístupného fosforu a humusu v priestore. Dochádza k pr iestorovej heterogenite týchto pôdných parametrov nakoľko sú pomerne pevne viazané na povrchy jemného podielu pôdnej hmoty a pri translokácii pôdy v smere pôsobenia vodnej erózie sa premiestňujú spolu s ňou. V akumulačnej časti erózneho transektu (báza) sú obsahy prístupného fosforu a humusu vyššie v rámci celého pôdneho profilu ako v referenčnej a eróznej časti svahu. V podornici (v hĺbke 0,40-0,45 m) bázy svahu sú obsahy týchto dvoch parametrov pre tento pôdny typ (regozem) vysoko na priemerom.

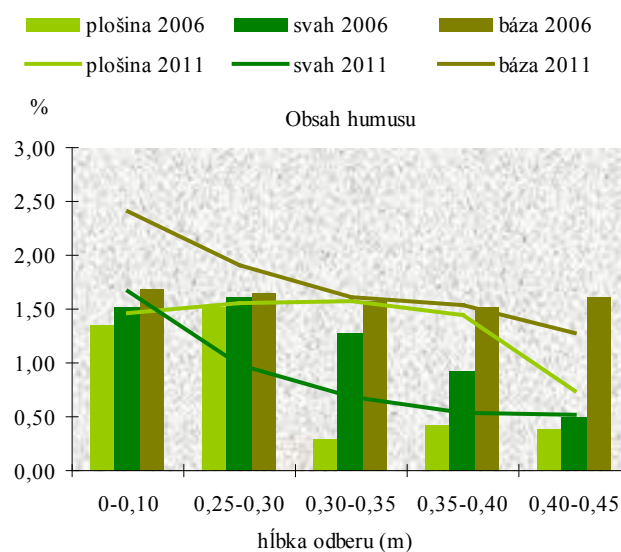
Relatívne nízke obsahy humusu a prístupného fosforu v pôdnom profile vrcholovej časti záujmovej lokality sú pravdepodobne výsledkom orbovej erózie, ktorou môže byť ovplyvnená už aj vrcholová časť transektu (obr. 13, 14). Orbou bola postupne pretransportovaná ornica do nižších častí svahu. Dochádzalo k priorávaniu na fosfor a humus ochudobnenej podornice, čo má za následok výrazné zníženie obsahu prístupného fosforu a humusu v profile referenčnej časti záujmovej lokality.

Časová dynamika zmien sa výraznejšie prejavila len v prípade humusu kedy za sledované obdobie rokov 2006 až 2011 došlo k zvýšeniu jeho obsahu v ornici bázy svahu čo, môže byť spôsobené akumuláciou pôdných častíc humusovej vrstvy pretransportovaných z erózných častí sledovaného územia.

Obr. 13



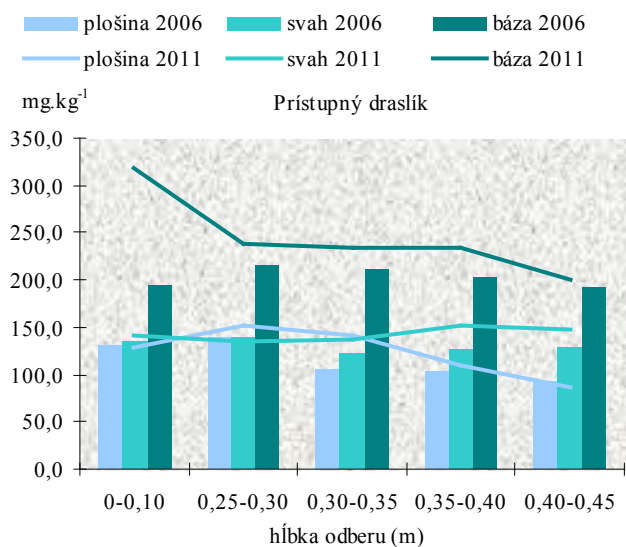
Obr. 14



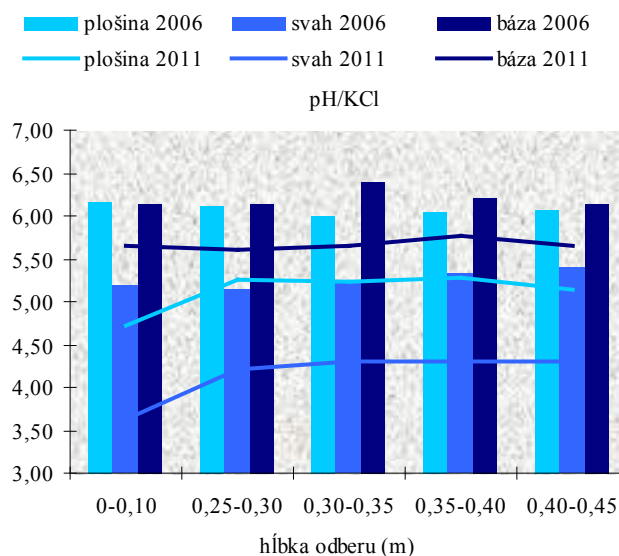
Priestorová distribúciu prístupného draslíka v pôdných profiloch jednotlivých častí erózneho transektu je výsledkom intenzívneho vplyvu vodnej a v poslednej dobe aj orbovej erózie na pôdu (podobne ako v prípade prístupného humusu) (obr. 15). Pokým orbovou eróziou je ovplyvnená predovšetkým vrcholová časť lokality (nižšie obsahy draslíka v porovnaní s eróznou časťou), vodná erózia sa prejavila najmä na svahu. Výrazne vyššie obsahy prístupného draslíka boli namerané v rámci celého pôdneho profilu v báze svahu (čo korešponduje s hrúbkou translokovanej pôdnej hmoty určenej metódou rádioaktívneho izotopu cézia). Vývoj tohto makroelementu počas rokov 2006 až 2011 potvrdzuje prítomnosť intenzívnej erózie, nakoľko došlo k výraznému zvýšeniu jeho obsahu v ornici akumulačnej časti.

Na základe hodnôt výmennej pôdnej reakcie z roku 2006 sa pôda monitorovaného transektu zaraďuje do kategórie slabokyslá (obr. 16). Výraznejší pokles pH sme zaznamenali v eróznej časti svahu, kde je pôda kyslá. V týchto častiach záujmovej lokality sa na povrch (v dôsledku straty vrchnej vrstvy pôdy) dostáva kyslejší pôdotvorný substrát. Nevýrazné zmeny v priebehu pôdnej reakcie v jednotlivých častiach transektu môžeme pripísať prirodzenej priestorovej variabilite tohto parametra. Počas rokov 2006 až 2011 (časová dynamika zmien) došlo v eróznej časti transektu k výraznému zníženiu hodnôt výmennej pôdnej reakcie, čo je pravdepodobne dôsledkom intenzívnej vodnej erózie v tomto období, kedy sa na povrch dostáva silne kyslé podložie.

Obr. 15



Obr. 16



Na celom sledovanom eróznom transekte sa nachádza stredne ťažká (piesčito-hlinitá, piesčito-ílovito-hlinitá) pôda, ktorej pôdotvorným substrátom sú piesky (tab. 12). Na základe zrnitostného rozboru sme v pôdnych profiloch jednotlivých častí sledovaného územia stanovili výraznú prevahu pieskovej zrnitostnej frakcie (0,05-2,0 mm). Vplyvom eróznokumulatívnych procesov dochádza v báze svahu k akumulovaniu najmä pieskového a prachového zrnitostného podielu pôdy.

Pôda záujmovej lokality je charakteristická vyššími hodnotami objemovej hmotnosti a nižšími hodnoty celkovej pórovitosti, čo je charakteristické pre tento pôdny typ. Objemová hmotnosť a pórovitosť ornice aj podornice prekračuje svojimi hodnotami limit zhutnenia pôdy (>1,55 g.cm⁻³ pri celkovej pórovitosti < 42 obj. %) a nevytvára optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu (Hanes a kol., 1996) pre rast a vývoj rastlín (tab. 13). Je to spôsobené vysokým zastúpením frakcie piesku, kedy sa v pôde nedokážu vytvoriť dostatočne pevné pôdne agregáty.

Tab. 12 Zrnitostné frakcie pôdy transektu pri Tachtách

Transekt Voderady	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	15,09	21,25	63,67	piesčito-hlinitá
	0,25-0,30	13,18	23,25	63,57	piesčito-hlinitá
	0,30-0,35	15,45	20,11	64,45	piesčito-hlinitá
	0,35-0,40	14,36	21,62	64,02	piesčito-hlinitá
	0,40-0,45	17,09	24,20	58,70	piesčito-hlinitá
svah	0-0,10	17,56	24,60	57,84	piesčito-hlinitá
	0,25-0,30	22,13	26,27	51,60	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,30-0,35	23,14	27,78	49,08	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,35-0,40	24,25	27,79	47,95	piesčito-ílovito-hlinitá
	0,40-0,45	23,78	27,04	49,18	piesčito-ílovito-hlinitá
báza	0-0,10	16,09	20,70	63,21	piesčito-hlinitá
	0,25-0,30	16,85	21,74	61,42	piesčito-hlinitá
	0,30-0,35	17,44	21,96	60,60	piesčito-hlinitá
	0,35-0,40	14,75	21,94	63,31	piesčito-hlinitá
	0,40-0,45	16,13	27,11	56,76	piesčito-hlinitá

Tab. 13 Základné fyzikálne vlastnosti pôdy transektu pri Tachtách

Transekt Voderady	Hĺbka (m)	Objemová hmotnosť (g.cm ⁻³)		PO (obj. %)	
		2006	2011	2006	2011
plošina	0-0,10	1,34	1,56	50,10	40,75
	0,30-0,35	1,57	1,66	42,10	37,34
svah	0-0,10	1,32	1,53	50,20	42,36
	0,30-0,35	1,65	1,59	37,79	41,02
báza	0-0,10	1,39	1,54	47,60	41,54
	0,30-0,35	1,65	1,69	37,80	36,55

PO - celková pórovitosť

Záver

Mapa potenciálnej vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach SR slúži ako podklad pre plošné vyjadrenie jednotlivých kategórií eróznej ohrozenosti (erodovanosti pôdy). Základom pre jej tvorbu bol model univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty USLE modifikovaný pre podmienky Slovenska v prostredí GIS. Potenciálna vodná erózia (rôznej intenzity od strednej až po extrémnu) bola zistená na 957 173 ha poľnohospodárskych pôd Slovenska, čo predstavuje takmer 40% z ich celkovej výmery.

V zhode s cieľmi čiastkovej úlohy sme príklade monitorovaných lokalít pri Suchej Doline, Kežmarku, Banskej Štiavnice a Tachtách sme sledovali negatívny vplyv vodnej erózie na pôdu (prejavujúci sa on-site) v priestore (priestorová heterogenita) a v čase (časová dynamika). Využívali sme nasledovné metódy:

- metódu výpočtu potenciálnej a aktuálnej straty pôdy podľa rovnice USLE
- metódu stanovenia intenzity recentnej erózie využitím rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs (ako značkovacieho prvku), ktorého priestorovú distribúciu stanovujeme v pôdnych profiloch sond lokalizovaných po spádnicí erózneho transektu
- metódu sledovania kvantitatívnych zmien vybraných pôdnych parametrov (obsah humusu, prístupného fosforu a draslíka, zrnitostné zloženie, pH/KCl, fyzikálne vlastnosti) v priestore a čase

Numerické výsledky potenciálnej straty pôdy (potenciálnej erózie) potvrdzujú prítomnosť extrémnej erózie na všetkých monitorovaných záujmových lokalitách (prekročenie limitu straty pôdy uvedeného v zákone 220/2004 Z.z.). Zohľadnením konkrétnej pestovanej plodiny (aktuálna erózia) hodnoty erózie poklesnú na hodnoty, ktoré sú ovplyvnené rôznym ochranným vplyvom tej-ktorej pestovanej plodiny. Slabý protierózný účinok kukurice sa prejavil na transektoch pri Suchej Doline, Banskej Štiavnici a Tachtách, kedy aj po výpočte aktuálnej erózie sú hodnoty straty pôdy stále extrémne vysoké. Na transekte pri Kežmarku sa prejavil relatívne dobrý ochranný vplyv hustosiatych obilnín (jarný jačmeň), kedy došlo k zníženiu extrémnej erózie na strednú.

Recentná erózia prebieha na záujmových lokalitách v posledných dekádach, teda v období s najväčšou intenzifikáciou poľnohospodárstva. Pre jej zhodnotenie využijeme metódu stanovenia priestorovej variability rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs v rámci pôdných profilov jednotlivých častí erózných transektov. Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že na všetkých sledovaných lokalitách dlhodobo pôsobia eróžno-akumulačné procesy. Hodnoty priemernej ročnej straty pôdnej hmoty (resp. akumulácie v báze svahu), sú v porovnaní s hodnotami aktuálnej erózie v niektorých prípadoch nižšie (Kežmarok, Banská Štiavnica), v iných prípadoch sú vyššie. Musíme si uvedomiť skutočnosť, že sa jedná o eróziu za obdobie približne 48 rokov (od nameraného najvyššieho spádu cézia v roku 1963). Počas tohto časového úseku môže byť intenzita erózie jeden rok extrémna, ale na druhý rok (v závislosti od pestovanej plodiny, použitej agrotechniky, množstva a intenzity zrážok atď.) môže, výrazne poklesnúť až na minimálnu hodnotu.

Priestorová distribúcia prístupného fosforu a humusu v pôde je vhodným indikátorom sledovania vplyvu vodnej erózie na pôdu, nakoľko sú tieto parametre pomerne pevne asociované na povrchy jemného podielu pôdy. Pri odnose a následnej akumulácii pôdnej hmoty vplyvom erózie dochádza aj k ich translokácii. Kvantitatívne zmeny prístupného fosforu a humusu v priestore vplyvom vodnej erózie sme zaznamenali na všetkých monitorovaných lokalitách, výsledkom čoho je ochudobnenie pôdy erózných častí svahov o tieto parametre a naopak ich akumulácia (zvýšenie obsahov) v svahových depresiách. Zaujímavá je prítomnosť orbovej erózie (Suchá Dolina, Tachty) kedy nesprávnou agrotechnikou (orba po spádnici svahu) dochádza k transportu ornice aj z vrcholových častí záujmových lokalít (zníženie obsahu prístupného fosforu a humusu).

Zhodnotenie vývoja zmien obsahov fosforu a humusu v pôde za obdobie 2006 až 2011 (časová dynamika) je dosť problematické, nakoľko takmer na všetkých monitorovaných transektoch sme zaznamenali celoplošné zvýšenie obsahov fosforu v ornici, čo môže byť primárne ovplyvnené plošným používaním priemyselných NPK hnojív a nie vplyvom vodnej erózie.

Vplyv vodnej erózie na priestorovú distribúciu prístupného draslíka sa prejavil jeho výraznou akumuláciou v báze svahu na lokalitách Suchá Dolina a Tachty. V týchto dvoch prípadoch sa tu prejavuje aj vplyv erózie z orania, kedy je orbou po svahu ovplyvnená predovšetkým vrcholová časť lokality (nižšie obsahy draslíka v ornici v porovnaní s eróznou časťou). Podobne ako v prípade prístupného fosforu je kvôli použitiu NPK hnojív skresľujúce hodnotenie časovej dynamiky zmien obsahov draslíka. Za sledované obdobie rokov 2006 až 2011 došlo k celoplošnému zvýšeniu obsahu draslíka v ornícovom horizonte.

Pôdy záujmových lokalít sa vyvinuli na rôznych substrátoch (polygenetické hliny, glaciofluvialne sedimenty, piesky), ktoré sa veľkou mierou podieľajú na nameraných hodnotách výmennej pôdnej reakcie. Za sledované obdobie rokov 2006 a 2011 došlo k výraznejším zmenám hodnôt pôdnej reakcie (zníženiu hodnôt pH v eróznej časti svahu) len na transektoch Suchá Dolina a Tachty. Vplyvom vodnej erózie dochádza k transportu pôdných častíc ornice do svahových depresií, pričom sa na povrch dostáva kyslejšie podložie.

Výraznejší vplyv erózie na priestorovú heterogenitu zrnitostných frakcií v pôdnych profiloch jednotlivých častiach erózných transektov sa prejavil zvýšením percentuálneho zastúpenia prachovej a pieskovej frakcie pôdy v akumuláčnych častiach monitorovaných území. Je to dôsledok translokácie pôdnej hmoty, kedy práve tieto zrnitostné frakcie ľahšie podliehajú vplyvu vody. Ílová frakcia pôdy sa vo väčšej miere podieľa pri formovaní vodostálejších pôdnych agregátov.

Objemová hmotnosť a pórovitosť ornice na všetkých sledovaných transektoch (okrem transektu pri Tachtách) neprekračuje limity zhutnenia pôdy stanovený pre jednotlivé pôdne druhy (220/2004 Z.z.) a vytvára pre väčšinu poľnohospodárskych plodín optimálne podmienky vodného, vzdušného a teplotného režimu. Vyššie hodnoty objemovej hmotnosti a nižšie hodnoty pórovitosti v podornici všetkých monitorovaných lokalít sú výsledkom nepreorávania týchto častí pôdnych profilov.

Na záver môžeme konštatovať, že intenzívne eróznno-akumulačné procesy dlhodobu prebiehajú na všetkých monitorovaných lokalitách, ktoré sme vyhodnocovali v tomto roku (Suchá Dolina, Kežmarok, Banská Štiavnica, Tachty). Túto skutočnosť potvrdzujú aj analýzy rádioaktívneho izotopu cézia (recentná erózia), ako aj výpočet priemernej ročnej straty pôdy podľa rovnice USLE. Výrazné zmeny priestorovej distribúcie predovšetkým prístupného fosforu, humusu a pôdnej reakcie, kedy v erózných častiach transektov sme zaznamenali významné zníženie obsahov týchto parametrov v pôdnych profiloch (v prípade pH došlo k zníženiu hodnôt pôdnej reakcie), sú výsledkom negatívneho vplyvu vodnej erózie na pôdu. Prítomnosť orbovej erózie kedy nesprávnou agrotechnikou (orba po spádnici svahu) dochádza k transportu ornice aj z vrcholových častí záujmových lokalít, čoho výsledkom je zníženie obsahu prístupného fosforu a humusu bola pozorovaná na transektoch Suchá Dolina, Tachty.

Výpočtom aktuálnej erózie sme zistili, že kukurica, ktorá má nedostatočnú protieróznou účinnosť, je nevhodnou plodinou v týchto erózne senzitívnych lokalitách a nedokáže znížiť intenzitu erózie na požadovanú úroveň. V zhode so zákonom o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (220/2004 Z.z) je nevyhnutné v konkrétnych podmienkach záujmových lokalít pestovať plodiny s dobrým protieróznym účinkom a zároveň využívať účinnú protieróznou ochranu uvedenú v spomínanom zákone.

Použitá literatúra

- Fiala, K. a kol., 1999: Záväzné 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., 1973: Püdoznanství 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 137Cs. Vedecké práce č. 17. VÚPÜ 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., Šúri, 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 ¹³⁷Cs profile distribution on selected soil transect. Agriculture (Poľnohospodárstvo), Journal for agriculture sciences, 53, 2007 (1), Istia Nitra, p. 23-30
- Šály, R., a kol. 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. VÚPOP Bratislava, 2000, 76 s., ISBN – 80-85361-70-1
- Walling, D.E., Quine, T.A., 1993: Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation. Handbook for the application of the caesium-137 technique. UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579, University of Exeter, 1993
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978: Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning, Agricultural Handbook 537, USDA, 1978

6.7 Hodnotenie zmien a trendov vlastností pôd využívaných na energetické účely

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie má veľký význam nielen v oblasti ochrany životného prostredia, ale aj v oblasti ekonomickej a strategickej (Pierce, Lal, 1991, Pierce, Larson, 1993). Za energetické plodiny sa označujú rastliny bylinového a drevinového charakteru. Energetické rastliny sa delia do troch skupín, a to na energetické byliny, rýchlorastúce dreviny a poľnohospodárske plodiny (Povraz a i., 2010). Podpora pestovania energetických plodín je uvedená aj v uzneseniach vlády SR a s ich pestovaním sa počíta aj v schválenom Akčnom pláne využívania biomasy na roky 2008 – 2013 a v prijatom koncepčnom materiáli Dlhodobá stratégia využívania poľnohospodárskych a nepoľnohospodárskych plodín na priemyselné účely. Možnosti pestovania energetických plodín na Slovensku sú pomerne rozsiahle. V roku 2009 sa celkový dostupný potenciál biomasy na Slovensku odhadoval na viac ako 38 PJ, z čoho zhruba 28 % pripadá na fytomasu. Energetický potenciál, ktorý je obsiahnutý v rýchlorastúcich rastlinách závisí od výnosov a energetického obsahu v suchej hmote (Straka, 2009). K primárnej funkcii poľnohospodárstva, ktorou je zabezpečenie výživy ľudí pribudla nová, ktorou je využívanie poľnohospodárskych výstupov pre energetické účely. Táto funkcia poľnohospodárstva je integrovaná v spracovaných výhladoch a prognózach ďalšieho rozvoja poľnohospodárstva, stáva sa súčasťou koncepčných, strategických a legislatívnych nástrojov štátu a EÚ (Kriššák a i., 2006, Úradný vestník EÚ, 2009). V súčasnosti biomasa pokrýva asi 4 % z celkovej energetickej potreby EÚ, aby došlo k naplneniu európskych cieľov a záväzkov týkajúcich sa využívania obnoviteľných zdrojov energie, tento podiel by sa mal do roku 2030 zvýšiť až na 12 %.

Pestovanie plodín na energetické účely môže mať vplyv nielen na chemizmus pôdy, ale aj na jej fyzikálne vlastnosti, ako aj na proces erózie. Pôdna organická hmota, ktorej základnou zložkou je organický uhlík, je dôležitým faktorom pre tvorbu pôdnej štruktúry a stabilných agregátov, ovplyvňuje infiltračnú schopnosť pôdy, slúži ako pufrálny systém pri stabilizácii hodnôt pôdnej reakcie a ako energetický zdroj pre pôdne mikroorganizmy. Negatívny vplyv na chemizmus a fyzikálne vlastnosti pôdy môže viesť k znižovaniu produkčnej schopnosti pôdy. Mnohé poľnohospodárske plodiny využívané na účely energetiky, napríklad cukrová repa, nemajú dostatočný protierózny efekt a je potrebné ich striedanie s plodinami, ktoré takýto vplyv majú. Spôsob využívania biomasy ako aj spôsob a miera pestovania energetických plodín nesmie viesť k degradácii pôdy. Preto je dôležité poznať životný cyklus biomasy v kontexte so všetkými zložkami agroekosystému.

Cieľom trvalo udržateľného rozvoja spojeného s efektívnym využívaním prírodných zdrojov je zabezpečiť, aby využívanie prírodných zdrojov a s tým súvisiaci dopad na životné prostredie, teda aj na kvalitu pôdy, nepresiahol únosnú kapacitu. Preto sú nevyhnutné metodické nástroje regulujúce väzby medzi ekonomickým rozvojom a spotrebou prírodných zdrojov, ku ktorým patrí aj pôda. Pestovanie rastlín na energetické účely si vyžaduje spoluprácu pôdohospodárov, pedológov, odborníkov z rezortu životného prostredia pre hodnotenie environmentálnych vplyvov pestovania, ako aj odborníkov z rezortu financií a legislatívy. V súčasnosti nie je metodicky podložený spôsob kontroly kvality pôdy v priebehu a po ukončení pestovania rýchlorastúcich drevín po uskutočnení spätnej rekultivácie. Pri pestovaní rýchlorastúcich drevín môže dôjsť k značným zmenám vlastností pôdy, a to vplyvom rastúcich drevín na živinový potenciál, na vodný režim pôdy, pod zemou sa vytvára veľká hmota koreňového systému, môže dôjsť ku kompácii pôdy, zmene fyzikálnych vlastností (fyzikálne vlastnosti pôdy, vplyv rozsiahleho koreňového systému.). Hodnotenie indikátorov kvality pôdy pri novom spôsobe využívania poľnohospodárskych pôd je nevyhnutnou súčasťou ich správneho využívania na energetické účely.

Cieľom riešenia čiastkovej úlohy je sledovanie stavu a vývoja indikátorov kvality pôdy využívanej na energetické účely, t.j. na pestovanie energetických plodín a na využívanie biomasy z pôdy na energetické účely.

Materiál a metóda

Rýchlorastúce dreviny sú energetické rastliny drevinového charakteru s krátkou dobou obrastania a hmotnostným prírastkom prevyšujúcim priemerný prírastok hmoty ostatných drevín. Pri stanovení vplyvu pestovania rýchlorastúcich drevín na kvalitu pôdy sa zameriavame okrem produkčnej funkcie na akumuláciu, filtračnú a transportnú funkciu pôdy. Z hľadiska ochrany hydrosféry a rastlinnej produkcie patrí práve schopnosť pôdy filtrovať potenciálne rizikové prvky k najdôležitejším funkciám pôdy (Demo a i., 1998). Monitorovanie vybraných dynamických indikátorov kvality pôdy (indikátorov produkčnej funkcie - makro- a mikroživiny, obsah a kvalita organickej hmoty v pôde, indikátory kompaktie, celkový dusík, indikátorov pufrácie funkcie – hodnoty pH (aktívnej a výmennej) a filtračnej funkcie – potenciál anorganických polutantov a potenciál sorpcie pôdy) bude prebiehať v špeciálnej sieti lokalít na pôdach, využívaných na energetické účely. Monitoring bude prebiehať na lokalitách, ktoré sa využívajú na pestovanie rýchlorastúcich drevín, na lokalitách, ktoré sa využívajú na pestovanie energetických plodín (napr. repka olejná) a na lokalitách, z ktorých sa zberá trávna biomasa na energetické účely.

Monitorovacia lokalita je kruhového tvaru o polomere 10 m a celkovej ploche 314 m² (Fiala a kol., 1999). Každá monitorovacia plocha je v strede charakterizovaná pedologickou sondou. Stredy monitorovacích lokalít sú geodeticky zamerané a zdokumentované súradnicami X, Y vo WGS 84. Pôdne vzorky sme odobrali z hĺbky: 0-10 cm, 20-30 cm, 35-45 cm a zo substrátu. Kľúčové monitorovacie lokality slúžia pre monitorovanie pôd v 1-ročných intervaloch aj so zohľadnením malopriestorovej variability parametrov pôd v rámci lokality, preto sa odber vzoriek uskutočnil nielen zo stredu monitorovacej lokality (vzorka č. 1), ale aj zo štyroch ďalších miest v tvare písmena Z, pričom vzorka č. 1 sa nachádza v strede písmena. Pôdne vzorky sa odoberajú tak, aby nedošlo k zmiešaniu dvoch rozdielnych pôdnych horizontov. Ojedinele sa totiž môže v uvedených rozpätiach nachádzať ostrá hranica medzi pôdnymi horizontami. V takýchto prípadoch sa hĺbka odberu posúva pod alebo nad hranicu medzi horizontami. Okrem odberu pôdnych vzoriek na chemický rozbor sme odobrali aj fyzikálne valce o objeme 100 cm³, 2 valčeky z hĺbky 0-10 cm a 2 valčeky z hĺbky 30-35 cm.

V roku 2011 sme sa zamerali na monitorovanie lokality (lokalita Kuchyňa, 2. rok monitorovania) využívanej na pestovanie rýchlorastúcej vrbky na energetické účely. Monitorovacia lokalita je lokalizovaná v oblasti Záhorskej nížiny. Lokalita reprezentuje čiernicu, ide o kontaminovanú pôdu, ktorej orá patrí k pôdám vhodným na pestovanie rýchlorastúcich drevín (podľa Metodického usmernenia MP SR č. 3187/2007-430 sú to skupiny kvality pôdy 6-9) (Gonda a i., 2010). Na ploche je 4-ročný porast rýchlorastúcej vrbky pestovanej na energetické účely. V tomto roku sme vybrali a charakterizovali druhú monitorovaciu lokalitu, ktorá sa nachádza v odlišných pôdno - ekologických podmienkach ako monitorovacia lokalita Kuchyňa.

Výsledky a diskusia

Lokalita Kuchyňa sa nachádza v teplej pahorkatinovej klimatickej oblasti. Patrí k stredne ťažkým pôdam, hlinitým. V čase odberu vzoriek bol na lokalite 4-ročný porast vrbky pestovanej na energetické účely. Vyšší obsah skeletu je v hĺbke 35 – 45 cm a to 80 % .

Lokalita Kuchyňa patrí k pôdam so slabo kyslou až kyslou hodnotou pôdnej reakcie, predovšetkým v hĺbke 0 – 10 cm, pričom hodnota pôdnej reakcie len mierne stúpa s rastúcou hĺbkou odberu a aj v substráte patrí do slabo kyslej oblasti. Vyšší obsah organickej hmoty nižšej kvality v celom profile spolu s hodnotou pôdnej reakcie a stredným obsahom prístupných živín zaraďujú túto lokalitu k stredne rezistentným pôdam vzhľadom k acidifikácii (Makovníková, 2007).

Lokalita Kuchyňa, čiernica na nekarbonátových fluviálnych substrátoch



Limitné obsahy rizikových prvkov na danej lokalite hodnotené podľa Zákona 220/2004 Z.z. prekračuje kadmium, zinok a nikel. Obsah Cd je najvyšší v hĺbke 0 – 10 cm a smerom k substrátu klesá, výrazne však prekračuje limitnú hodnotu v hĺbke 0 – 10 cm, 20 – 30 cm aj 35 – 45 cm. Celkové obsahy Ni a Zn v celom profile výrazne prekračujú nadlimitné hodnoty, lokalita Kuchyňa patrí medzi kontaminované lokality.

Hodnota pH v slabo kyslej až kyslej oblasti, stredný obsah organickej hmoty v pôde spolu s celkovým obsahom anorganických polutantov zaraďujú lokalitu Kuchyňa k pôdam so strednou až nízkou kategóriou pôd imobilizovať anorganické polutanty a k pôdam so strednou až vysokou kategóriou pôd transportovať anorganické polutanty (Makovníková a i., 2007).

Zmeny indikátorov kvality pôdy na lokalite Kuchyňa

V tabuľke 1a sú uvedené hodnoty indikátorov kvality pôdy z lokality Kuchyňa v hĺbke 0 – 10 cm v roku 2010 a v roku 2011 (vzorky odobraté z 5-tich odberových miest). V tabuľke 1b sú uvedené hodnoty indikátorov kvality pôdy z lokality Kuchyňa v hĺbke 0 – 10 cm v roku 2010 a v roku 2011 (vzorka odobratá zo stredu monitorovacej lokality). V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty indikátorov kvality pôdy z lokality Kuchyňa v hĺbke 35 – 45 cm v roku 2010 a v roku 2011 (vzorka odobratá zo stredu monitorovacej lokality). V tomto období neboli aplikované agrochemické vstupy do pôdy (hnojivá, postreky).

Tab. 1a Indikátory kvality pôdy v hĺbke 0 – 10 cm (z 5-tich odberových miest).

parameter	rok 2010			rok 2011			
	min	max	x	min	max	x	
pH v H ₂ O	5,62	5,91	5,81	5,70	6,03	5,86	
pH v KCl	5,03	5,40	5,21	4,71	5,22	4,98	
pH v CaCl ₂	5,03	5,36	5,23	5,17	5,72	5,46	
výmenné kationy v cmol(p+).kg ⁻¹	Na ⁺	0,142	0,160	0,150	0,080	0,140	0,116
	K ⁺	0,380	0,570	0,506	0,330	0,430	0,303
	Ca ²⁺	9,390	13,000	11,230	11,900	17,700	15,080
	Mg ²⁺	0,690	1,020	0,890	0,920	1,480	1,152

Tab. 1b Indikátory kvality pôdy v hĺbke 0 – 10 cm (zo stredu monitorovacej lokality)

parameter		rok 2010	rok 2011
Cox v %		2,318	1,940
makroživiny v mg.kg ⁻¹ (Mehlich III.)	P	73,70	44,00
	K	163,00	184,00
	Mg	92,70	92,00
stopové prvky v pôde v mg.kg ⁻¹ (celkový obsah v lúčavke kráľovskej)	Cd	1,016	0,774
	Zn	199,000	156,000
	Ni	51,500	42,300
stopové prvky v pôde v mg.kg ⁻¹ (vo výluhu 1 M NH ₄ NO ₃)	Cd	-	0,009
	Zn	-	0,320
	Ni	-	0,176

Tab. 2 Indikátory kvality pôdy v hĺbke 35 – 45 cm (zo stredu monitorovacej lokality)

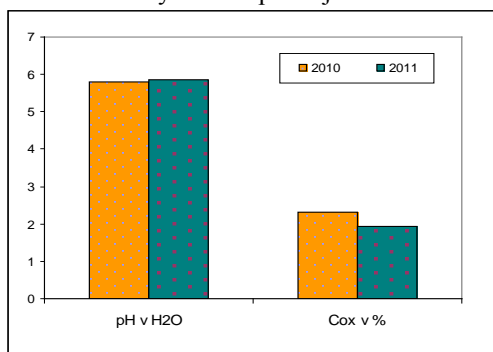
parameter		rok 2010	rok 2011
pH v H ₂ O		5,80	6,04
pH v KCl		5,21	4,89
pH v CaCl ₂		5,31	5,56
Cox v %		1,958	1,730
makroživiny v mg.kg ⁻¹ (Mehlich III.)	P	43,500	17,700
	K	106,00	89,500
	Mg	119,000	117,000
stopové prvky v pôde v mg.kg ⁻¹ (celkový obsah v lúčavke kráľovskej)	Cd	0,822	0,899
	Zn	287,000	220,000
	Ni	69,600	59,500
stopové prvky v pôde v mg.kg ⁻¹ (vo výluhu 1 M NH ₄ NO ₃)	Cd	-	0,002
	Zn	-	0,010
	Ni	-	0,099

V hĺbke 0 – 10 cm došlo k zmenám v obsahu výmenných bázičických kationov, znížil sa obsah výmenného sodíka o 22 % a obsah výmenného draslíka o 40 % v porovnaní rokov 2010 a 2011, naopak zvýšil sa obsah výmenného vápnika o 34 % a výmenného horčíka o 29 %. Nedošlo k zmene pôdnej reakcie, avšak znížil sa obsah organickej hmoty v pôde a to o 0,378 (obr. 2a). V prípade makroživín sa znížil obsah fosforu o 40 % a mierne zvýšil obsah draslíka o 14 % (obr. 2b). Pozitívne zmeny sme zaznamenali pri celkovom obsahu rizikových prvkov, znížil sa obsah kadmia o 24 % (obr. 2c), obsah zinku o 22 % ako aj obsah niklu a to o 18 % v porovnaní s rokom 2010. Naďalej sa však jedná o nadlimitné obsahy týchto prvkov podľa Zákona o pôde 220/2004 Z.z..

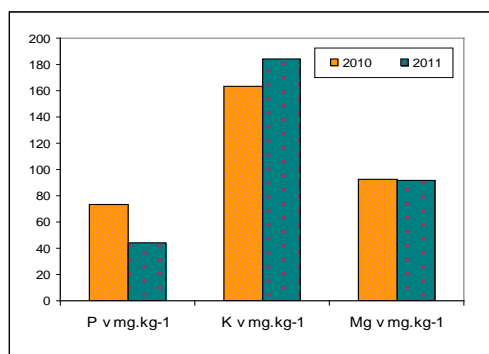
V hĺbke 35 – 45 cm sme porovnávali len zmeny v prípade jedného konkrétneho zameraného odberového miesta (tab. 2) a to v strede monitorovacej lokality. V priebehu jedného roka pestovania došlo k poklesu obsahu organickej hmoty v pôde o 0,228 a k výraznému zníženiu obsahu makroživín v prípade draslíka a to o až 60 %, čo poukazuje na zvýšené nároky vŕby na prísun draslíka. Zmeny v obsahu rizikových prvkov sme zaznamenali aj v hĺbke 35 – 45 cm, a to zníženie celkového obsahu zinku o 23 % a celkového obsahu niklu o 16 %.

Zmeny indikátorov kvality pôdy sú na obr. 2a- 2d

Obr. 2a Zmeny hodnôt pôdnej reakcie



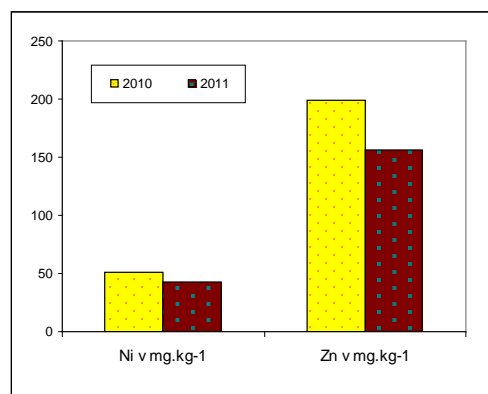
Obr. 2b Zmeny v obsahu makroživín P, K, Mg



Obr. 2c Zmeny stopových prvkov v pôde - Cd



Obr. 2d Zmeny stopových prvkov v pôde- Ni, Zn



V priebehu zatiaľ ročného sledovania využívania poľnohospodárskej pôdy na pestovanie energetických plodín pozorujeme negatívny trend vo vývoji obsahu organickej hmoty v pôde a pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu rizikových prvkov v pôde. Remedialná schopnosť vŕby vzhľadom k rizikovým prvkom sa prejavila znížením obsahu kadmia, zinku a niklu na danej lokalite. Vŕba patrí k potenciálne rezistentným plodinám vzhľadom k vysokým obsahom rizikových prvkov. Obsahy niklu a zinku vo výtahu 1 M NH₄NO₃ sú vyššie ako kritické limitné hodnoty vo vzťahu pôda – rastlina podľa Zákona 220/2004, negatívny vplyv na porast vŕby však nebol zaznamenaný.



Lokalita Krivá-Liesek sa nachádza v Oravskej kotline v Podhoľno-Magurskej oblasti v mierne chladnej a mierne vlhkej klimatickej oblasti v nadmorskej výške 551 m n.m.. Na monitorovacej lokalite je fluvizem kultizemná, v čase odberu bola hladina podzemnej vody v hĺbke 165 cm. Od roku 1994 je na lokalite porast vrbý pestovanej na energetické účely, v čase odberu vzorky bol porast zrezaný, nové výhonky mali cca 90 - 100 cm. Na danej lokalite su vysadené odrody vrbý Ulv, Orm a Rapp (Daniel, Habovštiak, 2011). Pri správnom obhospodarovaní je možné vrbový porast zberať každé štyri roky pričom celková produkčná schopnosť porastu je okolo 30 rokov. V podmienkach strednej Oravy sa celkový prírastok drevnej hmoty za štvorročné obdobie pohyboval od 23 do 26 ton na hektár (Daniel, Habovštiak, 2011).

Fyzikálne vlastnosti

V tabuľke 3 sú štatistické parametre základných fyzikálnych vlastností pôdy z lokality Krivá-Liesek v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm, indikátory kvality pôdy sú v tab. 4.

Tab. 3 Fyzikálne vlastnosti pôdy

parameter	hĺbka 0 – 10 cm			hĺbka 35 – 45 cm		
	min	max	x	min	max	x
objemová hmotnosť v g.cm ⁻³	1,144	1,262	1,216	1,333	1,490	1,429
merná hmotnosť v g.cm ⁻³	2,610	2,610	2,610	2,640	2,640	2,640
vlhkosť v % objemu	28,084	38,139	32,53	21,623	33,489	27,341
nekapilárna pórovitosť v % objemu	8,256	11,665	10,192	5,811	11,336	9,581
celková pórovitosť v % objemu	51,638	56,152	53,326	43,555	49,491	45,862
maximálna kapilárna kapacita v % objemu	37,501	40,781	39,371	27,341	37,736	32,357
VzK – minimálna vzdušná kapacita v % objemu	10,857	16,320	13,954	7,244	20,014	13,505

min – minimum, max – maximum, x – aritmetický priemer

Tab. 4 Indikátory kvality pôdy v hĺbke 0 – 10 cm a 35- 45 cm

parameter		hĺbka 0 – 10 cm			hĺbka 35 – 45 cm		
		min	max	x	min	max	x
pH v H ₂ O		6,87	7,04	6,96	6,75	7,08	6,90
pH v KCl		6,22	6,54	6,47	6,37	6,91	6,62
pH v CaCl ₂		6,73	6,85	6,80	6,67	7,00	6,80
výmenné kationy v cmol(p+).kg ⁻¹	Na ⁺	0,106	0,250	0,200	-	-	-
	K ⁺	0,250	0,307	0,290	-	-	-
	Ca ²⁺	12,200	17,800	12,467	-	-	-
	Mg ²⁺	1,830	1,930	1,860	-	-	-
Cox v %		2,08	2,44	2,06	1,27	1,45	1,36
Q ₆ ⁴		5,99	6,71	6,32	5,85	6,38	6,14
makroživiny v mg.kg ⁻¹ (Mehlich III.)	P	15,20	37,00	26,50	7,72	31,30	19,30
	K	102,00	125,00	110,00	63,00	82,90	76,40
	Mg	170,000	230,00	185,00	180,00	222,00	200,00
stopové prvky v pôde v mg.kg ⁻¹ (celkový obsah v lúčavke kráľovskej)	As	5,200	6,360	6,110	5,940	6,830	6,540
	Cd	0,246	0,330	0,298	0,262	0,355	0,295
	Co	5,000	5,580	5,190	5,000	5,470	5,180
	Cr	19,900	25,200	20,160	19,100	26,800	19,900
	Cu	12,500	43,000	22,700	15,400	14,000	14,500
	Ni	21,700	28,100	21,900	21,400	29,000	21,900
	Pb	8,470	11,800	9,910	9,350	11,400	9,430
	Zn	50,800	53,400	48,900	48,000	54,600	50,900
	Hg	0,041	0,057	0,049	0,045	0,052	0,049
	Se	0,258	0,335	0,262	0,277	0,334	0,288

Lokalita Krivá-Liesek patrí k pôdam so slabo kyslou až neutrálnou hodnotou pôdnej reakcie, predovšetkým v hĺbke 0 – 10 cm, pričom hodnota pôdnej reakcie len mierne stúpa s rastúcou hĺbkou odberu a aj v substráte patrí do slabo kyslej oblasti. Vyšší obsah organickej hmoty nízkej kvality v celom profile spolu s hodnotou pôdnej reakcie a stredným obsahom prístupných živín zaraďujú túto lokalitu k stredne rezistentným pôdam vzhľadom k acidifikácii (Makovníková, 2007).

Celkový obsah anorganických polutantov na danej lokalite sme hodnotili v súlade so zákonom 220/2004 Z.z. Obsah všetkých sledovaných prvkov je podlimitný. V prípade As, Se a Zn ich celkový obsah len mierne vertikálne stúpa, výraznejší pokles s hĺbkou sme zaznamenali len v prípade celkového obsahu Cu. Distribúcia ostatných rizikových prvkov v oboch hĺbkach je porovnateľná a nezaznamenali sme výrazné rozdiely.

Hodnota pH v slabo kyslej až neutrálnej oblasti, stredný obsah organickej hmoty v pôde nízkej kvality spolu s podlimitným celkovým obsahom anorganických polutantov radia túto lokalitu k pôdam s vysokým potenciálom imobilizácie a s nízkym potenciálom transportu vzhľadom na anorganické polutanty (Makovníková a i., 2007).

Záver

Cieľom trvalo udržateľného rozvoja spojeného s efektívnym využívaním prírodných zdrojov je zabezpečiť, aby využívanie prírodných zdrojov a s tým súvisiaci dopad na životné prostredie, teda aj na kvalitu pôdy, nepresiahol únosnú kapacitu.

Pre sledovanie zmien kvality pôdy určenej na pestovanie rýchlorastúcich drevín sme v druhom roku monitorovania doplnili monitorovacie loaklity. Vybrali, zamerali a komplexne sme charakterizovali novú plochu lokalizovanú v oblasti Oravskej kotliny. Lokalita reprezentuje pôdny typ, ktorý v kategórii skupín pôd vhodných na pestovanie rýchlorastúcich drevín má svoje zastúpenie, a to fluvizeme. Ide o plochu vyčlenenú na pestovanie rýchlorastúcich drevín s už 17-ročným porastom vŕby.

V priebehu zatiaľ ročného sledovania využívania poľnohospodárskej pôdy na pestovanie energetických plodín na čiernici (lokality Kuchyňa) pozorujeme negatívny trend vo vývoji obsahu organickej hmoty v pôde a pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu rizikových prvkov v pôde. Remedialná schopnosť vŕby vzhľadom k rizikovým prvkom sa prejavila znížením obsahu kadmia, zinku a niklu na danej lokalite.

Hodnotenie indikátorov kvality pôdy pri novom spôsobe využívania poľnohospodárskych pôd je nevyhnutnou súčasťou ich správneho využívania na energetické účely.

Literatúra

- Demo M. et al., 1998: Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine. Nitra : SPU, 1998, 302 s. ISBN 80-7137-525-X.
- Fiala K. a kol., 1999: Závazné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém - Pôda. VÚPOP, Bratislava, 139 s., ISBN 80-85361-55-8
- Daniel J., Habovštiak, J.: 2012 Poľnohospodársky výskum v energetickom programe. In: Agrobioenergetika. [http: \[cit.2011-10-11\].](http://www.abe.sk/casopis.html) Dostupné na internete: [//www.abe.sk/casopis.html](http://www.abe.sk/casopis.html)
- Gonda, Ľ., Abrham, Z., Andert, D., Gaduš, J., Gušťaříková, T., Kanianska, R., Kizeková, M., Kunsý, M., Makovníková, J., Mališ, J., Obrcianová, D., Pepich, Š.: 2010: Poľnohospodárska biomasa – obnoviteľný prírodný zdroj, CVRV Piešťany
- Kriššák P. – Jandačka, J. – Malcho, M.: Legislatíva a podporné mechanizmy súvisiace s energetickým využitím biomasy v SR. In: Biomasa ako zdroj energie, 6. – 7. 2006, Ostravica, ČR, str. 24-32, ISBN 80-248-1180-0
- Makovníková, J. - Barančíková, G. - Pálka, B. 2007. Approach to the assessment of transport risk of inorganic pollutants based on the immobilisation capability of soil. In Plant, Soil and Environment, vol.53, 2007, č. 8, s.365 - 373
- Makovníková J., 2007: Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy. Bratislava : VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978-80-89128-37-2.
- Pierce F., Lal R., 1991: Soil management in the 21st century. In Lal, F.J. - Pierce, F.J. (eds.), Soil management for sustainability. Ankeny : Soil Water Conserv. Soc., 1991, p. 175-180.
- Pierce F., Larson W., 1993: Developing criteria to evaluate sustainable land management. In Kimble, J.M. (ed), Utilization of soil survey information for sustainable land use. Proc. 8th Int. Soil Management Workshop. Lincoln : USDA-SCS, National Soil Surv. Center, 1993, p. 7-14.
- Povraz, P., Naščáková, J., Kotorová, D., Kováč, L.: 2010 Poľné plodiny ako zdroj biomasy na energetické využitie v podmienkach Slovenska. In. Inovatívne technológie pre efektívne využitie biomasy v energetike. str. 66 – 75, Dostupné na internete: http://enersupply.euke.sk/wp-content/uploads/66-75_porvaz-nascakova-kotorova-kovac.pdf
- Straka Ľ.: 2009. Energetické využitie fytomasy pestovanej na Slovensku. In. Biom.Cz . [online] [cit.2010-04-06]. Dostupné na internete: <http://biom.cz/cz-pestovani-biomasy/odborne-clanky>, ISSN 1801-2655
- Akčný plán využívania biomasy na roky 2008-2013. Bratislava : MPSR SR, 2008, 21s. [online] [cit.2010-04-06]. Dostupné na internete: <http://www.land.gov.sk/sk/index.php?navID=2&navID2=2&sID=26&id=1214>

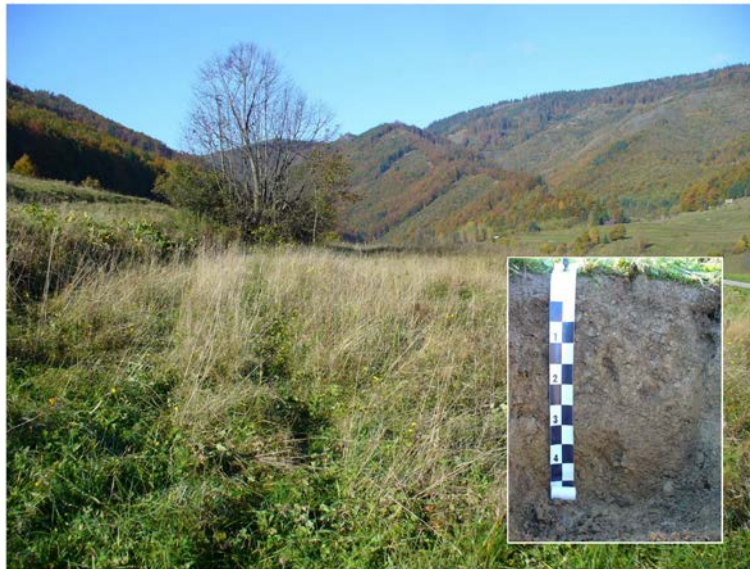
Úradný vestník Európskej únie. Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/28/ES, z 23. apríla 2009 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov energie a o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc 2001/77/ES a 2003/30/ES. [on-line] [cit.2010-04-06]. Dostupné na internete : < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:sk:PDF>>
Zákon o pôde č.220 (2004). Zbierka zákonov, 220/2004, 2290-2292

6.8 Hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja poľnohospodársky spustnutých pôd

V minuloročnej správe sme sa začali bližšie zaoberať aj spustnutým pôdam. Tzv. „spustnutie“ môže mať rôzny pôvod. Môže sa jednať o dlhodobo kontaminované pôdy, taktiež sa jedná o pôdy, ktoré sa v minulosti využívali najmä salašnickým spôsobom (niektoré vysokohorské polohy, napr. hole Nízkych Tatier), taktiež pôdy v oblastiach, ktoré museli byť vysídlené z dôvodu výstavby vodných diel, aby nedošlo k znečisťovaniu nádrží s pitnou vodou (napr. v okolí vodného diela Starina a ďalšie). Taktiež sem zaraďujeme pôdy, kde došlo k zmene druhu pozemku, či už vplyvom neefektívnosti doterajšieho využívania (najmä vzdialenejšie pozemky), vplyvom zmeny vlastníckych vzťahov a pod. Častým fenoménom v našich horských a podhorských oblastiach je opúšťanie pozemkov v dôsledku migrácie obyvateľstva do miest. Takto dochádza k výraznému pustnutiu pozemkov, ktoré sa v minulosti poľnohospodársky využívali. Celkom u nás evidujeme do 500 tis. ha spustnutých pôd, ktoré sú pokryté extenzívnym zaburineným trávnyim porastom s náletom kríkov a drevín.

V roku 2010 sme vybrali 7 lokalít spustnutých pôd, značná časť týchto lokalít je zaradená v sieti monitorovacích lokalít, kde sme hodnotili ich aktuálny stav a dokonca i vývoj pôdných parametrov. V tejto časti hodnotíme spustnutú pôdu na lokalite Osrblie, ktorá je charakteristickou ukážkou spustnutých pôd našich horských a podhorských oblastí so zvyškom zachovaných terás, ktoré oddeľovali nízke políčka obhospodarovanými v minulosti jednotlivo hospodariacimi roľníkmi.

Obr. 1 Ukážka spustnutej pôdy na lokalite Osrblie



Jedná sa o kambizem kultizemnú pod extenzívnym trávnyim porastom, ktorá sa v minulosti orala. Ide o novo odobraný pôdny profil, preto v tejto časti hodnotíme len základný, aktuálny stav pôdných vlastností a rizikových prvkov (vo výluhu lúčavky kráľovskej).

Daná lokalita sa nachádza vo V eporských vrchoch, budovaných prevažne na litologicky pestrých metamorfovaných horninách (s dominanciou dvojsľudných až biotitických pararúl).

Základné pôdne vlastnosti tejto lokality sú uvedené v tab. 1

Tab. 1 Základné pôdne vlastnosti KMa (lokalita Osrblie)

Hĺbka v cm	pH/H ₂ O	pH/KCl	C _{ox} %	N _t %	P	K	Mg	Cu*	Zn*	Mn*
					mg.kg ⁻¹					
0-10	5,85	5,26	4,36	0,45	17,5	64,2	237,0	1,43	3,10	15,4
20-30	5,59	4,64	1,35	0,14	7,6	15,0	77,5	0,29	0,39	1,48
35-45	5,60	4,60	0,87	0,09	4,5	15,1	81,9	0,23	0,21	1,74
50-60	5,54	4,41	0,43	0,05	0,8	30,6	179,0	0,50	0,11	0,51

* mikroelementy Cu, Zn, Mn, (DTPA), makroelementy P, K, Mg (Mehlich III.), Cox – organický uhlík, Nt – celkový dusík

V nadväznosti na litologické zloženie, jedná sa o pôdu kyslú v celom pôdnom profile. Pomerne vysoký obsah organického uhlíka je charakteristický pre takéto neobhospodarované pôdy s extenzívnym trávnyim porastom a pomerne silným prekoreniením, najmä vrchnej časti pôdy. Veľmi vysoký je aj celkový obsah dusíka (Nt) vo vrchnej časti pôdy (0,45%) – Bielek, 1998.

Obsah prístupných živín – fosforu a draslíka je nízky (Kobza, Gáborík, 2008), čo napokon zodpovedá súčasnému stavu „obhospodarovania“ danej lokality. Napokon ani v minulosti sa tu nepredpokladal zvýšený prísun priemyselných hnojív do pôdy, nanajvýš aplikácia organického hnojiva, najmä vo forme maštalného hnoja. Obsah prístupného horčíka je tu dobrý, čo len dokumentuje dobrú zásobenosť našich pôd týmto prvkom, čo sme už konštatovali na základe našich zistení v predchádzajúcej práci (Kobza a kol., 2009).

Priaznivý je aj stav mikroelementov, z údajov uvedených v tab. 1 je obsah Cu a Mn stredný, obsah Zn je vysoký (Juráni a kol., 1985). Uvedené zistenie len potvrdzuje už naše predchádzajúce zistenia, že obsah mikroelementov v našich pôdach nie je deficitný (Kobza a kol., 2009).

Obsah rizikových prvkov v pôde danej lokality je uvedený v tab. 2.

Tab. 2 Obsah rizikových prvkov (v lúčavke kráľovskej) v mg.kg⁻¹ (lokalita Osrblie)

Hĺbka v cm	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Se
0-10	12,40	0,18	6,89	41,60	15,00	12,10	17,30	69,90	0,097	0,28
20-30	9,61	0,08	6,27	36,60	8,95	12,60	9,11	45,20	0,091	0,29
35-45	8,64	0,06	5,00	32,60	7,69	9,49	7,36	37,60	0,076	0,28
50-60	18,80	0,09	10,30	45,40	21,90	31,00	10,10	51,10	0,067	0,45

Všetky uvedené namerané rizikové prvky sú podlimitné. Daná lokalita sa nachádza mimo priemyselných oblastí a výskytu geochemických anomálií.

Na základe dosiahnutých výsledkov vybranej pôdnej lokality v Osrblí, ako aj ďalších spustnutých pôd, ktoré boli v minulosti využívané jednotlivou hospodariacimi roľníkmi a ktoré sme už uvádzali v minuloročnej správe (Starina, Ruské), možno konštatovať, že tieto pôdy sa vyznačujú nízkym obsahom prístupných živín – fosforu a draslíka, ktoré sa zrejme ani v minulosti do pôdy neaplikovali vo vyšších dávkach priemyselných hnojív. Sú to pôdy porastené extenzívnym trávnyim porastom často zarastenými kríkmi a samonáletom drevín. Obsah humusu je pomerne vysoký (značné prekorenenie), podobne vysoký je aj obsah celkového dusíka. Jedná sa prevažne o pôdy kyslé, avšak s vyhovujúcou zásobenosťou mikroelementami (Cu, Zn, Mn). Hygienický stav týchto pôd je vyhovujúci.

Literatúra

- Bielek, P., 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VUPU Bratislava, 256 s. ISBN 80-85361-44-2.
- Juráni, B., Neuberg, J., Zelený, F. 1985. Hnojení mikroživinami. Komplexní metodika výživy rostlin, UVTIZ Praha 1985, s. 151 – 169.
- Kobza, J. 2001. Vývoj spustnutých pôd. Ved. práce VÚPOP Bratislava, č. 24, 2001, s. 33-38. ISBN 80-85361-95-7.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. 2009. Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitívneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení. VÚPOP Bratislava, 2009, 86 s. ISBN 978-80-89128-53-2.

7. REALIZÁCIA VÝSLEDKOV RIEŠENIA A TVORBA VÝSTUPOV

Vstupom SR do 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 udržateľnom stave aj pre budúce generácie. To znamená, že problém riešenia nespočíva len v mechanickom zaznamenávaní získaných údajov v jednotlivých časových radoch, ale spočíva predovšetkým v jeho výskumnom a vedeckom chápaní úlohy pôdy v životnom prostredí. Pri realizácii výsledkov riešenia vychádzame preto z konkrétnych ohrození pôdy (v súlade s európskou stratégiou monitorovania pôd), ako sú kontaminácia pôd, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia pôd, vývoj kvantitatívneho a kvalitatívneho zloženia pôdneho humusu, kompakcia a erózia pôd.

Získané poznatky z riešenia úlohy sú podkladom pre tvorbu realizačných výstupov – metodík, publikácií a doporučení, ktoré využíva Pôdna služba zriadená na základe Zákona 220/2004 Z.z. pri Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy, ako aj pre dôsledný výkon legislatívy v oblasti ochrany a využívania pôdy. V roku 2011 boli vypracované a odovzdané do tlače nasledovné realizačné výstupy:

- bola vypracovaná publikácia: Kobza, J. a kol. 2011. „Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivného územia Horná Nitra s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení“, VÚPOP Bratislava, 95 s.
- bola vypracovaná publikácia „Jednotné pracovné postupy rozborov pôd“ , VUPOP Bratislava, 145 s.
- priebežne bola vypracovaná a zdokonaľovaná databáza monitorovacej siete pôd Slovenska (v súčinnosti so SAŽP v Ban. Bystrici)

Svojím charakterom sa jedná o závažné a obsiahle materiály, hodnotiace najaktuálnejší stav a vývoj našich pôd, ako aj metodické postupy ich hodnotenia, pričom získané poznatky sú využiteľné v decíznej sfére, v rôznych rezortoch a odvetviach národného hospodárstva, vo vede a univerzitách najmä environmentálneho zamerania, ako aj pre širokú odbornú verejnosť, a to nielen u nás, ale aj v rámci EÚ. Svedčí o tom aj zvyšujúci sa medzinárodný dopyt po dôležitých informáciách o aktuálnom stave a vývoji pôd Slovenska so zámerom ich postupného prepojenia do európskych štruktúr a databáz, čo napokon vyplýva aj z nášho členstva v EÚ.

8. PREDPOKLADY VYRIEŠENIA ÚLOHY V ZOSTÁVAJÚCOM ČASE RIEŠENIA

Predpoklady úspešného riešenia úlohy v nasledovnom období závisia od výšky pridelených finančných prostriedkov, ktoré sú nevyhnutné pre realizáciu tejto úlohy. Za predpokladu, že finančné prostriedky budú v plánovanom rozsahu (bez ich krátenia), existujú reálne predpoklady úspešného vyriešenia úlohy v požadovanom termíne, o čom svedčí aj odborne erudovaný pracovný tím riešiteľov, ktorí sa na realizácii tejto úlohy podieľa. V opačnom prípade by to ovplyvnilo plánovaný rozsah riešenia.

9. ČERPANIE FINANČNÝCH ZDROJOV A POROVNANIE S PLÁNOM

Plánované finančné prostriedky pre rok 2011 boli vyčerpané v súlade s Vykonávacím plánom (114 442.- €), ktoré boli oproti predchádzajúcemu roku redukované o 15%.

10. ZÁVER A PRÍNOS VÝSLEDKOV PRE VEDU A PRAX

V predkladanej správe za rok 2011 sme sa zamerali na hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja základných pôdných parametrov pre nasledovné pôdne predstavitel: čiernice karbonátové a nekarbonátové, zasolené pôdy a pôdy antropicky znečistené pri zohľadnení druhu pozemkov (orná pôda, trvalé trávne porasty). Dosiahnuté a hodnotené výsledky nadväzujú na doterajší trend sledovaných vlastností pôd S lovenska. Ako najvariabilnejšie v čase sa ukazuje obsah pôdnej organickej hmoty, obsah makroelementov – fosforu a draslíka, ukazuje sa v poslednom období klesajúci trend obsahu mikroelementov v pôde, nepriaznivý je vývoj kompakcie a erózia pôd.

Získané výsledky a poznatky z riešenia úlohy sú podkladom pre tvorbu realizačných výstupov – metodík, publikácií, doporučení, ktoré využíva Pôdna služba zriadená na základe Zákona 220/2004 Z.z. pri VÚPOP Bratislava, ako aj pre dôsledný výkon legislatívy v oblasti ochrany a využívania pôdy. Dosiahnuté výsledky sú taktiež významné v decíznej sfére, ako aj v rezortoch a odvetviach národného hospodárstva, vo vede a univerzitách najmä environmentálneho zamerania, ako aj pre širokú odbornú verejnosť ako v rámci SR, tak aj v rámci EÚ pri uplatňovaní environmentálnej politiky v Európe.